

种植密度和降水对冬小麦田 N_2O 排放的影响

黄耀^{1,2}, 蒋静艳¹, 宗良纲¹, 周权锁¹, Ronald L. Sass³, Frank M. Fisher³ (1. 南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095, E-mail: huangy@mail.njau.edu.cn; 2. 中国科学院大气物理研究所, 北京 100029; 3. 美国莱斯大学生态与进化生物学系, 德克萨斯 77005-1892)

摘要: 为研究种植密度对农田 N_2O 排放的影响和探讨 N_2O 排放季节性波动的原因, 于 1999 ~ 2000 年小麦生长季在南京市郊江宁县进行了不同播种量 (0, 90, 180 和 270 kg/hm²) 的大田试验. 观测分析结果表明: 在相同的气象条件和田间管理下, 播种 ~ 越冬阶段的 N_2O 排放不受播种量的影响, 返青 ~ 成熟阶段的 N_2O 排放通量与播种量成正比. 裸地条件下的 N_2O 排放与播量为 90 kg/hm² 下的排放无明显差异. 造成该生长季内 N_2O 排放季节性波动的主要原因是降水, 返青 ~ 成熟阶段的 N_2O 排放通量随观测日前 6d 的加权平均降水量呈指数增加.

关键词: N_2O 排放; 麦田; 种植密度; 降水

中图分类号: XI 32 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3301(2001)06-04-0020

Influence of Planting Density and Precipitation on N_2O Emission from a Winter Wheat Field

Huang Yao^{1,2}, Jiang Jingyan¹, Zong Lianggang¹, Zhou Quansuo¹, Ronald L. Sass³, Frank M. Fisher³ (1. College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 2. Institute of Atmospheric Physics, Beijing 100029, China; 3. Department of Ecology and Evolutionary Biology, Rice University, Houston, TX 77005-1892, USA)

Abstract: To investigate the impact of plant density on N_2O emission from winter wheat field and the cause of seasonal variation in the emission, field experiment with four planting rates of 0, 90, 180 and 270 kg/ha was conducted at the Jiangning County near Nanjing during 1999 ~ 2000 winter wheat growing season. Data of the field measurements indicated that the N_2O emission rates during the season from planting to overwintering were not influenced by the plant density, while the emission was positively correlated with the planting density during the season from turning green to maturity. The emissions from the field plots with planting rates of 0 and 90 kg/ha were not found to be significantly different. A further analysis suggested that the seasonal variation of N_2O emission be mainly influenced by precipitation, which could be quantitatively described by an exponential function of a weighted average precipitation of 6-day period before measurement.

Key words: N_2O emission; winter wheat field; planting density; precipitation

气候变暖是当今全球性的环境问题, 其主要原因是大气中温室气体浓度的不断增加. 除 CO_2 和 CH_4 外, N_2O 被认为是最重要的温室气体之一. Rodhe 的研究指出, 1 mol N_2O 的增温效应是 CO_2 的 150 ~ 200 倍^[12]. 此外, N_2O 在大气中具有较长的滞留时间并参与平流层大气中许多光化学反应, 破坏大气 O_3 层^[9]. 观测结果表明, 大气中 N_2O 的浓度正以 0.25 % 的年增长率上升, 其中热带土壤和农业土壤是全球最主要的 N_2O 释放源, 其贡献达 70 % ~ 90 %^[9]. 影响农业土壤

N_2O 排放的主要因素包括土壤特性^[1,2,11]、气候条件^[3,4,10]和农业技术措施^[5,6]等. 在这些因素中, 选择

基金项目: 中国科学院“百人计划”项目; 国家重点基础研究发展规划项目 (G1999011805); 美国航天航空总署 TECO/NASA 项目.

作者简介: 黄耀 (1956 ~), 男, 江苏省张家港市人, 获美国莱斯大学生态和进化生物学系博士. 中国科学院大气物理所“百人计划”入选者, 南京农业大学资源与环境科学学院教授, 博士研究生导师. 主要从事农田温室气体与全球变化及陆地生态系统 CN 循环的计算机模拟研究.

收稿日期: 2001-02-12

合理的农业技术措施是减少土壤 N₂O 排放的主要途径.本文试图通过不同播种量下冬小麦田 N₂O 排放的观测实验以及 N₂O 排放季节性波动的研究,探讨种植密度和降水对冬小麦田 N₂O 排放的影响,目的是为减少农田 N₂O 排放提供科学依据.

1 材料与方法

大田观测试验于 1999~2000 年小麦生长季实施,试验区设在南京市郊江宁县秣陵镇(31°52' N, 118°50' E).土壤为渚育型水稻土,前茬作物为水稻,耕层土壤为粘壤质,粘粒含量为 49%.土壤 pH 值、有机碳、全氮(N)、全磷(P₂O₅)和速效钾(K₂O)的含量分别为 6.7 g/kg、19.4 g/kg、1.9 g/kg、1.3 g/kg 和 102 mg/kg.1999~2000 年小麦生长季(1999-11~2000-05)内平均温度为 10.3℃,降水总量为 288.5 mm,分别比常年同期高 1.2℃和少 120.3 mm.

供试小麦品种为扬麦 158,播种期为 1999-11-15,出苗期为 11-27 日.播种量分别为 0.90、180 和 270 kg/hm²,其中 180 kg/hm² 为当地的常规播种量.农田管理按常规方式操作,全生育期氮肥用量(N)为 245 kg/hm².

大田 N₂O 样品的采集使用不锈钢静态封闭箱,横截面积为 0.5 m×0.5 m,箱体高度随作物高度而增加.小麦播种后,在各采样点预先放置并固定一个不锈钢底座作为水封,采样时,将采样箱罩在该底座上,箱内装有微型风扇以保持气体均匀混合.各处理设 2 个采样重复,每周采样一次.各采样点每次采样 5 个,每个间隔 5 min,样品量为 60 ml.因 1999~2000 年冬季遭受多年未遇的大雪和低温,土壤久冻不融,故在 2000-01-

18~02-18 时段内停止采样.样品的 N₂O 混合比用日本产气相色谱仪(Shimadza, GC-14A)检测,通过对每组 5 个样品的 N₂O 混合比与相对应的采样间隔时间(0、5、10、15、20 min)进行直线回归,可求得该采样点的 N₂O 排放速率.继而根据大气压力、气温、普适气体常数、采样箱的有效高度、N₂O 分子量等,求得单位面积的排放量.

2 结果与讨论

2.1 N₂O 排放的方差分析

根据大田实际测定时间,将小麦全生育期分为 2 个阶段,即播种~越冬(1999-11-15~2000-01-18)及返青~成熟(2000-02-18~2000-05-31).以播种量(D)和各次独立观测(T)对 N₂O 排放差异作 2 因子方差分析,结果表明(表 1):在播种~越冬阶段,播种量对 N₂O 排放没有显著的影响($p=0.2590$),而各次独立观测之间差异明显($p=0.0000$);在返青~成熟阶段,不同播种量之间及各次独立观测之间 N₂O 的排放均有显著差异($p=0.0007$, $p=0.0000$).对采样箱内小麦群体密度的 3 次测定(12-13、03-27 和 04-18)表明,无论是在苗期还是在返青拔节期,不同播量下的群体密度差异极其明显.播种量为 90、180 和 270 kg/hm² 下群体密度的 3 次测定值依次为 78±25、180±17 和 330±42 m⁻²;78±48、206±25 和 330±14 m⁻²;70±42、176±17 和 300±57 m⁻².这说明在小麦幼苗期,植物本身对 N₂O 的排放并不起重要的作用.而随着植株的生长发育,植物对 N₂O 排放的贡献增加.在整个生育阶段,环境因子的变化使得各次独立观测之间 N₂O 的排放表现出显著的差异.

表 1 种植密度和观测时间对 N₂O 排放影响的方差分析

Table 1 Variance analysis for the impacts of planting density and observation time on N₂O emission

生育阶段	方差来源	平方和	自由度	均方差	F	p
播种~越冬	D	75733.4	3	25244.5	1.41	0.2590
	T	1379758.0	8	172469.7	9.62	0.0000
	D×T	710145.5	24	29589.4	1.65	0.0940
	误差	555718.3	31	17926.4		
返青~成熟	D	1.8 E+06	3	584941	6.94	0.0007
	T	1.7 E+07	12	1408350	16.72	0.0000
	D×T	7.2 E+06	36	200263	2.38	0.0035
	误差	3.62 E+06	43	84249		

2.2 种植密度对 N₂O 排放影响

图 1 给出不同播种量下的群体密度和 N₂O 的平均排放通量,其中群体密度为 3 次观测的平均值.由图 1

可以看出:群体密度随播种量的增加而线性增加.一元线性回归分析表明,群体密度(Y, m⁻²)与播种量(X, kg/hm²)之间的关系可用 $Y=1.119 X$ ($R^2=0.9795$, n

=4)表示,亦就是说每增加 $1\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 播种量,群体密度将增加 1.12 m^{-2} 左右.在播种~越冬阶段,各播种量下 N_2O 的平均排放通量为 $305\sim 381\text{ }\mu\text{g}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{h})^{-1}$.在返青~成熟阶段, N_2O 的排放随播种量增加而增加,平均排放通量为 $199\sim 585\text{ }\mu\text{g}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{h})^{-1}$,但裸地土壤(播种量为0)和低播种量($90\text{ kg}/\text{hm}^2$)处理之间的差异不甚明显(图1),其平均排放通量分别为 257 ± 174 和 $199\pm 145\text{ }\mu\text{g}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{h})^{-1}$.以当地常规播种量($180\text{ kg}/$

hm^2)下各次独立的 N_2O 排放通量为参比值,将低播种量($90\text{ kg}/\text{hm}^2$)和高播种量($270\text{ kg}/\text{hm}^2$)下相应的 N_2O 排放通量与之进行比较,结果表明,处理间 N_2O 排放通量与播种量成正比.图2a和图2b分别为返青~成熟阶段低播量和高播量下的 N_2O 排放通量与常规播种量下的关系, F_1 、 F_2 和 F_3 分别表示播量为90、180和 $270\text{ kg}/\text{hm}^2$ 下的 N_2O 排放通量.考虑到 N_2O 排放通量两两相比的生物学意义,设置其线性关系的截距为零.由图2给出的线性关系可以看出:平均而言,播量为90和 $270\text{ kg}/\text{hm}^2$ 下的 N_2O 排放通量分别为常规播量下的0.54和1.60倍,而相应的播种量之比分别为0.50和1.50,播种量间的比例关系与 N_2O 排放通量间的比例关系非常接近.

图3为各播种量下的籽粒产量,低播量及高播量下的产量分别为常规播量下的68%和101%.从这个意义上说,确定一个能维持稳定的产量并减少冬小麦 N_2O 排放的播种量在生产实践上是可能的.

2.3 降水对 N_2O 排放的影响

图4为观测期内气温、降水和 N_2O 排放的季节性变化,其中 N_2O 排放通量为4个播种量下的平均值.由

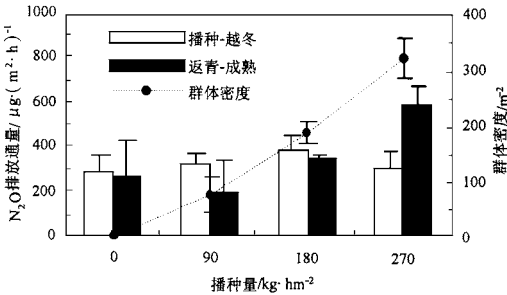
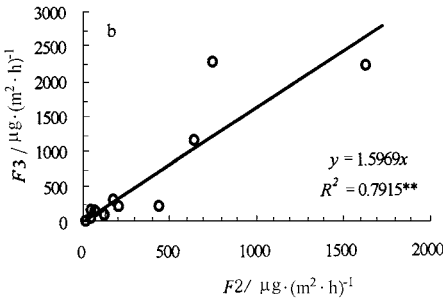
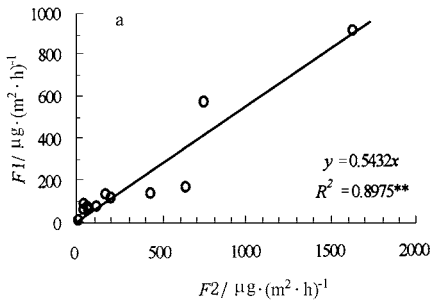


图1 不同播种量下的群体密度和 N_2O 排放通量
Fig.1 Plant density and N_2O emission flux under different planting densities



- a. 播种量为 $90\text{ kg}/\text{hm}^2$ 时 N_2O 的排放通量(F_1)与 $180\text{ kg}/\text{hm}^2$ 时排放通量(F_2)的线性关系
- b. 播种量为 $270\text{ kg}/\text{hm}^2$ 时 N_2O 的排放通量(F_3)与 $180\text{ kg}/\text{hm}^2$ 时排放通量(F_2)的线性关系

图2 不同播种量下 N_2O 排放通量的相互比较

Fig. 2 Comparison of N_2O emission fluxes between different planting densities

图4可以看出:观测期内气温的变化趋势十分明显,播种出苗后逐步降低直到一月底二月初开始回升,而降水则无季节性变化规律.另一方面, N_2O 排放并不随气温表现出季节性变化特征,但总的趋势是播种~越冬阶段内的排放高于返青~成熟阶段.

郑循华等的研究指出^[7],在土壤水分含量小于41.5%时,农田 N_2O 的排放随水分含量的增加而增加.一般而言,旱作土壤的水分状况主要取决于降水量和农田的蒸发及作物的蒸腾.假定各次独立观测前某一时段内的降水量影响 N_2O 的排放,且距观测日越近的

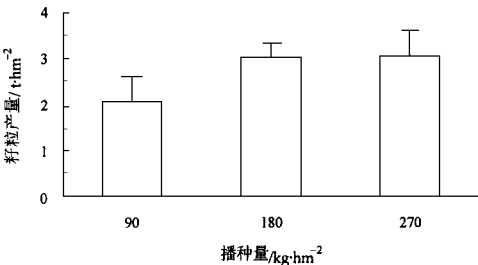


图3 不同播种量下的产量

Fig. 3 Grain yield under different planting densities

降水对 N₂O 排放的影响越大,笔者以观测日前 6 天的日降水量为基础,通过赋以不同的权重来反映该时段内降水对 N₂O 排放的影响.运用非线性技术和试错法,求得观测日前 6 天逐日降水量对 N₂O 排放影响的权重系数依次为 0.25 0.25 0.25 0.15 0.05 和 0.05.根据此权重系数,求出该时段内逐日降水的加权平均值.图 5 为返青~成熟阶段各处理 N₂O 排放通量的平均值与加权平均日降水量的相关图,可以看出,N₂O 排放通量随降水量呈指数增加,这与以往 N₂O 排放通量与土壤

湿度关系的研究^[7,8]是一致的.图中箭头所指的数值明显偏离拟合曲线,其可能原因是化肥施用与降水共同作用的结果.因为在此观测日前 13 天施用了化肥,且在观测前 2~3 天有一次总量为 15.6 mm 的降水过程.尽管方差分析表明在播种~越冬阶段各次独立的 N₂O 观测之间差异明显(表 1),但本研究未发现这些差异与环境因子之间的关系.同时,观测到在极低气温条件下仍有 N₂O 的排放.如 12-20 的平均气温为 -2.5℃,所观测到的平均 N₂O 通量为 421.5±175.7μg·(m²·h)⁻¹.

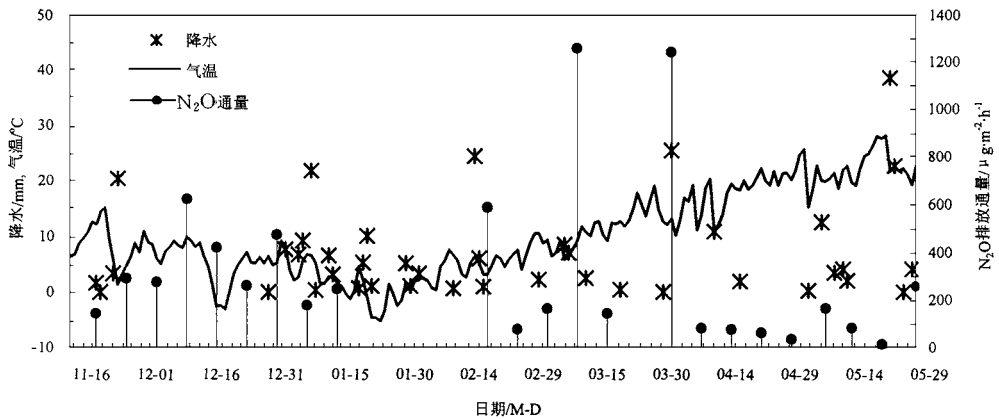


图 4 气温、降水和 N₂O 排放的季节性变化

Fig. 4 Seasonal variations of air temperature, precipitation and N₂O emission

参考文献:

1 徐华,邢光熹,蔡祖聪等.土壤质地对小麦和棉花田 N₂O 排放的影响.农业环境保护,2000,19(1):1~3.
2 陈文新.土壤环境微生物学.北京:高等教育出版社,1989.133~151.
3 郑循华,王明星,王跃思等.温度对农田 N₂O 产生与排放的影响.环境科学,1997,18(5):1~5.
4 于克伟,陈冠雄,杨思河.几种旱地农作物在农田 N₂O 释放中的作用及环境因素的影响.应用生态学报,1995,6(4):387~391.
5 侯爱新,陈冠雄.不同种类氮肥对土壤释放 N₂O 的影响.应用生态学报,1998,9(2):176~180.
6 李楠,陈冠雄.植物释放 N₂O 速率及施肥的影响.应用生态学报,1993,4(3):295~298.
7 郑循华,王明星,王跃思等.稻麦轮作生态系统中土壤湿度对 N₂O 产生与排放的影响.应用生态学报,1996,7(3):273~279.
8 黄国宏,陈冠雄,韩冰.土壤含水量与 N₂O 产生途径研究.应用生态学报,1999,10(1):53~56.
9 Delgado J A, Mosier A R. Mitigation alternatives to decrease nitrous oxides emissions and urea nitrogen loss and their effect on methane flux. J. Environ. Qual., 1999,25(6):1105~1111.
10 Dobbie K E, McTaggart I P, Smith K A. Nitrous oxide emissions from intensive agricultural systems: Variations between crops and seasons, key driving variables, and mean emission factors. Journal of Geophysical Research, 1999,104(D21):26891~26899.
11 Moiser A R, Duxbury J M, Freney J K et al. Nitrous oxide emissions from agricultural fields: assessment, measurement and mitigation. Plant and Soil, 1996,181:95~108.
12 Rodhe H. A comparison of the contribution of various gases to the greenhouse effect. Science, 1990,248:1217~1219.

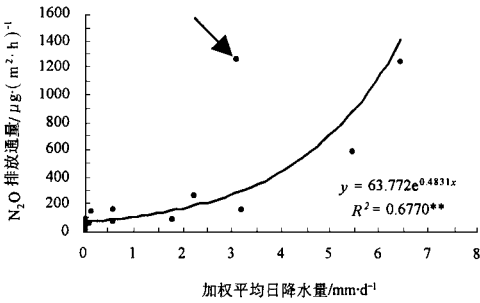


图 5 N₂O 排放通量与加权平均日降水量的关系

Fig. 5 Relationship between N₂O emission and weighted average daily precipitation

3 结论

在相同的气象条件和田间管理下,播种~越冬阶段的 N₂O 排放不受播种量的影响,返青~成熟阶段的 N₂O 排放通量与播种量成正比,裸地条件下的 N₂O 排放与低播量下的排放无明显差异.降水条件是影响该观测期内 N₂O 排放季节性波动的主要因子,返青~成熟阶段的 N₂O 排放通量随观测日前 6 天的加权平均降水量呈指数增加.