

农田生态系统 N_2O 排放的数值模拟研究

刘建栋¹, 周秀骥¹, 丁国安¹, 欧阳志云², 王效科² (1. 中国气象科学研究院农业气象中心, 北京 100081; 2. 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085)

摘要:综合大气化学等多学科最新研究进展,建立了农田 N_2O 排放数值模式,模式较好地模拟了农田生态系统中 N_2O 排放过程.利用模式分析了气象因子对 N_2O 排放影响.结果表明:苏州稻田 N_2O 排放量与生长期平均气温存在显著正相关,与总辐射和降水量相关不明显;功率谱分析表明 N_2O 排放量存在 7~9 年的变化周期,与平均温度变化周期比较接近.模拟气候变化对 N_2O 排放的可能影响表明:气温比目前升高 1℃,苏州稻田 N_2O 排放量将平均增加 4.5%.

关键词:农田生态系统; N_2O 排放; 数值模拟

中图分类号: X51 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2002)06-04-0036

Simulation of N_2O Emissions in Agroecosystems

Liu Jiandong¹, Zhou Xiuji¹, Ding Guoan¹, Ouyang Zhiyun², Wang Xiaoke² (1. Center for Agrometeorology, Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081, China E-mail: Liujd2001@263.net; 2. Research Center for Eco-Environmental Sciences, CAS, Beijing 100085, China)

Abstract: A numerical model for simulating N_2O emissions in agroecosystem was established. Validation of the model with the observed data showed that the model simulated the process of N_2O emissions in fields fairly well. The numerical analysis showed that the N_2O emissions were interrelated well with average temperature during rice growth periods. Analysis of N_2O emissions and meteorological factors by using power spectrum found that the change of N_2O emissions had 7~9 year cycles. Sensitivity test showed that the N_2O emission increased with temperature enhancement.

Key words: agroecosystem; N_2O emissions; numerical simulation

N_2O 是重要温室气体,农田 N_2O 排放是大气 N_2O 浓度持续上升的主要原因,实验表明灌溉方式、土壤氧化还原势等对 N_2O 排放均存在重要影响^[1~5],建立 N_2O 排放数值模式,对 N_2O 排放进行监测和调控,成为重要研究课题.

Potter 提出了 CACA 模式^[6],模式便于大范围应用但过程较为简单. Parton 则通过模拟总反硝化速率与 $\text{N}_2/\text{N}_2\text{O}$ 之比估计 N_2O 排放^[7]. 相比之下, DNDC 通过计算底物及各反硝化菌的活动^[8,9]模拟 N_2O 的产生,较大程度地达到了机理与实用的结合,国内勾继等首次利用 DNDC 模拟了中国华东稻麦轮作中 N_2O 排放特征^[10]. 本文在 DNDC 研究基础上,建立起一个机制比较平衡的农田 N_2O 排放模式,利用模式对长江三角洲稻田 N_2O 排放与气象因子间关系进行了数值分析,以期为该地区实现环

保型农业提供科学依据.

1 模型的建立

模型由作物生长过程、地下水分运动、土壤中碳动态过程、氮动态过程以及农业措施影响 5 部分组成. 作物生长由 DVS 作物发育模型控制,通过数值积分模拟生长状况,其过程受水分和含氮量影响,积分步长为逐时水平. 地下水运动考虑了地表径流、饱和入渗、非饱和下渗、扩散、蒸发、蒸腾和根吸水等. 土壤有机碳分为 3 个活性碳和一个惰性碳库,每个活性碳库又分为 2~3 个子库,富氧条件下分解出 CO_2 ,厌氧条件下放出 CH_4 . 植物残余部分碳转化为 CO_2 ,部分被同化到微生物体中,微生物死后部分转

基金项目: 国家自然科学基金重大项目(49899270)

作者简介: 刘建栋(1969~),男,博士后,副研究员,主要研究方向为环境与生态数值模拟.

收稿日期: 2001-07-31; 修订日期: 2002-04-18

化为 CO_2 ,部分同化为新生物体,其余部分加入到易分解的腐质库.易分解腐质库分解后,一部分加入到更不易分解的腐质库中,之后更难分解的加入到惰性腐殖库.土壤有机氮根据 C/N 比与土壤碳库相联系,植物秸秆、根系与有机肥是其主要来源,土壤有机质分解释放出无机氮,铵态氮通过硝化作用转化为硝态氮,铵态氮和硝态氮都可以被植物吸收.在厌氧条件下,硝态氮可逐步反硝化为 N_2O 与 N_2 .施用化肥可以直接增加土壤中无机氮的含量,无机肥的施用包括日期、硝态氮、铵态氮、氨和尿素的施用量和施用深度,施肥在一定深度范围内进行分配,加入到相应的氮库中.

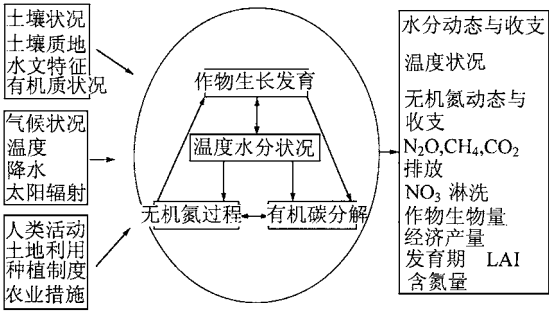


图 1 模式结构及考虑的基本过程与要素

Fig. 1 The structure of the model and the components

2 实验及模型验证

利用玉米和水稻田的 N_2O 排放资料对模

型进行了验证.玉米田 N_2O 排放实验于 1994 ~ 1995 年在哥斯达尼加进行,1994 年 11 月 27 日播种,生长过程中不施肥,1995 年 2 月 23 日收获,产量为 $3997.5\text{kg}/\text{hm}^2$.稻田 N_2O 排放观测试验于 1999 年在常熟进行,稻田 6 月中旬施底肥碳酸氢铵 $900\text{kg}/\text{hm}^2$,6 月 20 日水稻移栽,7 月 15 日晒田,7 月 28 日追肥 $750\text{kg}/\text{hm}^2$,水稻产量在 $7500\text{kg}/\text{hm}^2$ 水平, N_2O 排放量用控制箱分季节自动采集.

图 2 中玉米田 N_2O 排放实测值和模拟值相符很好,常熟稻田排放模拟效果相对较差,本文主要研究苏州稻田 N_2O 排放,常熟稻田 N_2O 模拟效果十分重要,因此对常熟稻田模拟值与实测值进行相关分析,结果表明在样本数 $N = 30$ 的情况下,其相关系数仍可达 0.65,通过了 0.01 的相关显著检验,因此,利用模型对 N_2O 排放进行数值分析是可靠的.

3 模型的应用

3.1 气象因子对 N_2O 排放影响的数值分析

模型运行时以常熟稻田实验为背景,然后分别输入历年逐日气象资料,得到 N_2O 年排放量,此排放量是假设其它条件不变仅气象条件改变时的 N_2O 模拟结果,而不是真正的 N_2O 历年排放值,这种处理目的是为了揭示单纯气象因子变化对 N_2O 排放的影响.

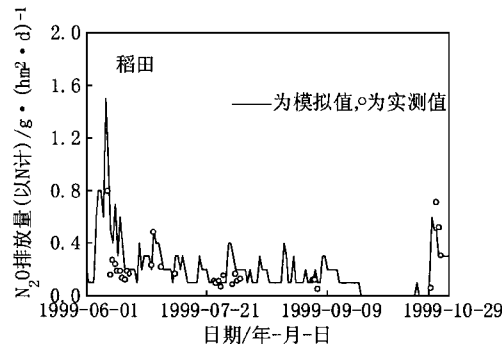
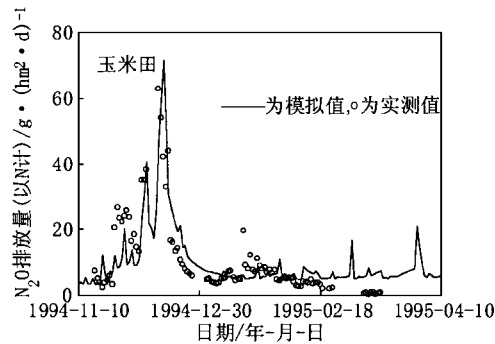


图 2 农田 N_2O 排放过程的模拟

Fig. 2 Simulation of N_2O emissions in fields

数值模拟(图 3)表明:气象条件对 N_2O 排放量影响很大,变化幅度可达 $2.4 \sim 7.1\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,相关分析表明:样本数 $N = 45$ 时,平均气温与 N_2O 排放量间相关系数为 0.66,相关显

著;总辐射降水量与 N_2O 排放之间相关系数为 0.18 和 - 0.43,均未通过相关检验,这表明生长期平均气温对 N_2O 排放量存在较大影响,总辐射降水量对稻田 N_2O 排放影响不大.利用功

率谱进一步分析了 N_2O 排放及相应气象因子的周期变化规律(表 1), N_2O 排放存在 7~9 年的变化周期,相应生长期平均气温存在 7~8 年的变化周期,两者比较接近.

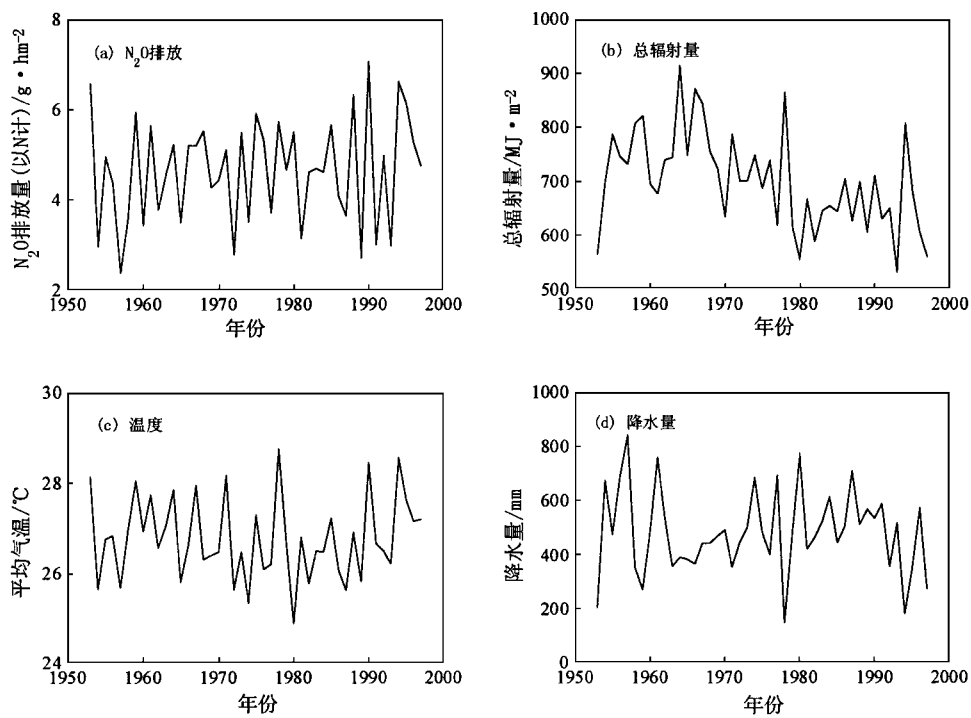


图 3 稻田 N_2O 排放与相应生长期气象因子间的关系

Fig.3 Relationship between N_2O emission and meteorological factors

表 1 苏州地区稻田 N_2O 排放与相应气象因子的功率谱分析¹⁾

Table 1 Spectrum analysis of N_2O emission and meteorological factors

L	1	2	3	4	5	6	7	8	9
S	45.00	22.50	15.00	11.25	9.00	7.50	6.43	5.60	5.00
G_N	2.53	2.84	0.95	1.78	4.86	4.91	1.07	1.24	2.88
G_R	1.73	1.09	2.92	1.38	1.86	1.84	1.25	1.49	0.83
G_T	2.18	2.47	1.27	2.80	2.21	2.91	1.44	1.83	2.43
G_P	2.06	0.32	1.48	3.06	1.01	1.19	2.16	2.78	1.96

¹⁾表中 L 为波数;S 为周期; G_N 、 G_R 、 G_T 、 G_P 依次为 N_2O 排放量、总辐射量、平均温度及降水量功率谱.

3.2 气候变化对 N_2O 排放可能影响的数值分析

目前比较一致的观点是全球气候变化总趋势在变暖,但不同地区温度变化差异以及同一地区温度变化幅度仍有很大的不确定性,许多 GCMs 输出结果互不相同,因此,重复利用苏州 1951~1997 年逐日气象资料,使逐日温度上升

1℃,气候不会按此规律变化,但这种处理方法具有确定性并可与目前 BASE 进行对比,是一种数值敏感分析.本研究是为长江三角洲大气生态环境可能变化提供较客观的科学预测,所以升温幅度确定为 1℃,这是 IPCC 推测的 2050 年左右温度升高的上限值.模拟结果表明温度上升后不同年份排放量均有所增加,但增加程

度相差很大,增排百分比(定义为增排量与 BASE 值的百分比)最大可达到 19 %左右.总体平均而言,温度升高 1 ℃后, N₂O 排放量将平均增加 4.5 %.

程度相差很大,增排百分比最大可达到 19 %左右.总体平均而言,温度升高 1 ℃后, N₂O 排放量将平均增加 4.5 %.

致谢:张宇博士在美国新罕布什尔大学攻读博士期间,在 Li Changsheng 教授指导下完成了模型前期工作,并提供了玉米田 N₂O 排放实验资料,谨此致以诚挚谢意.

参考文献:

- 1 郑循华等. 华东稻田 CH₄ 和 N₂O 排放. 大气科学, 1997, 21(2):231 ~ 237.
- 2 Zheng Xuhua et al. Mitigation options for methane, nitrous oxide and nitric oxide emissions from agricultural ecosystems. Advanced in Atmospheric Sciences, 2000, 17(1):83 ~ 92.
- 3 王效科等. DNDC 模型在长江三角洲农田生态系统的 CH₄ 和 N₂O 排放量中的应用. 环境科学, 2001, 22(3):16 ~ 20.
- 4 侯爱新等. 稻田 CH₄ 和 N₂O 排放关系及其微生物学基理和一些影响因子. 应用生态学报, 1997, 8(3):270 ~ 274.
- 5 Davidson E A. Sources of nitric oxide and nitrous oxide following wetting of dry soil. Soil Sci. Soc. Am. J., 1992, 56:95 ~ 102.
- 6 Potter C S et al. Process modeling of controls on nitrogen trace gas emissions from soil world wide. J. Geophys. Res., 1996, 101:1361 ~ 1377.
- 7 Parton W J et al. Dynamics of C, N, P and S in grass soils: A model. Biogeochemistry, 1988, 5:109 ~ 131.
- 8 Li C S et al. A model of nitrous oxide evolution from soil driven by rainfall events: 1. Model structure and sensitivity. J. of Geophysics. Research, 1992, 97:9759 ~ 9776.
- 9 Li C S et al. Modeling nitrous oxide emissions from agriculture: A Florida case study. Chemosphere, 1994, 28:1404 ~ 1415.
- 10 Gou Ji et al. Modeling N₂O emissions from agricultural fields. Advanced in Atmospheric Sciences, 1999, 16(4):581 ~ 592.

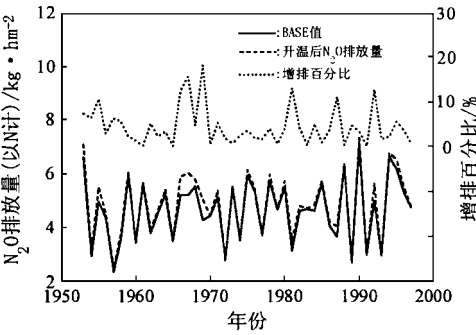


图 4 温度升高对 N₂O 排放影响的数值分析

Fig. 4 Impact of temperature increase ment on N₂O emissions

4 结 论

(1) 在美国 DNDC 模式基础上,建立了 N₂O 排放数值模式,模式较好地模拟了农田生态系统中 N₂O 排放过程,为未来监测并调控农田 N₂O 排放以及合理估算 N₂O 区域排放提供了基础.

(2) 数值分析表明:苏州地区由气象因子引起的稻田年排放量变幅在 2.4 ~ 7.1 kg/hm² 之间,平均气温与稻田 N₂O 排放相关程度最大,与降水量、总辐射量不存在明显相关关系.此外, N₂O 排放存在 7 ~ 9 年的变化周期,与相应生长期平均气温的变化周期比较接近.

(3) 数值敏感分析表明:温度上升后不同年份苏州稻田 N₂O 排放量均有所增加,但增加