

中国农田 N₂O 排放量的估算

王智平 (中国科学院石家庄农业现代化研究所, 石家庄 050021)

提要 排放量估算是温室效应气体研究的重要内容。本文论述了影响农田 N₂O 排放量估算准确性的因素, 讨论如何提高农田 N₂O 排放量估算的准确性, 并估算了中国农田 N₂O 排放总量。

关键词 农田 氧化亚氮 排放量 估算

Estimation of Nitrous Oxide Emission of Farmland in China · Wang Zhiping (Institute of Agricultural Modernization, Chinese Academy of Sciences, SHIJIAZHANG 050021); *Rural Eco-Environment*, 1997, 13(2): 51-55

Abstract One of the most important issues in the researches of greenhouse effect gases is the estimation of emission amount. The factors which have inferences on the estimation of nitrous oxide emission from farmland were described and the approach for improving the accuracy of estimation has been discussed. The total emission amount of nitrous oxide from farmland of China has also been estimated.

Key words farmland, nitrous oxide, emission, estimation

0 引言

氧化亚氮是大气温室效应气体之一, 它的环境效应表现为温室效应和破坏臭氧层。自工业革命以来, 人类活动对大气中 N₂O 浓度增加起了重要的作用, 目前正以每年 0.2%~0.3% 的速度增加^[1]。

N₂O 具有多种排放源, 如化石燃料燃烧、生物质燃烧, 土壤、土地利用以及农事活动等。其中土壤生物过程、土地利用以及农事活动是主要排放源, 约占总排放量的 80%^[2]。中国是个农业大国, 农田是 N₂O 排放的重要来源, 且这种来源与其他源相比, 通过改进施肥措施和种植技术是能够减少的。

研究温室效应气体主要目的是准确估算排放量及其对大气环境的影响。目前, 对 N₂O 排放量的估算仍有许多问题^[3]。本文着重论述影响农田 N₂O 排放估算准确性的因素; 并根据国内所测定的农田 N₂O 排放通量和统计数据, 对中国农田 N₂O 排放作一估算和分析。

1 影响农田 N₂O 排放量估算准确性的因素

1.1 排放机理的认识

农田 N₂O 排放是一个复杂的生物化学动态过程。土壤温度、湿度、质地、微生物活动、有机质和农田管理等因素都会影响 N₂O 排放。土壤学界对氮素在土壤中的行为研究较详细, 但对 N₂O 排放机理的研究还很薄弱。只有深刻弄清 N₂O 排放机理, 才能准确测定和估算 N₂O 排放。

施肥(肥料种类和用量, 施肥时间和方式)引起的 N₂O 排放在农田 N₂O 排放中占有相当大的部分。由于土壤特性、作物需求以及气候的不同, 各地的施肥状况千差万别, 给大面积农田 N₂O 排放机理模型的研究带来困难, 影响整体的估算。

1.2 测定技术

测定技术包括采样、测定期和测定频率。

1996-05-06 收稿

农田 N_2O 排放存在明显的时空异质性。如 Hutchinson 等^[4]发现 1 m^2 小区内,空间变异系数为 40%;Robbins 等^[5]观察到在均匀的 $20\text{ m} \times 20\text{ m}$ 小区内, N_2O 排放通量的变异系数为 70%。在作物生长季节内, N_2O 通量(以 N 计,下同)的变化区间为 $0.3 \sim 550\text{ g}/(\text{hm}^2 \cdot \text{d})$ ^[6],这给测定和估算带来不便,主要表现在测定技术很难顾全这种异质性。

1.2.1 采样方法

采样方法主要有:(1)箱式法(封闭箱式法,开放箱式法),封闭箱式法的明显缺点是破坏被测表面的自然湍流状态,改变地—气间的气体交换。开放箱式法要求浓度测量的精度很高。箱式法一般只用于相对均匀小范围生态系统。(2)土壤 N_2O 梯度法,如通过在不同土层中埋置金属管,抽取一定量的气样进行分析。(3)微气象法,要求被测表面大尺度宏观均匀,

在测量周期内大气状态基本不变。目前,封闭箱式法是常用的方法,应用的实例比较多。

改进采样方法,是克服农田 N_2O 排放空间异质性,提高测定和估算准确性的有效措施。

1.2.2 测定期和测定频率

准确估算农田全年 N_2O 排放,一般需要考虑休闲期 N_2O 排放。陈冠雄等^[7]测定表明,稻田淹水期几乎没有 N_2O 的净排放,但在非淹水期内却有大量 N_2O 排放。为准确估算稻田 N_2O 年排放量,不仅要监测水稻生长季节,而且更重要的是要监测非生长季节(没有水稻植株)的 N_2O 排放。目前,大部分 N_2O 排放是在作物生长期测定的(表 1,表 2),很少考虑到农田休闲期,这样推算出来的年排放量存在一定的误差。因此,长期定位测定对于估算农田 N_2O 排放是必要的。

表 1 国外主要作物田 N_2O 排放^①

Table 1 N_2O emissions of major crop fields in some countries

作物	土壤质地	测定期(d) 测定频率	肥料类型及用量 (kg/hm^2)	排放通量 ^② (kg/hm^2)	肥料排放系数 (%) ^③	测定地点
冬小麦	粘壤土	212, 1/周	NH_4NO_3 , 70	0.50	0.7	英国牛津
油菜	粘壤土	212, 1/周	NH_4NO_3 , 140	1.00	0.7	
玉米		365	有机质, NH_4NO_3 , 尿素, 287	5.20	2.2	
玉米		365	有机质, NH_4NO_3 , 181	3.60	2.0	
冬小麦	粘土	30, 1/周	NH_4NO_3 , 96	1.44	1.5	
冬小麦	粘土	31, 1/周	NH_4NO_3 , 53	0.22	0.4	
水稻 ^④	粘土	18, 不定期	NO_3 , 40	0.38	1.0	澳大利亚
玉米	盐壤土	85, 1/d	NO_3 , 140	0.30	0.2	美国纽约州
玉米	盐壤土	365, 1/d	NH_4NO_3 , 尿素, 132	1.60	1.2	
烟草	盐壤土	210, 1/周	NH_4NO_3 , 80	1.00	1.3	美国威斯康星州
蔬菜	盐壤土	160, 1/周	NH_4NO_3 , 80	0.40	0.5	
玉米	粘土	128, 1/周	NO_3 , 200	2.60	1.3	美国科罗拉多州
玉米	粘土	365, 1/周	NO_3 , 200	4.00	2.0	
玉米	砂壤土	80, 1/周	NH_4NO_3 , 336	0.85	0.3	加拿大安大略省
小麦		186, 1/2h	NH_4 , 80	0.14	0.2	
油菜		56, 1/2h	NH_4 , 100	0.34	0.3	英国牛津郡
水稻	盐壤土	105, 1/周	对照, 0	0.07		美国路易斯安那州
水稻	盐壤土	105, 1/周	尿素, 90	0.11	0.1	
水稻	盐壤土	105, 1/周	尿素, 180	0.17	0.1	

注:①根据文献[9]数据整理。

② N_2O 排放通量为测定期的通量,以 N 计。

③ 指施肥区排放系数。

④ 仅此一项用开放箱式法测定,表中其余项目用封闭箱式法测定。

表 2 中国主要作物田 N₂O 排放Table 2 N₂O emissions of major crop fields in China

作物	土壤质地	测定期 测定频率	肥料类型及用量 (kg/hm ²)	排放通量 ^① (kg/hm ²)	肥料排放系数 (%)	测定地点 及文献
冬小麦	灰黄土、褐土类	生长期, 不定期	尿素, 157.5	(1.75)	1.1(1.0) ^②	河北[13]
大豆	草甸棕壤土	240 d, 不定期	氮肥, 35	(1.68)	4.80	辽宁[14]
玉米	草甸棕壤土	240 d, 不定期	氮肥, 350	(4.52)	1.30	
裸地	草甸棕壤土	121 d, 1/周	对照, 0	0.03		辽宁[15]
小麦	草甸棕壤土	115 d, 1/周	尿素, 258.5	0.4	0.15(0.14)	
大豆	草甸棕壤土	143 d, 1/周	尿素, 34.5	2.9	8.41(8.32)	
水稻	草甸棕壤土	240 d, 不定期	尿素, 34.5+厩肥 (37500 kg 厩肥)	(1.63)		辽宁[7]
对照	灰黄土、褐土类	生长期, 不定期	0	0.245		河北[16]
玉米	灰黄土、褐土类	生长期, 不定期	尿素, 150	0.544	0.36(0.20)	
小麦-玉米	灰黄土、褐土类	全年, 不定期	对照, 0	0.93		河北[17]
小麦-玉米	灰黄土、褐土类	全年, 不定期	尿素, 300	1.62	0.54(0.23)	
小麦-玉米	灰黄土、褐土类	全年, 不定期	尿素, 有机肥, 307.7	2.11	0.70(0.39)	

注: ① 排放通量为测定期 N₂O 排放通量, 以 N 计, 括号内数字为推算的年通量。

② 括号内值为直接排放系数, 即施肥区 N₂O 排放通量减去对照区排放通量, 除以施 N 量。

每周一次比每天一次的测定, 推算出来的 N₂O 排放量高出 20%^[8]。长期定位试验的适宜测定频率是每天一次或 2~3 d 一次, 特别在高排放期间, 测定频率应更高^[9]。

1.3 估算参数

排放通量和氮肥排放系数是估算农田 N₂O 排放量的重要参数。目前, 中国农田 N₂O 排放的测定值是有限的(表 2), 应加强不同类型区, 不同作物田 N₂O 排放测定, 提高估算参数的代表性。

1.4 估算方法

农田 N₂O 排放量测定一般是在小区中进行的, 并以测定数据来估算大面积 N₂O 排放量, 估算方法显得尤为重要。

估算施肥引起的 N₂O 排放的方法主要有 Eichner^[10]方法, 此法被 IPCC 采纳去估算国家级 N₂O 排放。这种方法是以前各种肥料中所消耗的含氮量以及 N 以 N₂O 形式排放出来的系数为基础进行计算。Eichner 建议加倍排放系数, 以便包括非测定期和氮肥淋失的排放。但在实际的估算中, 往往是分别估算各组分 N₂O 排放。OECD^[3]给出的各种肥料的排放系数为氨 1.63%, 其他氮肥 0.12%。此法是目前常用

的估算氮肥释放 N₂O 的经验方法。

对于农田本底排放(自然排放), 一般是直接测定 N₂O 排放通量来进行估算的。

Li 等^[11]发展一种基于施氮量、气候条件、土壤特性和农田管理的 DNDC 综合模型。此模型描述了产生 N₂O 的条件, 但需要的参数较多。在实际的大面积 N₂O 排放估算中, 如能满足模型对参数的要求, 是一种较好的估算 N₂O 排放的方法。

1.5 估算组分

农田 N₂O 排放一般是指原位排放, 流出农田的氮素经转化排放 N₂O 不属于农田排放。农田 N₂O 排放途径主要有作物排放, 土壤本底排放, 氮肥释放, 氮素(氮肥和有机质分解的氮素)从土壤中淋失所导致的地下水和地表水中 N₂O 排放。

作物排放是目前估算农田 N₂O 排放时易被忽视的组分。作物对 N₂O 排放的贡献主要表现为, 一方面作物根系及根分泌物在一定程度上改变土壤的理化性质, 促进微生物过程和 N₂O 产生; 另一方面作物可以某种方式将土壤中产生的 N₂O 传输到大气中或作物组织的生理反应排放 N₂O。根据对大豆、玉米和水稻及

其组织进行的 N_2O 排放测定,各种作物表现出不同的 N_2O 排放能力^[12]。

土壤有机质含量是影响本底排放的重要因素。有机质在微生物作用下分解排放 N_2O , 分解速度受微生物活性和 C/N 比的影响。

施肥释放 N_2O 通常发生在施肥之后几个星期内,施肥引起的 N_2O 排放系数因肥料类型和用量、土壤质地、测定期和测定频率不同而有差异(表 1, 表 2)。

施用于作物的总氮量中,约 50% 为作物吸收,其余通过各种途径进入土壤而损失。淋溶和反硝化作用被认为是肥料氮从土壤中损失的两个最重要的过程^[18]。 N_2O 在水中溶解度相对较高,氮肥淋溶到地表水和地下水中经硝化和反硝化作用排放 N_2O 。有机质是土壤中最大的氮库,它的分解是决定硝态氮水平的重要因素。有机质分解产生的硝态氮在地下水和地表

水中排放的 N_2O 是农田 N_2O 排放的组成部分之一。

在收集 N_2O 排放值资料时,必须明确是哪个组分的 N_2O 排放,以便于全面估算农田 N_2O 排放量。目前对农田施肥引起的 N_2O 排放进行估算的较多,对其他组分的估算较少。

2 中国农田 N_2O 排放量的估算

我国学者就中国农田 N_2O 排放的部分组分作了估算。王少彬^[19]采用 IPCC 推荐的方法,估算中国 1990 年耕地(旱地) N_2O (以 N 计)本底排放 63 Gg/a, 肥料释放 23.2 Gg/a, 肥料淋溶排放 25 Gg/a。85-913-04-05 攻关课题组^[20]取各种肥料的排放系数为氨水 1.63%, 复合肥 0.11%, 其他氮肥 0.11%, 估算中国 1990 年施肥引起的 N_2O 排放 21.2 Gg/a。

表 3 1993 年中国农田 N_2O 排放量估算^①

Table 3 Estimation of N_2O emissions of farmlands in China (1993)

源组	N_2O 年排放通量 (kg/hm^2)	N 肥排放系数 (%)	N_2O 排放量 (Gg/a)	各组分比重 (%)
耕地				40.1
旱地	0.95(0.2~2.0) ^②		66.5(14.0~140.0)	
水田	0.24(0.07~0.38)		6.0(1.8~9.5)	
肥料				33.7
氮肥		0.30(0.02~1.70)	55.0(3.7~311.8)	
复合肥		0.11(0.02~1.70)	5.8(1.1~89.9)	
淋溶		0.20(0.025~0.60)	47.3(5.9~141.8)	26.2
合计			180.6(26.5~693.0)	100

注:① 统计数据来自文献[21]。旱地面积 $7.0 \times 10^7 hm^2$, 水田面积 $2.5 \times 10^7 hm^2$, 氮肥 $1.8343 \times 10^{10} kg$ N, 复合肥 $5.288 \times 10^9 kg$ 。

② 表中括号内数为范围值。

农田 N_2O 排放的组分包括作物排放、耕地本底排放、肥料释放以及地下水 and 地表水中 N_2O 的排放。(1) 估算农田本底排放应以不施肥农田的测定数据为基准。大部分试验采用封闭箱式法,把作物罩进去,作物排放包含在本底排放之中。根据国内外发表的数据(表 1, 表 2),剔除极端值,我们确定旱地 N_2O 平均排放通量为 $0.95 kg/(hm^2 \cdot a)$, 区间 $0.2 \sim 2.0 kg/(hm^2 \cdot a)$; 水田 $0.24 kg/(hm^2 \cdot a)$, 区间 $0.07 \sim$

$0.38 kg/(hm^2 \cdot a)$, 估算 N_2O 排放量见表 3。(2) 根据表 2 实测数据,确定氮肥排放系数 0.30%, 复合肥 0.11%, 估算肥料释放 N_2O 总量为 60.8 Gg/a。(3) 耕地淋溶水中的氮素以硝态氮为主,经反硝化作用排放 N_2O 。估计土壤中所施氮肥中的 5%~30% 氮将淋溶到水中,这部分氮的 0.5%~2.0% 将以 N_2O 的形式排放到大气中^[3]。这样,我们可以确定氮肥通过淋溶,在地表水和地下水中 N_2O 排放系数为

0.20%, 估算 N₂O 排放量为 47.3 Gg/a。

中国农田 1993 年 N₂O 排放总量为 180.6 Gg/a, 本底排放、施肥释放和淋溶排放分别占总排放量的 40.1%, 33.7% 和 26.2%。

3 如何提高农田 N₂O 排放量估算的准确性

(1) 中国是个农业大国, 农田 N₂O 排放占有相当大的比重。目前中国农田 N₂O 排放测定值是有限的, 应在不同类型区、不同作物田对 N₂O 排放进行长期的定位测定, 这是估算的基础。

(2) 针对影响农田氧化亚氮排放量估算准确性的因素, 寻求适宜方法, 避免不利作用, 提高估算准确性。

(3) 目前, 大面积(国家级)农田 N₂O 排放量估算停留在经验模式上, 有待于发展预测模型, 提高估算准确性。

(4) 中国地域辽阔, 很难用单一的估算参数和模型代表整个中国地区, 可以通过分区估算的方法, 进行中国农田 N₂O 排放的总估算。

(5) 目前对农田 N₂O 排放量估算最多的是肥料释放; 对于作物排放, 有机质分解排放, 做的工作较少。有待于加强农田不同组分 N₂O 排放的研究。

致谢 本文蒙曾江海研究员指导, 谨此致谢。

参考文献

- 1 Badr O et al. Nitrous oxide in the earth's atmosphere. *Appl Energy*, 1992, 41: 177
- 2 Bouwman AF. Exchange of greenhouse gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere. In: Bouwman AF ed. *The Soil and Greenhouse Gases*. Chichester: John Wiley and Sons, 1990, 60-120
- 3 OECD. Estimation of greenhouse gas emissions and sinks. Paris, 1991
- 4 Hutchinson GL et al. Improved soil cover method for field measurement of nitrous oxide flux. *Soil Sci Soc Am J*, 1981,

45: 311

- 5 Robbins SG et al. Spatial and diurnal variability in emission of nitrous oxide from soils. *Agronomy Abstracts*, 1979, 71: 37
- 6 Mosier AR et al. Nitrous oxide emissions from cropped fields. *J Environ Qual*, 1981, 10: 169
- 7 陈冠雄, 等. 稻田 CH₄ 和 N₂O 排放及养萍和施肥的影响. *应用生态学报*, 1995, 6(4): 378-382
- 8 Brumme R et al. Effects of liming and nitrogen fertilization on emissions of CO₂ and N₂O from a temperate forest. *J G R*, 1992, 97: 12851-12858
- 9 Bouwman AF. Compilation of a global inventory of emissions of nitrous oxide. Wageningen, 1995, 57-76
- 10 Eichner MJ. Nitrous oxide emissions from fertilized soils: summary of available data. *J Environ Quality*, 1990, 19: 272-280
- 11 Li Changsheng et al. A model of nitrous oxide evolution from soil driven by rainfall events. *J Geo Res*, 1992, 97: 9759-9783
- 12 陈冠雄, 等. 植物释放氧化亚氮的研究. *应用生态学报*, 1990, 1(1): 94-96
- 13 苏维瀚, 等. 华北典型冬麦区农田氧化亚氮通量. *环境化学*, 1992, 11(2): 26-32
- 14 黄国宏, 等. 东北典型旱作农田 N₂O 和 CH₄ 排放通量研究. *应用生态学报*, 1995, 6(4): 383-386
- 15 于克伟, 等. 几种旱地农作物在农田 N₂O 释放中的作物及环境因素的影响. *应用生态学报*, 1995, 6(4): 387-391
- 16 王少彬, 等. 玉米地氮肥释放 N₂O 的研究. *农村生态环境*, 1995, 10(4): 12-14
- 17 曾江海, 等. 小麦-玉米轮作期土壤排放 N₂O 通量及总量估算. *环境科学*, 1995, 16(1): 32-35, 67
- 18 王小彬. 保持耕作土壤体系中肥料氮的行为及氮的有效管理的探讨. *土壤学进展*, 1995, 23(2): 1-11
- 19 王少彬, 等. 中国地区氧化亚氮排放量及其变化的估算. *环境科学*, 1993, 14(3): 42-46
- 20 85-913-04-05 攻关课题组. 我国稻田甲烷排放量和施用氮肥氧化亚氮排放量的估算. *农业环境保护*, 1993, 12(2): 49-51
- 21 蔡盛林. 中国农业年鉴 1994. 北京: 中国农业出版社, 1994

作者简介 王智平, 男, 31 岁, 助理研究员, 理学硕士, 主要从事村落生态学和温室效应的研究工作, 曾在中、英文期刊上发表论文 18 篇。