

# 设施菜地 N<sub>2</sub>O 释放特征及其土壤环境影响因素

何闪闪<sup>1</sup>, 王雷<sup>2</sup>, 李阿南<sup>2</sup>, 何闪英<sup>2</sup>

(1.浙江省宁海县产品质量监督检验所, 浙江 宁海 315600; 2.浙江工商大学, 环境科学与工程学院, 浙江省固体废物处理与资源化重点实验室, 浙江 杭州 310012)

**摘要:** 设施菜地是农田生态系统 N<sub>2</sub>O 排放的重要来源。本试验选取设施番茄菜地为研究对象, 探讨在不同形态氮肥以及温度和季节变化时, N<sub>2</sub>O 的释放规律及影响其释放的相关主要因子。结果表明: 施肥对 N<sub>2</sub>O 排放影响显著, N<sub>2</sub>O 通量随施肥量增加而增加, 且不同氮肥处理的 N<sub>2</sub>O 释放速率为 UN(酰胺态氮) > AN(铵态氮) > NN(硝态氮)。随着温度从 5 °C 上升到 30 °C, N<sub>2</sub>O 排放峰值由 73.07 mg·h<sup>-1</sup>·m<sup>-2</sup> 增加到 133.43 mg·h<sup>-1</sup>·m<sup>-2</sup>, 但温度继续增加, N<sub>2</sub>O 排放量有所下降。此外, 与无作物种植的设施菜地相比, 番茄设施菜地的 N<sub>2</sub>O 排放通量较低, 该现象在施加 NN 时尤为明显, 说明番茄对 N<sub>2</sub>O 有一定的吸收作用。

**关键词:** 设施菜地; N<sub>2</sub>O 排放; 氮肥; 作物种植; 温度

中图分类号: [S19] 文献标识码: A 文章编号: 1006-8759(2015)06-0040-04

## EMISSION OF N<sub>2</sub>O FROM PROTECTED VEGETABLE FIELD: CHARACTERISTICS AND SOIL ENVIRONMENTAL INFLUENCING FACTORS

HE Shan-shan<sup>1</sup>, WANG Lei<sup>2</sup>, LI A-nan<sup>2</sup>, HE Shan-ying<sup>2</sup>

(1. Quality supervision and Examination Station of Ninghai, Ninghai 315600 China; 2. College of Environmental Sciences and Engineering, Zhejiang Gongshang University, Zhejiang Provincial Key Laboratory of Solid Waste Treatment and Recycling, Hangzhou 310012 China)

**Abstract:** Greenhouse vegetable fields are the significant source for N<sub>2</sub>O emission. The objective of this paper was to explore the characteristics of nitrogen emission after different types of nitrogen fertilizers were applied in the protected tomato field, and the soil effecting factors such as soil nitrogen content, temperature and crops were investigated. The results showed that application of nitrogen fertilizer resulted in the N<sub>2</sub>O emission and the emission amount increased with the increase of fertilizer addition. Moreover, the order for the N<sub>2</sub>O release rate was UN (amide nitrogen) > AN (ammonium nitrogen) > NN (nitrate nitrogen). N<sub>2</sub>O Emission was also enhanced along with the increased temperature. The emission peak was heightened from 73.07 mg/hm<sup>2</sup> at 5 °C to 133.43 mg/hm<sup>2</sup> at 30 °C; however, the temperature continued to increase, the N<sub>2</sub>O emission flux declined, the temperature 20-30 °C

was the most conducive to N<sub>2</sub>O Emission. In addition, N<sub>2</sub>O emission was lower from the tomato protected plots compared with the plots without crops planting, and this phenomenon was especially evident when application with NN, indicating that some N<sub>2</sub>O was absorbed by tomato.

**Key words:** protected vegetable lands; N<sub>2</sub>O emission; nitrogen fertilizer; planting; temperature

全球气候变暖是国际社会普遍关注的环境问题, N<sub>2</sub>O 是最重要的温室气体之一对全球气候变化的贡献约占全部温室气体总贡献的 7.9 %<sup>[1]</sup>。另外, N<sub>2</sub>O 引起的光化学反应会导致臭氧层破坏, 进而给动植物生存环境及人类健康带来严重危害。农田生态系统产生的 N<sub>2</sub>O 占全球年排放量总额的 35 %<sup>[2]</sup>。我国蔬菜种植面积仍在持续增大, 而菜地中的高氮肥投入量远远超过蔬菜的吸收量, 势必引起 N<sub>2</sub>O 的高释放<sup>[3]</sup>。目前国内外对麦田、稻田、玉米地等一些露天农田的 N<sub>2</sub>O 释放已有较多研究。相对于其它露天农田, 设施菜地通常处于封闭或半封闭状态, 无雨水淋洗, 并具有反季节、集约化生产、复种指数高的特点。因而, 设施菜地种植中 N<sub>2</sub>O 排放通量的变化特征及影响因素也会有异于露天农田。我国设施蔬菜栽培面积超过 2.7×10<sup>6</sup> hm<sup>2</sup>, 占世界设施蔬菜总面积的 80 % 以上<sup>[4]</sup>。随着设施菜地规模的持续扩大, 极可能成为我国农田 N<sub>2</sub>O 的重要排放源。但目前对设施菜地 N<sub>2</sub>O 排放特征及其土壤环境影响因素的研究仍十分有限<sup>[5-7]</sup>。因此, 本研究选取番茄设施菜地为研究对象, 研究其不同氮肥形态和温度条件下的 N<sub>2</sub>O 释放规律, 并考察作物种植对设施菜地 N<sub>2</sub>O 排放的影响, 为设施菜地温室气体减排、农业生态系统保护与可持续发展提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计

#### 1.1.1 季节变化及作物种植对 N<sub>2</sub>O 通量的影响研究

在杭州市郊选取具有代表性设施菜地, 供试菜地的理化性质: 粘粒 < 0.002 mm%: 26; 砂粒 > 0.02 mm%: 30; 有机质含量 12 g·kg<sup>-1</sup>; 总 N 0.67 g·kg<sup>-1</sup>; 有效 P 8.5 mg·kg<sup>-1</sup>; 速效 K 82.4 mg·kg<sup>-1</sup>。设施菜地中进行分区(每区 2 m×2 m, 各区设透明塑料棚进行隔离以免干扰)种植番茄, 同时设空白地(无作物种植)(1.5 m×1.5 m), 以高水肥条件[依据《中国主要作物施肥指南》<sup>[8]</sup>和农业部主要作物科学施肥指导意见, 中等偏上番茄年产量(90-120

t·h<sup>-1</sup>·m<sup>-2</sup>)时氮素推荐用量为 675-900 kg·N·h<sup>-1</sup>·m<sup>-2</sup>, 本研究中以中等偏上番茄年产量推荐施氮量的平均值×1.5 作为高氮肥施用量(1200 kg·h<sup>-1</sup>·m<sup>-2</sup>); 含水量为饱和田间持水量的 85 %], 分别施加尿素(酰胺态氮肥, UN)、硫酸铵(铵态氮肥, AN)和硝酸钾(硝态氮肥, NN), 番茄种植(2 叶期)时施用 50 % 氮肥, 一月后追肥 30 %, 再隔一月追肥 20 %; 每隔 3 天监测 N<sub>2</sub>O 排放速率, 连续观测 3 个月(2014 年 5 月 1 日-7 月 31 日)。

#### 1.1.2 温度对 N<sub>2</sub>O 通量的影响研究

采用室内盆栽(直径 40 cm×高 30 cm 紫砂泥盆钵)分室培养方法, 各室温度分别设为: 15、20、25、30、35 °C。每盆种植 4~6 片真叶期的番茄 3 株, 每室 3 盆。以番茄中等偏上年产量的氮素推荐量 800 kg·h<sup>-1</sup>·m<sup>-2</sup> 施加尿素, 施肥方式为番茄种植时一次性施入, 每隔 1 天监测 N<sub>2</sub>O 排放速率, 研究温度对番茄设施菜地土壤 N<sub>2</sub>O 排放的影响。

## 1.2 N<sub>2</sub>O 测定方法

### 1.2.1 田间 N<sub>2</sub>O 测定

采用静态箱-气相色谱(GC, Agilent, USA)对田间设施菜地 N<sub>2</sub>O 通量进行测定, 采样装置由底座(40 cm×40 cm×20 cm, 带凹槽), 分节组合式箱体(40 cm×40 cm×40 cm)和盖组成。底座下端插入土壤 5 cm, 测定时用水密封底座凹槽避免箱内空气与外界交换。盖子中央装压力平衡管, 外端连接铝箔制的压力调节袋, 以保持箱体内外压力平衡。箱内装风扇以保证气体混合均匀。取样口位于箱体中部, 用便携式大气采样泵将气体采到专用铝箔气体采样袋带回实验室。GC 测定 N<sub>2</sub>O 浓度时, N<sub>2</sub>O 标准气浓度为 9.6 mg·L<sup>-1</sup>, 用瑞典产浓度为 328.2 μL·L<sup>-1</sup> 的标准气体进行校正, 样品稀释用 99.999 % 的高纯氮气。检测器温度、柱温、进样口温度分别为 350、60、100 °C。

### 1.2.2 室内培养 N<sub>2</sub>O 测定

取新鲜土壤样品 50 g 于培养瓶, 加以处理后密封, 于 25 °C 暗室培养后, 用气密性注射器取 500 μL 进行 GC 测定, 具体操作参考文献<sup>[9]</sup>。

### 1.3 统计分析

各处理分别设三个平行试验组。所有数据均采用 SPSS19.0 软件进行分析。采用单因素方差分析(one-way ANOVA)和 Duncan 多重比较方法分析组间差异( $P < 0.05$ )。

## 2 结果与讨论

### 2.1 设施番茄菜地与设施空白地土壤 $N_2O$ 排放的季节变化

如图 1 所示,无论作物种植与否, $N_2O$  排放速率均为  $UN > AN > NN$ ,说明施用 UN 时  $N_2O$  排放量显著高于施用 AN 和 NN 时。类似地,梁东丽等发现,在黄土性土壤中施用 AN 排放的  $N_2O$  也高于 NN,但 Smith 等<sup>[10]</sup>研究发现,氮肥种类对马铃薯地  $N_2O$  排放没有影响,这可能是因为土壤特性及种植作物的种类不同造成的。由图 1 可见,每次施肥后均会在 5-12 天之间达到  $N_2O$  排放峰值,随后逐渐排放量逐渐下降,这在其他研究中也有类似现象<sup>[6,11]</sup>。第一次施肥后  $N_2O$  排放速率峰高于其他两次,说明随着施入量的逐渐下降,排放峰值逐渐变小,这也证明了设施菜地  $N_2O$  排放来源于氮肥的施入,此外,由于蔬菜苗期需要适应其生长环境,对氮素的需求量小于其施加量,即供大于求而造成的氮素转化成  $N_2O$  释放到大气中。

由图 1 可见,设施空白地中  $N_2O$  通量总是大于设施番茄种植地。其原因可认为是蔬菜植株的迅猛生长和果实的快速形成对养分需求的加大,追肥所带入的养分大量被吸收,使得生成  $N_2O$  的底物较少;另外蔬菜叶片具有一定的吸收空气中  $N_2O$  的功能。叶欣等<sup>[12]</sup>在玉米田、大豆田和棉花田及孙艳丽等<sup>[13]</sup>在冬小麦/夏玉米轮作田的土壤  $N_2O$  排放研究中也发现,土壤养分的变化和作物植株的生长状况会对土壤  $N_2O$  的季节排放产生影响。可见,对于设施菜地而言,氮肥是设施菜地  $N_2O$  排放的重要限制因子,此外,由于作物的生长状况对氮素的需求不同,也可明显影响  $N_2O$  的排放。但如图 1 所示, $N_2O$  排放量与氮肥施入量未呈线性关系,这可能是由于随季节变化,温度逐渐上升(5 月平均 25 °C 到 6 月平均 30 °C 到 7 月平均 36 °C),使反硝化微生物群落生长代谢活性逐步提高引起。

### 2.2 温度与设施番茄菜地 $N_2O$ 排放速率的关系

土壤温度主要通过影响土壤微生物的活性来

影响硝化和反硝化反应的速率,从而影响  $N_2O$  的产生。如图 2 所示,温度从 15 °C 升高到 20 °C,土壤  $N_2O$  排放速率显著加快,且与 15 °C 时相比,20 °C 时  $N_2O$  排放速率较快达到峰值,且由 15 °C 时在第六天达到的最大排放速率  $73.06 \text{ mg} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$  增加到 20 °C 时在第 8 天达到的最大值  $118.83 \text{ mg} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ 。但在 20 °C~30 °C 之间, $N_2O$  排放速率随温度变化的上升趋势不明显,30 °C 时在第 6 天达到最大排放值  $133.43 \text{ mg} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ 。温度继续上升到 35 °C 时, $N_2O$  排放速率有一定的下降。可见,20 °C~30 °C 为番茄设施菜地  $N_2O$  排放的最适温度,这

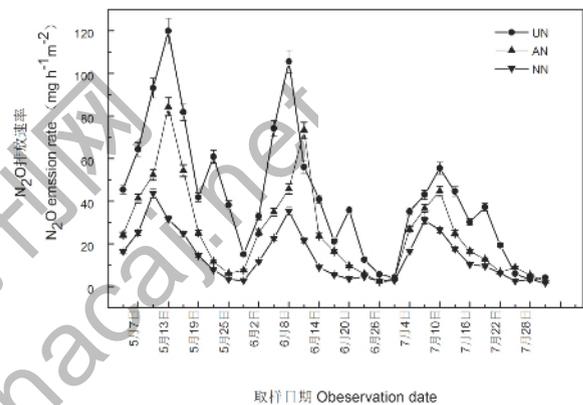


图 1-1 季节变化对设施栽培菜地  $N_2O$  释放速率的影响

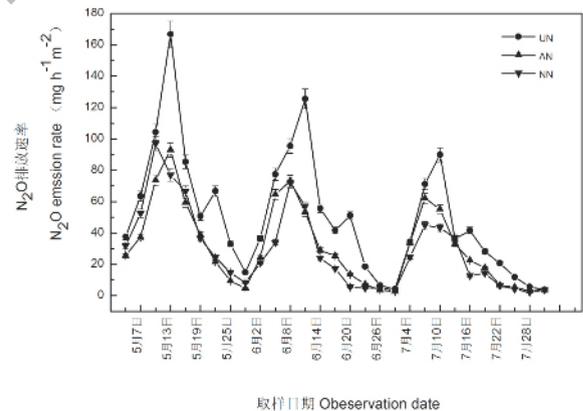


图 1-2 季节变化对设施空白菜地  $N_2O$  释放速率的影响

可能是由于该温度下反硝化菌具有较高的生长代谢活性。大量研究表明, $N_2O$  通量随着温度的升高有不同程度的增加,通常呈指数关系<sup>[13-15]</sup>。如程颐<sup>[16]</sup>等在中国亚热带酸性森林类型土壤上研究温度对  $N_2O$  和  $NO$  释放的影响中发现,阔叶林土壤  $N_2O$  和  $NO$  释放随温度增加呈指数增加,但,针叶林土壤  $N_2O$  和  $NO$  释放对温度的变化不敏感。本研究中,随温度上升  $N_2O$  排放速率先增加后下降。这些结果表明温度对土壤  $N_2O$  释放的影响受土壤环境显著影响。刁甜甜等<sup>[17]</sup>通过对华北平原菜地

(露天菜地、设施菜地和玉米地)的研究提出 N<sub>2</sub>O 释放峰值的大小与施氮量有关,而温度主要决定着排放峰值的出现时间和持续时间,当温度<24℃的时候排放峰值将持续较长一段时间。而本研究中,同一氮肥在相同施氮量下在 15℃、20℃和 30℃时,N<sub>2</sub>O 排放峰值及其出现时间差异较大。这些研究结果的差异也可能是由于不同类型土壤理化性质不同,其土壤微生物群落与土壤酶活性也有所不同,也会导致反硝化菌生长代谢活性的差异。

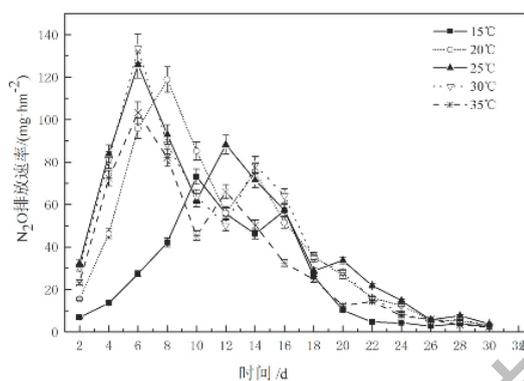


图2 N<sub>2</sub>O 排放速率随温度的变化

### 3 结论

与无作物种植的设施菜地相比,番茄设施菜地的 N<sub>2</sub>O 排放通量较低,该现象在施加 NN 时尤为明显,说明番茄对 N<sub>2</sub>O 有一定的吸收作用。

设施番茄菜地 N<sub>2</sub>O 排放随季节变化明显,每次追肥均引起 N<sub>2</sub>O 排放峰出现,且施肥量越大,N<sub>2</sub>O 排放量越大;施用 UN 和 AN 排放的 N<sub>2</sub>O 量远高于 NN。故从 N<sub>2</sub>O 排放量角度考虑在施加氮肥时应尽可能的选择硝态氮肥。

随着温度的增加,N<sub>2</sub>O 排放速率也逐渐增加,峰值由 15℃的 73.07 mg/hm<sup>2</sup> 上升到 30℃的 133.43 mg/hm<sup>2</sup>,但温度继续增加,N<sub>2</sub>O 排放量有所下降,20~30℃时最利于氮素的气态损失。

### 参考文献

[1] IPCC.Agriculture. In: climate change 2007: mitigation,contribution of working group to the fourth assessment report of the inter-governmental panel on climate change [R]. Cambridge:Cambridge University Press,2007.499-532

[2] Kroeze C, Mosier A, Bouwman AF. Closing the global N<sub>2</sub>O budget: a retrospective analysis 1500-1994.Global Biogeochemical Cycles,1999,13:1-8

[3] 郭文忠,刘声锋,李丁仁,赵顺山. 设施蔬菜土壤次生盐渍化发生机理的研究现状与展望[J]. 土壤, 2004, 36(1):25-29.

[4] 张志斌. 我国设施蔬菜存在的问题及发展重点 [J]. 中国蔬菜, 2008(5):1-3.

[5] 张光亚,陈美慈,闵航. 设施栽培土壤 N<sub>2</sub>O 释放及硝化、反硝化细菌数量的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2002, 8(2):239-243.

[6] 张仲新,李玉娥,华璐,姜宁宁. 不同施肥量对设施菜地 N<sub>2</sub>O 排放通量的影响[J]. 农业工程学报, 2010, 26(5):269-275.

[7] 杨岩,孙钦平,李吉进,刘春生,刘本生,徐俊香,高丽娟. 不同水肥处理对设施菜地 N<sub>2</sub>O 排放的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(2):430-436.

[8] 张福锁,陈新平,陈清. 中国主要作物施肥指南[M]. 北京:中国农业大学出版社. 2009, 161-162.

[9] Wang YH, Wang YS, Ling H. A new carrier gas type for accurate measurement of N<sub>2</sub>O by GC-ECD. Atmosphere Science, 2010,27,1322-1330

[10] Smith KA, Mc Taggart IP, Dobbie KE, Conen F. Emissions of N<sub>2</sub>O from Scottish agricultural soils,as a function of fertilizer N. Nutrient Cycling in Agroecosystems,1998,52:123-130

[11] Vallejo A, Skiba UM, Garcia LT, Arce A, Lopez SF, Sanchez LM. Nitrogen oxides emission from soils bearing a potato crop as influenced by fertilization with treated pig slurries and compost. Soil Biology and Biochemistry,2006,38:2782-2793

[12] 叶欣,李俊,王迎红,刘恩民,李瑞雪,于强,陈炳新. 华北平原典型农田土壤 N<sub>2</sub>O 的排放特征 [J]. 农业环境科学学报, 2005, 24(6):1186-1191.

[13] Abdalla M, Jones M, Williams M. Simulation of N<sub>2</sub>O fluxes from Irish arable soils:effect of climate change and management. Biology and fertility of Soils,2010,46:247-260

[14] Yin HJ, Chen Z, Liu Q. Effects of experimental warming on soil N transformations of two coniferous species,Eastern Tibetan Plateau, China. Soil Biology and Biochemistry,2012,50: 77-84

[15] Yan GX, Zheng XH, Cui F, Yao ZS, Zhou ZX, Deng J, Xu Y. Two-year simultaneous records of N<sub>2</sub>O and NO fluxes from a farmed cropland in the northern China plain with a reduced nitrogen addition rate by one-third. Agriculture,Ecosystems and Environment, 2013,178:39-50

[16] Cheng Y, Wang J, Wang SQ, Cai ZC. Effects of temperature change and tree species composition on N<sub>2</sub>O and NO emissions in acidic forest soils of subtropical China. Journal of Environmental Sciences,2014,26:617-625

[17] Diao TT, Xie LY, Guo LP, Yan HL, Lin M, Zhang H, Lin J, Lin E. Measurements of N<sub>2</sub>O emissions from different vegetable fields on the North China Plain. Atmospheric Environment,2013,72:70-76