

有机无机氮肥配施下洛阳烟田土壤 N_2O 排放特点及其控制因素

殷全玉¹, 孟祥瑞¹, 赵世民², 王玉洁², 王宏², 申洪涛³, 刘国顺¹

(1.河南农业大学烟草学院, 郑州 450002; 2.河南省烟草公司洛阳市公司,
河南 洛阳 471000; 3.河南中烟工业有限责任公司, 郑州 450000)

摘要: 随着农田化肥使用量的逐年增加和土壤退化问题日趋严重, 农田温室气体排放关注度持续提高, 为研究旱作植烟土壤 N_2O 排放特征及影响机理, 设置 6 个田间试验处理, 分别为 CK0(不施肥处理)、CK1(100% 无机氮)、T1(50% 无机氮+50% 饼肥氮)、T2(50% 无机氮+50% 羊粪肥氮)、T3(25% 无机氮+75% 饼肥氮)、T4(25% 无机氮+75% 羊粪肥氮), 各处理施氮量均为 45 kg/hm², 烟田施用基肥后起 142 天内测量不同处理土壤 N_2O 排放通量、硝态氮、铵态氮含量、根层温度和含水率。结果表明: (1) 基肥施入后的 3~7 天内, 土壤 N_2O 排放通量进入高峰, 无机肥处理和有机无机肥配施处理的高峰期分别可维持 20, 9 天, 追肥后 3 天再次出现排放峰并持续 9 天, 随后伴随烟株的生长发育, 烟地 N_2O 排放通量逐渐趋向稳定。(2) 基肥施用后仅 1 个月内 N_2O 累积排放量可达到总排放量的 27.4%~32.6%; 处理间 N_2O 排放量和排放系数均表现为无机>有机+无机(1:1)>有机+无机(3:1), 无机肥配施有机肥明显降低了肥料中氮素以 N_2O 形态的损失量; 与无机肥相比, T1 和 T2 烟叶产量分别增加 9.44% 和 6.37%, T1、T2、T3 和 T4 处理的 N_2O 排放强度有着不同程度的降低。(3) 主成分分析结果显示, 在不施肥烟地中 0—5 cm 土壤温度和含水率是 N_2O 排放通量主导因子, 利用相关性分析此环境下温度和水分分别与 N_2O 排放通量间呈现显著和极显著正相关关系; 施肥后土壤铵态氮含量和土壤含水率是烟地 N_2O 排放通量的主导因子且相关性分析均呈现极显著正相关关系。综上, 旱地植烟土壤 N_2O 排放受氮肥种类影响较大, 施肥后 N_2O 排放通量对土壤温度响应减弱, 主要受土壤铵态氮含量和含水量的影响; 在总氮量相同情况下, 有机无机肥配施比例为 1:1 时明显降低土壤 N_2O 排放并提高了产量, 该比例饼肥和羊粪肥处理分别将烟地 N_2O 排放强度降低 20.4% 和 23.7%。

关键词: 烟草; 旱地; N_2O ; 有机肥; 无机肥; 硝态氮; 铵态氮

中图分类号: S143.1; S572

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2021)02-0330-08

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcxb.2021.02.044

The N_2O Emission Characteristics and Controlling Factors in Luoyang Tobacco Field Under the Combined Application of Organic and Inorganic Nitrogen Fertilizer

YIN Quanyu¹, MENG Xiangrui¹, ZHAO Shimin², WANG Yujie²,

WANG Hong², SHEN Hongtao³, LIU Guoshun¹

(1. Tobacco College, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002; 2. Luoyang Municipal

Tobacco Company, Luoyang, Henan 471000; 3. China Tobacco Henan Industrial Co., Ltd., Zhengzhou 450000)

Abstract: With the increasing chemical fertilizers application and serious soil degradation, the greenhouse gas emissions from agriculture field have been also concerned. The experiment combined organic nitrogen and inorganic nitrogen in order to study N_2O emissions in dry tobacco field. There were 6 treatments: CK0 (no fertilizer), CK1 (100% inorganic nitrogen), T1 (50% inorganic nitrogen/50% cake fertilizer nitrogen), T2 (50% inorganic nitrogen/50% sheep manure nitrogen), T3 (25% inorganic nitrogen/75% cake fertilizer nitrogen), T4 (25% inorganic nitrogen/75% sheep manure nitrogen). Totally 45 kg/hm² nitrogen was applied for each treatment. With in 142 days from applying basic fertilizer, the N_2O emission flux, NO_3^- , NH_4^+ , 0—5 cm soil temperature and moisture content were analyzed. The results showed that: (1) The N_2O emission flux of the soil reached a high flux after 3~7 days of basic fertilization. The inorganic fertilizer and the combined fertilizer of

收稿日期: 2020-09-18

资助项目: 河南省烟草公司洛阳市公司科技项目(LYKJ201404)

第一作者: 殷全玉(1975—), 女, 河南信阳人, 博士, 副教授, 硕士生导师, 主要从事烟草资源微生物筛选与利用的教学研究。E-mail: quanyuy@126.com

通信作者: 刘国顺(1954—), 男, 河南平顶山人, 教授, 博导, 主要从事烟草栽培生理方面的教学和研究。E-mail: liugsh1851@163.com

inorganic and organic for the first high flux were lasting about 20 days and 9 days respectively. The N₂O emission flux of the soil reached a high flux one more time after 3 days of the second fertilization, and lasted 9 days. During the tobacco growing, soil N₂O emissions tended to be stable. (2) The cumulative emissions of N₂O could reach 27.4%~32.6% of the total emissions after one month of basic fertilization. The relationship of the emissions flux and the N₂O emission factors among treatments was inorganic>organic + inorganic (1 : 1)>Organic + Inorganic (3 : 1). The organic fertilizer reduced the loss of nitrogen in the fertilizer in the form of N₂O. Compared with the inorganic fertilizers, the yield of T1 and T2 increased by 9.44% and 6.37% respectively; and the N₂O emission intensity of each treatment were reduced. (3) Principal component analysis results showed that soil temperature and moisture content of 0~5 cm were the dominant factors of N₂O flux in non-fertilized tobacco fields. Analyzing correlation, temperature and moisture in this treatment were significantly positively and extremely significantly positively correlated with N₂O flux, respectively. After fertilization, soil NH₄⁺ and soil moisture content were the dominant factors of N₂O flux from, and the correlation showed a significant positive correlation ($P<0.01$). In summary, the N₂O flux of tobacco soil was extremely affected by the type of nitrogen fertilizer. After fertilizing, the responses of tobacco field N₂O fluxes to soil temperature declined, and the main influencing factors were NH₄⁺ and soil moisture. Under the same nitrogen content, the combined fertilizer of organic and inorganic rate of 1 : 1 reduced the N₂O cumulative emissions significantly, and enhanced the tobacco yield. The cake fertilizer and sheep manure with this organic and inorganic rate reduced the emission intensity by 20.4% and 23.7%, respectively.

Keywords: tobacco; dry-land; N₂O; organic nitrogen fertilizer; inorganic nitrogen fertilizer; nitrate nitrogen; ammonium nitrogen

氧化亚氮(N₂O)是大气中主要的温室气体之一,全球农田土壤每年向大气排放 N₂O 量占全球 N₂O 排放总量的重要部分^[1],《中华人民共和国气候变化第三次国家信息通报》显示 2010 年我国农事活动所产生 N₂O 排放量达到 115.4 万 t,占当年中国 N₂O 排放总量的 65.4%。施肥对农田土壤 N₂O 排放存在影响,高洪军等^[2]长期定位试验研究发现,增施有机肥可以降低玉米地 N₂O 排放量,单施化肥处理较有机/无机肥配施 N₂O 排放量提高 14.2%;张黛静等^[3]在小麦—玉米轮作系统也发现类似规律;而 Arun 等^[4]研究表明,晚稻田 N₂O 排放量表现为有机/无机肥配施处理高于化肥处理,而早稻田与之相反;也有研究^[5]认为,施氮量相同情况下,无机肥和有机肥处理间农田土壤 N₂O 排放量没有明显差异,这说明农田 N₂O 排放除受施肥影响,还与土壤类型和环境有关。有机物料对农田土壤 N₂O 排放的研究较多,但在植烟土壤方面的研究相对较少。

烟草是我国重要的经济作物,常年种植面积达 100 万 hm²。已有研究^[6]表明,有机无机肥配合使用,一方面可以补充烟田土壤有机质,改善土壤物理、化学和生物学特性,提高土壤持续供应养分的能力,有效避免因过量使用化肥而造成农田土壤板结、肥力退化的现象^[7];另一方面,可以显著增强烟株生理代谢^[8],降低发病率^[9],改善烟叶品质^[10]。使用有机肥提质增产是烟叶生产惯用栽培措施,我国每年向植烟

土壤施入大量有机肥,但关于施用有机物料对植烟土壤 N₂O 排放的影响还不清楚。本文以烟草生产常用的羊粪和饼肥作为有机氮来源,与化肥配施,探究河南省洛阳旱作烟田 N₂O 排放特征及主控因素,为河南烟区温室气体减排提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验条件

试验于 2019 年在河南省洛宁县西山底村(34°27'N, 111°58'E)进行,该地属于丘陵坡地,属暖温带大陆性季风气候,年平均气温 13.7℃,日照时间 2 217.6 h,无霜期 216 d,年降水量 550 mm 左右,属于“十年九旱”的旱作农业区。供试土壤类型为褐土,土壤基础肥力较低,0—10 cm 土壤基本性质为:速效氮 35.98 mg/kg,速效磷 13.87 mg/kg,速效钾 150.12 mg/kg,有机质 1.38%,全氮 0.095%,pH 7.53。

1.2 试验材料

供试烤烟品种“LY1306”由洛阳市烟草公司提供。供试有机肥为:羊粪有机肥(N+P₂O₅+K₂O≥5%,其中全N含量0.989%,有机质≥45%);饼肥(N+P₂O₅+K₂O≥5%,其中全N含量4.97%,有机质含量≥75%);供试化肥为:烟草专用复混肥(N:P₂O₅:K₂O=10:12:18),农用硫酸钾(含K₂O 50%),重过磷酸钙(含P₂O₅ 46%)和硝酸钾(含N量13.5%,N:P₂O₅:K₂O=1:0:3)。

1.3 试验设计

试验共设 6 个处理(表 1),除空白(CK0)外,其余处理施氮量均为 45 kg/hm²,每个处理 3 次重复,小区面积 100 m²,地边设 2 行保护行。各施肥处理 N:P₂O₅:K₂O=1:2:3,羊粪有机肥、饼肥、烟草专用复混肥、重过磷酸钙和硫酸钾作为基肥于 2019 年 4 月 1 日一次性开沟条施入土壤,5 月 4 日移栽烟草幼苗,5 月 13 日追施硝酸钾肥 75 kg/hm²,条施。按照优质烟叶生产栽培管理办法进行大田管理,试验地烟株于 6 月 12 日进入团棵期,7 月 3 日开始旺长期,7 月 30 日现蕾,8 月 6 日开始采收下部叶,9 月 20 日采收结束。

表 1 各处理有机氮和无机氮施入量

处理	总氮	无机氮	有机氮	
			饼肥氮	羊粪氮
CK0	0	0	0	0
CK1	45	45	0	0
T1	45	22.5	22.5	0
T2	45	22.5	0	22.5
T3	45	11.3	33.7	0
T4	45	11.3	0	33.7

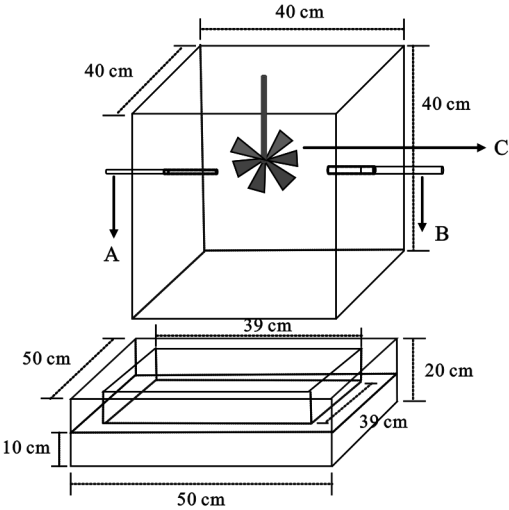
1.4 样品采集与测定方法

1.4.1 N₂O 气体收集与测定方法 N₂O 气体采用静态箱法收集,静态箱装置见图 1。静态箱为有机玻璃正方体,表面包裹不透明铝箔玻纤布隔热稳定箱体内温度。在静态箱的 2 个侧面分别有 1 个直径为 0.5 cm 小孔,箱内顶部安装 1 个小型风扇,每次取样时打开风扇,取样结束时关闭风扇。静态箱底座固定在 2 株烟中间的垄体土中,深入土壤 10 cm。每次取样前 24 h 除去底座中杂草,取样时将静态箱安插在底座回字形凹槽中,并在放置静态箱前添水密封凹槽内部,在静态箱扣在底座回形凹槽内的第 0,10,20,30 min,分别用 60 mL 注射器通过三通阀采集箱内气体。同时使用 JM624 型温度计记录土壤 0—5 cm 温度。

N₂O 气体取样频率:基肥施入后第 3 天取样,以后每隔 3 天收集气体 1 次,基肥施入后第 15 天开始,每隔 6 天取样 1 次,烟草移栽追肥后恢复每隔 3 天取样频率,追肥后的第 15 天开始恢复每隔 6 天取样 1 次的频率,烟草移栽后 109 天最后 1 次取样,共计 142 天,(实际取样频率会根据试验田气候状况调整 1~2 天)。每次取样时间在上午 9:00—12:00,认定这个时段的测定值为当日交换通量^[11]。收集到的气体在 1 周内使用 7890 型气相色谱仪(安捷伦,美国)进行分析,并转换成气体排放通量^[12]。

1.4.2 土壤样品采集与测定方法 采集 N₂O 气体当日在小区同垄上 2 棵烟株间取 0—5 cm 土壤 3 份,

充分混合均匀作为该小区的土壤样品。一部分土样在 105 ℃下烘至恒重测定土壤含水量,另一部分土样室内晾干,粉碎过 60 目筛,用 2 mol/L 浓度 KCl 溶液浸提过滤后用 SmartChem140 全自动化学分析仪(AMS,意大利)测硝态氮和铵态氮含量。



注:A 为温度计,测量箱体内温度;B 为抽气孔,用于注射器取气;C 为小型电风扇,使箱体内空气均匀。

图 1 N₂O 气体采集箱和底座

1.5 数据处理

1.5.1 植烟土壤 N₂O 排放量计算公式

N₂O 排放通量计算公式:

$$F=\frac{\Delta c}{\Delta t} \times \frac{273}{273+T} \times \rho \times \frac{V}{A} \times 60$$

式中:F 为 N₂O 气体排放通量(μg/(m²·h)); $\frac{\Delta c}{\Delta t}$ 为取样箱内 N₂O 浓度随时间的变化速率,N₂O(10⁻⁹/min),即为气体浓度与时间之间线性回归曲线斜率(R²≥0.9);T 为静态箱在取样期间箱内的平均温度(℃);ρ 为标准状态下箱内气体密度(g/L);V 为静态箱有效空间体积(m³);A 为静态箱覆盖的土壤面积(m²);60 为分钟(min)转换成小时(h)。

N₂O 累积排放量计算公式:

$$R=\sum_{i=1}^n \frac{(F_i+F_{i+1})}{2} \times (T_{i+1}-T_i) \times 24$$

式中:R 为土壤 N₂O 的累积排放量(kg/hm²);F 为 N₂O 气体排放通量(N₂O 单位 μg/(m²·h));T_{i+1}-T_i为相邻 2 次测定间隔天数;i 为第 i 次测定;n 为测定次数。

1.5.2 N₂O 排放系数与排放强度 氮的排放系数(EF_N)指在某一时段内施肥处理与不施肥处理土壤 N₂O—N 排放量之差与施入纯氮的百分比,单位质量纯氮的施入引起的土壤 N₂O—N 累积排放量的变化。计算公式为:

$$EF_N=\frac{(F_N-F_{CK0})}{N} \times 100 \%$$

式中: F_N 和 F_{CK0} 分别为施氮处理和不施氮处理的 N_2O-N 累积排放量(kg/hm^2); N 为施氮量(kg/hm^2)。

单位经济产量产生的 N_2O 排放量,计算公式为:

$$I=\frac{R}{Y}$$

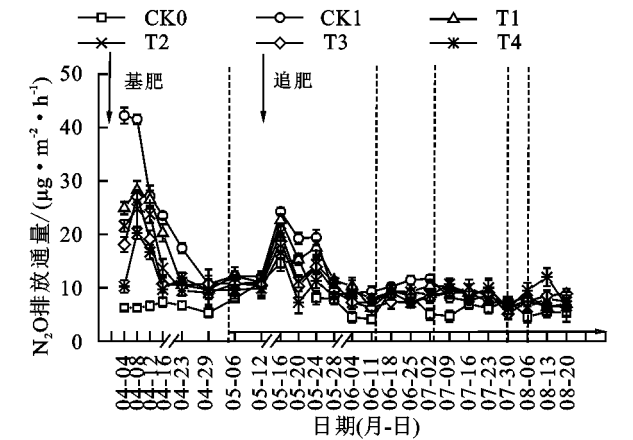
式中: I 为 N_2O 排放强度(g/kg); $R(N_2O)$ 为 N_2O 累积排放量(kg/hm^2); Y 为产量(kg/hm^2)。

1.5.3 数据处理 采用 Excel 2010 软件对试验数据进行整理;利用 DPS 软件的 LSD 法($P<0.05$)做处理间差异性分析;使用 Origin 9.1 软件绘图;SPSS Statistics 19 软件对数据进行相关性分析;使用 SAS JMP 软件进行主成分分析。

2 结果与分析

2.1 不同处理植烟土壤 N₂O 排放通量动态变化

旱地植烟土壤 N_2O 排放通量见图 2。 N_2O 第 1 次排放峰值出现在基肥施入后第 3 天,CK1 首先出现释放高峰,达到 $42.2\ \mu g/(m^2\cdot h)$,是有机无机肥配施处理的 1.5~4.1 倍,是不施肥处理的 6.7 倍。基肥施入第 7 天,有机无机肥配施监测到 N_2O 释放高峰,达到 $15.09\sim 28.24\ \mu g/(m^2\cdot h)$,仅为同期 CK1 处理的 36.31%~67.95%。CK1 第 1 次排放高峰持续时间长达 20 天,有机无机肥配施处理持续 9 天。排放峰过后,各施肥处理 N_2O 排放通量开始降低。追肥后 3 天出现第 2 次 N_2O 排放高峰,各施肥处理间同时出现排放峰值并保持 9 天。 N_2O 2 次高峰排放通量在处理间均表现为 $CK1>T1>T2>T3>T4>CK0$ 。



注:CK0 为不施肥;CK1 为 100% 无机氮;T1 为 50% 无机氮/50% 饼肥;T2 为 50% 无机氮/50% 羊粪氮;T3 为 25% 无机氮/75% 饼肥;T4 为 25% 无机氮/75% 羊粪氮;误差线代表标准偏差。

图 2 旱地烟地土壤 N₂O 排放通量动态变化

烟株移栽前,各施肥处理土壤 N_2O 排放通量为 $9.03\sim 42.2\ \mu g/(m^2\cdot h)$,而不施肥处理变化幅度较小,为 $5.29\sim 7.31\ \mu g/(m^2\cdot h)$ 。基肥排放峰过后,各处理的 N_2O 排放通量呈现缓慢增加趋势;追肥排放

峰过后, N_2O 排放通量稳定在较低水平,为 $4.07\sim 11.97\ \mu g/(m^2\cdot h)$ 。烤烟在进入旺长期后 T1,T2,T3,T4 处理 N_2O 排放通量较 CK1 略有增加,现蕾期处理间差异缩小并恢复稳定。

2.2 不同处理土壤温湿度、硝态氮和铵态氮含量动态变化及其对植烟土壤 N₂O 排放通量的响应

硝态氮和铵态氮是烤烟直接吸收利用的主要氮素形态,试验期间土壤硝态氮和铵态氮含量明显受到施肥和追肥的影响而提高,并随烟草生育期推进而逐渐降低(图 3)。土壤硝态氮含量变化范围为 $8.78\sim 40.09\ mg/kg$,CK0、CK1、T1、T2、T3 和 T4 处理 NO_3^- 平均含量分别为 $14.5, 30.00, 27.29, 26.82, 22.97, 22.84\ mg/kg$ 。土壤铵态氮含量在 $1.74\sim 8.51\ mg/kg$ 波动,CK0、CK1、T1、T2、T3、T4 处理 NH_4^+ 平均含量分别为 $2.84, 5.06, 4.50, 4.10, 3.52, 3.09\ mg/kg$ 。相关分析(表 2)表明, N_2O 排放通量与土壤硝态氮和铵态氮含量均呈现正相关关系,在 CK1、T1、T2、T3 处理中达到显著或极显著水平。当把硝态氮和铵态氮整体视为无机氮时,各施肥处理土壤无机氮含量与 N_2O 排放通量均呈现显著或极显著正相关关系,可能是施氮措施和肥料类型的不同引起土壤无机氮形态的差异。

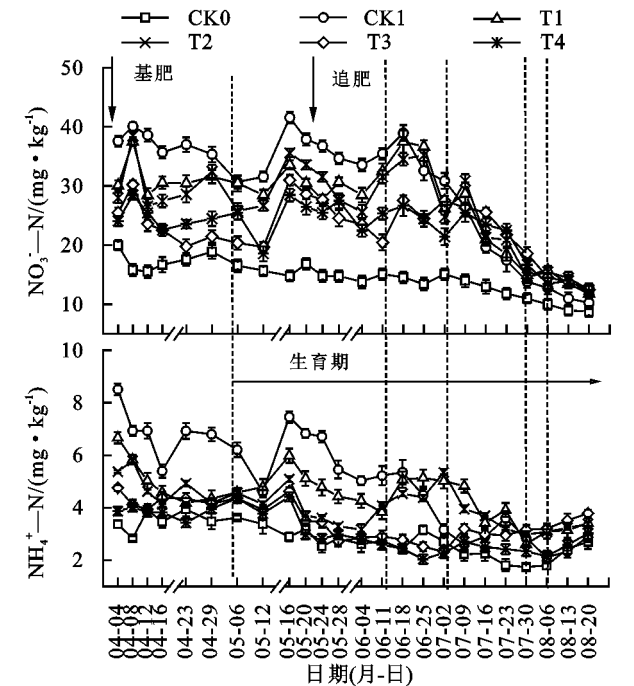


图 3 不同处理土壤硝态氮和铵态氮含量动态变化

试验期间,植烟土壤含水率因降雨、灌溉等原因在 $11.43\%\sim 22.60\%$ 范围内波动,0—5 cm 土壤温度为 $18.55\sim 27.68\ ^\circ C$,受季节变化影响,4—5 月间升温明显(图 4)。主成分分析(图 5)显示,在 CK0 处理中土壤温度和含水率是烟地 N_2O 排放的主导因子;同时相关分析(表 2)表明,不施肥处理土壤 N_2O 排

放通量与它们分别呈现显著和极显著正相关关系,说明此环境下土层温度和水分是引起 N_2O 排放的重要因素;而各施肥处理中 N_2O 排放通量的主导因子为

土壤铵态氮含量和含水率(图 5),结合相关性分析(表 2),铵态氮含量和土壤水分是影响施肥后烟地土壤 N_2O 排放的主要因素。

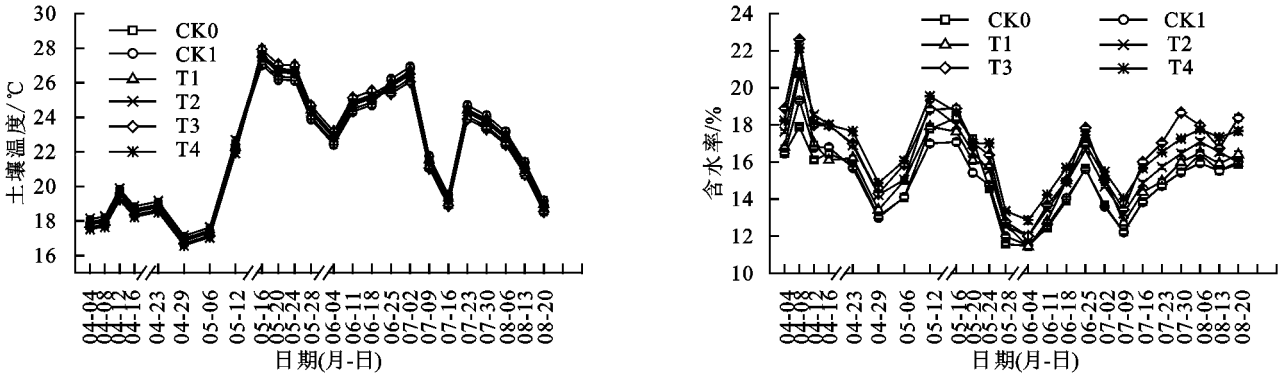
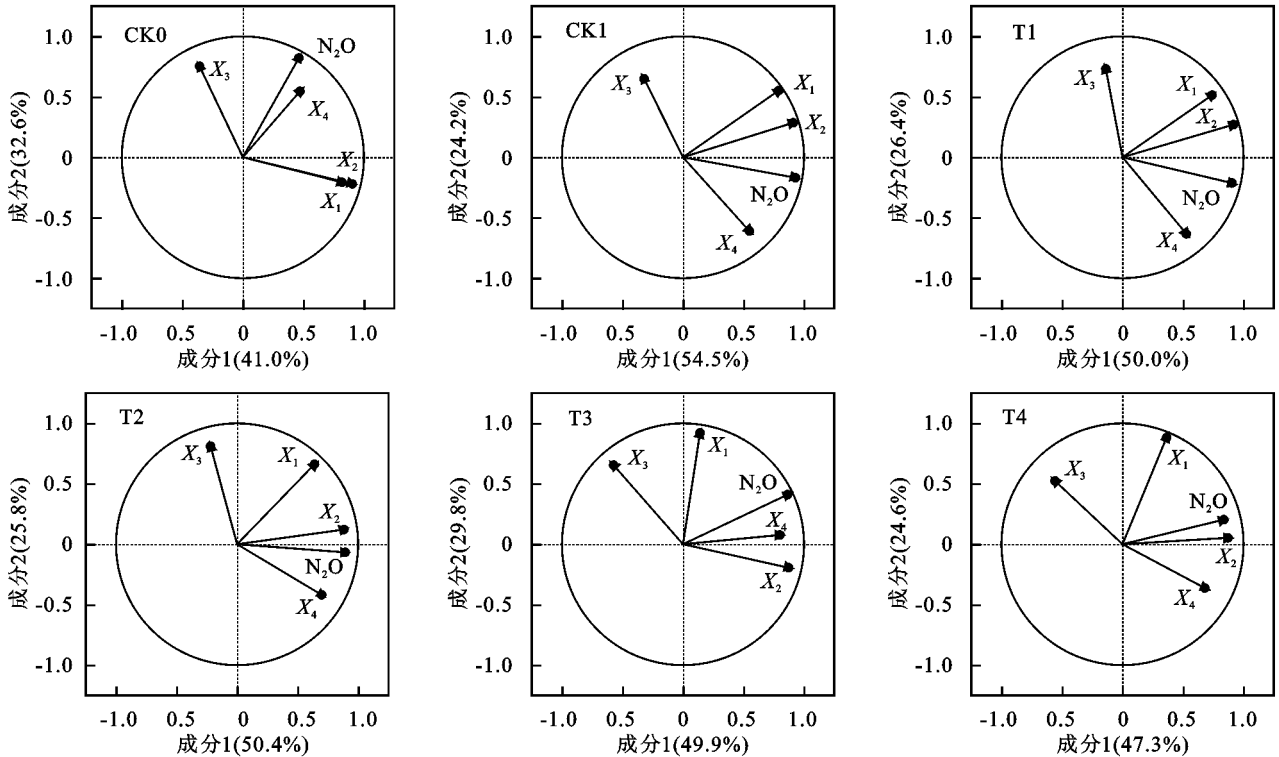


图 4 0-5 cm 土壤温度和水分动态变化



注: X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 分别代表 NO_3^- 、 NH_4^+ 、土壤温度以及含水率; $n=144$ 。

图 5 不同处理主成分分析

表 2 N_2O 排放通量与 0-5 cm 土壤温度含水率和硝态氮、铵态氮的相关关系

处理	硝态氮	铵态氮	硝态氮+铵态氮	土壤温度	含水率
CK0	0.232	0.226	0.241	0.435 *	0.536 **
CK1	0.604 **	0.746 **	0.639 **	-0.301	0.638 **
T1	0.469 *	0.748 **	0.514 *	-0.213	0.561 **
T2	0.471 *	0.660 **	0.507 *	-0.185	0.623 **
T3	0.487 *	0.617 **	0.571 **	-0.272	0.656 **
T4	0.383	0.568 **	0.443 *	-0.220	0.560 **

注: $n=144$; * 表示在 0.05 水平差异显著; ** 表示在 0.01 水平差异显著。

2.3 不同处理间植烟土壤 N_2O 累积排放量和平均排放通量比较

土壤 N_2O 的生成与排放是一个包含生物学和非生物学的复杂过程。从图 6 可以看出,烟草生产季节

各处理土壤 N_2O 的累积排放量和平均排放通量。CK0、CK1、T1、T2、T3 和 T4 移栽前 N_2O 排放量分别占累积排放量的 21.0%、38.4%、32.6%、30.7%、31.9%和 27.4%,说明在施肥后至烟株移栽前土壤 N_2O 排放量是植烟土壤 N_2O 累积排放量的重要组成部分,不可忽略。与 CK0 相比,施肥处理的 N_2O 累积排放量和平均排放量均有不同程度的增加,且均达到显著水平,说明刺激旱地植烟土壤 N_2O 排放的因素包含施 N 量和肥料类型。当施氮水平一致时,100%无机氮处理 N_2O 的平均排放量和累积排放量均高于有机无机肥配施处理,CK1 较 T1、T2、T3 和 T4 累积排放量分别增加 13.4%、24.4%、29.8%和 29.0%,其中与 T2、T3、T4 差异达到显著水平。

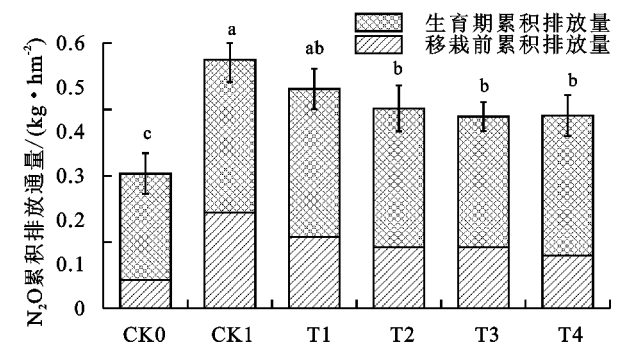


图 6 不同处理 N₂O 平均排放量和累积排放量

2.4 不同处理对植烟土壤 N₂O 排放系数、土壤 N₂O 排放强度及产量的影响

N₂O 排放系数与施氮量相关,施氮量为 45 kg/hm²时,旱地烟地 N₂O 排放系数为 0.19%~0.38% (表 4),有机无机肥配施较单施无机肥而言有效降低植烟土壤 N₂O 排放系数,T1、T2、T3 和 T4 较 CK1 分别减少 25.7%,42.8%,50.1% 和 49.1%,CK1 与 T2、T3、T4 间差异达到显著水平。

有机无机肥配施对提高烤烟产量具有重要的作用。由表 3 可知,各处理间的产量关系为 T1>T2>CK1>T4>T3>CK0,与 CK0 相比,T1、T2、T3 和 T4 产量分别增加 36.1%,32.3%,12.9% 和 13.9%,T1 和 T2 较 CK1 产量分别增加 9.44% 和 6.37%。在保证产量的前提下评价有机无机肥配施对植烟土壤 N₂O 减排效果,同一施氮水平下,有机无机配施对 N₂O 减排效果显著(表 3);与 CK1 相比,T1、T2、T3 和 T4 处理 N₂O 排放强度分别下降 20.4%,23.7%,15.9% 和 16.4%,均达到显著水平。

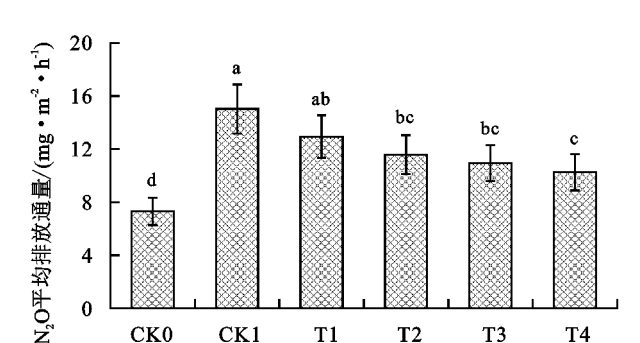
表 3 不同处理间 N ₂ O 排放系数和排放强度及产量间差异			
处理 编号	N ₂ O 排放 系数/100%	产量/ (kg·hm ⁻²)	N ₂ O 排放 强度/(g·kg ⁻¹)
CK0	—	1586.5c	0.1290c
CK1	0.3819a	1973.2ab	0.1925a
T1	0.2836ab	2159.5a	0.1533bc
T2	0.2185b	2098.9ab	0.1468bc
T3	0.1907b	1791.6bc	0.1618b
T4	0.1945b	1807.1bc	0.1609b

注:不同小写字母表示处理间差异达到显著性水平(P<0.05)。

3 讨论

3.1 有机无机肥不同配施比例对植烟土壤 N₂O 排放和烟草产量的影响

农田土壤 N₂O 气体主要受降水、温度、施肥等多方面的影响^[13]。有研究^[14]发现,种植作物土壤的 N₂O 排放高峰集中出现在施肥后 2~7 天,随后开始下降趋向平稳。本试验于烟地基肥施用后 1 个月移栽,从施肥后 3 天开始收集并检测到排放高峰,处理间施肥尤其是无机氮肥短时间内有效提高土壤中无机



氮含量(图 3),刺激 N₂O 大量排放。试验中 50%无机氮+50%饼肥、50%无机氮+50%羊粪肥、25%无机氮+75%饼肥和 25%无机氮+75%羊粪肥处理的土壤 N₂O 累积排放量与单施无机氮相比分别减少 11.8%,19.6%,22.9% 和 22.4%,说明在烟地土壤中同一施氮水平下,有机无机肥配施处理降低 N₂O 排放量,且当无机氮比例增加时利于 N₂O 的排放,这是因为土壤中矿质氮提升为硝化反硝化过程提供了充足的底物,而烟田土壤中施入有机肥后,足够的有机质含量刺激了微生物代谢活动,可促进微生物固定土壤中部分氮^[15],同时有机肥中有机氮作为大分子物质需要经过一系列复杂的过程,完成土壤矿化及硝化最终转化为 NH₄⁺ 和 NO₃⁻,被植物和微生物吸收利用^[16]。在等氮水平下,处理间有机氮比例高时,土壤中以硝态氮和铵态氮形态存在的无机氮含量相对减少(图 3),从而抑制 N₂O 排放,本试验中有机氮所占比例越高,对降低 N₂O 排放系数越有利,当羊粪替代无机氮 50% 和 75%,饼肥替代 75% 时,N₂O 排放系数显著降低,旱作烟地中施肥模式可以选择用有机氮替代一定量无机氮来控制肥料中氮损失。但有研究^[17]表明,有机无机肥配施比例为 2:1 时菜地周年 N₂O 累积排放量是 1:1 时的 1.4 倍,且差异显著,造成结论不一致的原因可能是本试验监测时间仅在烟草生产季节,有机肥的肥效长久且缓慢,导致低估施用有机肥引起的烟地土壤排放水平,上述试验^[17]中不同处理土壤 N₂O 累积排放量在蔬菜生长季差异不显著,与这一解释吻合。有研究^[18]表明,施用有机肥在短期内对土壤速效养分提升作用不显著或仅可以维持土壤速效养分,但长期使用对土壤氮磷钾含量提升显著,时间越长,效果越明显,因此有必要开展长期试验研究增施有机肥对植烟土壤 N₂O 累积排放量的影响。

有机肥无机肥配施通过改变土壤结构性质、供氮特征等弥补单施有机肥对作物营养元素前期供应不足的缺点,促进作物的生长发育^[6]。本试验中,当有机肥替代化肥 50% 时提高烤烟产量,这在许多研究^[19-20] 试验中得到证实,与单施化肥相比,各有机无机肥配施处理明

显减少植烟土壤 N₂O 排放强度,与孙赫阳等^[21]在华北平原玉米地试验中研究结果相似。其中当有机肥与无机肥配施比例为 1 : 1 时,缓解烟草单位产量 N₂O 排放量最有效,适合长期推广使用。

3.2 土壤硝态氮、铵态氮、含水率和温度对植烟土壤 N₂O 排放通量的影响

N₂O 是 NO₃⁻ 或 NO₂⁻ 在厌氧条件下通过反硝化细菌还原的产物之一,同时也是微生物通过硝化作用将 NH₃ 或者 NH₄⁺ 氧化为 NO_x⁻ 的过程中的中间产物^[22],这 2 种途径是农田 N₂O 排放主要来源^[5]。无机氮的施用向土壤提供 NH₄⁺ 或 NO₃⁻,进而改变 N₂O 排放通量。试验中施肥处理土壤铵态氮含量与土壤 N₂O 排放通量显著正相关,而与不施肥处理间相关性未达到显著水平(表 2),施肥直接导致土壤中碳氮比和氮素形态受到影响,改变微生物活动,从而影响 N₂O 排放^[23],徐小亚^[24]认为,在菜园地中施用不同氮肥对微生物群落结构影响不同,进一步影响氮素循环,造成不同肥料类型处理土壤中 N₂O 产生途径的差异,在本试验中各施肥处理 NH₄⁺ 和 NO₃⁻ 共同解释 N₂O 排放通量的 19.62%~40.83%,与毕智超等^[17]在蔬菜地中研究结论相似。有研究^[25]认为,农田土壤的夏季 N₂O 排放量远高于冬季排放量,且土层温度与 N₂O 排放通量呈现显著正相关关系^[26],而本试验结果显示,除未施肥处理,烟地 N₂O 排放通量与土层温度相关关系均未达到显著水平,且各处理土壤温度与 N₂O 排放通量的相关系数小(表 2),这可能是因为土壤进行硝化作用和反硝化作用最适宜温度分别为 15~35℃ 和 5~75℃^[27],而烟草种植季节短,温度变化幅度小,监测期间 0—5 cm 土层温度较适宜微生物活动生成 N₂O,弱化微生物对土层温度变化的响应。试验结果显示,N₂O 排放通量与土壤含水率呈极显著正相关关系(表 2),一方面因为旱地植烟土壤水分较低,当发生降雨或灌溉后土壤含水率得到调节,干湿交替的土壤环境利于微生物进行硝化和反硝化作用,引起 N₂O 排放的激发效应^[28];另一方面由于土壤水分作为溶质载体不断迁移可改变 NH₄⁺ 和 NO₃⁻ 浓度的分布状态^[29],进而影响 N₂O 排放量。

4 结论

(1)旱地植烟土壤 N₂O 排放通量与施肥密切相关,化肥氮施入 3 天后出现释放高峰,化肥氮与有机氮配施释放峰出现在施肥后的第 7 天,有机无机肥配施不仅缩短 N₂O 高峰释放天数,而且显著降低 N₂O 累积排放量、排放系数和排放强度,有机氮与无机氮 1 : 1 的施肥模式适合在河南旱作烟区推广。

(2)当旱作烟区不施肥时土壤 N₂O 排放量主要受土壤水热因子的影响;而施肥后土壤铵态氮含量和含水率成为影响烟地 N₂O 排放通量的主导因子。

参考文献:

[1] 殷欣,张明祥,胡荣桂.测土配方施肥对湖北省 N₂O 减排的贡献[J].环境科学学报,2016,36(4):1351-1358.

[2] 高洪军,张卫建,彭畅,等.长期施肥下黑土玉米田土壤温室气体的排放特征[J].农业资源与环境学报,2017,34(5):422-430.

[3] 张黛静,宗洁静,马建辉,等.小麦-玉米周年耕作方式与增施有机肥对夏玉米土壤有机碳库及温室气体排放的影响[J].生态环境学报,2019,28(10):1927-1935.

[4] Arun K R, Swain B, Ramakrishnan B, et al. Influence of fertilizer management and water regime on methane emission from rice fields[J].Agriculture Ecosystems and Environment,1999,76(2):99-107.

[5] 帅艳菊,刘天奇,曹凑贵,等.有机无机肥配施对玉米-豇豆种植系统土壤 N₂O 排放的影响[J].中国生态农业学报,2018,26(12):1763-1772.

[6] 耿明明,赵建,贾瑞莲,等.烟梗(末)有机肥对烟田土壤养分、病害发生及烟叶产质量的影响[J].烟草科技,2016,49(12):28-34.

[7] 李阳,王继红.长期施肥土壤腐殖质变化及其与土壤酸度变化的关系[J].南京农业大学学报,2016,39(1):114-119.

[8] 杨云高,王树林,刘国,等.生物有机肥对烤烟产质量及土壤改良的影响[J].中国烟草科学,2012,33(4):70-74.

[9] 蔡秋华,赵正雄,左进香,等.有机肥配施减量化肥对烤烟青枯病及其根际微生物的影响[J].烟草科技,2018,51(11):20-27.

[10] 汤宏,曾掌权,张杨珠,等.化学氮肥配施有机肥对烟草品质、氮素吸收及利用率的影响[J].华北农学报,2019,34(4):183-191.

[11] Mosier A, Schimel D, Valentine D, et al. Methane and nitrous oxide fluxes in native, fertilized and cultivated grasslands [J].Nature,1991,350:330-332.

[12] Hui J H, Hui C, Huan J C, et al. CO₂ and N₂O emissions from Lou soils of greenhouse tomato fields under aerated irrigation[J].Atmospheric Environment,2016,132:69-76.

[13] 王耀聪,王利英,高志岭,等.施用有机肥、化肥对设施番茄土壤 N₂O 排放的影响[J].河北农业大学学报,2016,39(3):1-6.

[14] 汤桂容,周旋,田昌,等.有机无机氮肥配施对莴苣土壤 N₂O 排放的影响[J].土壤,2019,51(4):641-647.

[15] Lin S, Iqbal J, Hu R G, et al. Nitrous oxide emissions from yellow brown soil as affected by incorporation of crop residues with different carbon-to-nitrogen ratios: A case study in Central China[J].Archives of Environmental Contamination and Toxicology,2013,65(2):183-192.

[16] 陈香碧,胡亚军,秦红灵,等.稻作系统有机肥替代部分化肥的土壤氮循环特征及增产机制[J].应用生态学报,2020,31(3):1033-1042.

[17] 毕智超,张浩轩,房歌,等.不同配比有机无机肥料对菜地 N₂O 排放的影响[J].植物营养与肥料学报,2017,23(1):154-161.

[18] 龚雪蛟,秦琳,刘飞,等.有机类肥料对土壤养分含量的影响[J].应用生态学报,2020,31(4):1403-1416.

[19] 武雪萍,朱凯,刘国顺,等.有机无机肥配施对烟叶化学成分和品质的影响[J].土壤肥料,2005(1):10-13.

[20] 沈方科,闫金朋,顾明华,等.施用不同比例有机氮对烤烟产质量的影响[J].西南农业学报,2018,31(7):1498-1503.

[21] 孙赫阳,万忠梅,刘德燕,等.有机肥与无机肥配施对潮土 N₂O 排放的影响[J].环境科学,2020,41(3):1474-1481.

[22] 李彬波,曾科,李瑞,等.作物生长对土壤 N₂O 排放影响的研究进展[J].土壤通报,2015,46(4):1003-1010.

[23] 王利利,董民,张璐,等.不同碳氮比有机肥对有机农业土壤微生物生物量的影响[J].中国生态农业学报,2013,21(9):1073-1077.

[24] 徐小亚.增温和干旱对土壤 N₂O 排放和相关微生物的影响[D].杭州:浙江大学,2017.

[25] 陈静,王迎春,李虎,等.基于 DNDC 模型的冬小麦-夏玉米农田滴灌施肥优化措施研究[J].植物营养与肥料学报,2019,25(2):200-212.

[26] 孙文浩,杨世伟,高晓东,等.黄土丘陵区不同土地利用类型土壤 CO₂, N₂O 通量特征[J].水土保持研究,2017,24(1):68-74.

[27] Svensson B H, Rosswall T. In situ methane production from acid peat in plant communities with different moisture regimes in a subarctic mire[J].Oikos,1984,43(3):341-350.

[28] 周胜,张鲜鲜,王从,等.水分和秸秆管理减排稻田温室气体研究与展望[J].农业环境科学学报,2020,39(4):852-862.

[29] 彭遥,周蓓蓓,陈晓鹏,等.间歇性降雨对黄土坡地水土养分流失的影响[J].水土保持学报,2018,32(3):54-60.

(上接第 323 页)

[20] 黄金瓴,靳孟贵,栗现文.咸淡水轮灌对棉花产量和土壤溶质迁移的影响[J].农业工程学报,2015,31(17):99-107.

[21] Grechi I, Vivin P, Hilbert G, et al. Effect of light and nitrogen supply on internal C : N balance and control of root-to-shoot biomass allocation in grapevine[J].Environmental and Experimental Botany,2007,59(2):139-149.

[22] Wang G G, Bauerle W L, Mudder B T. Effects of light acclimation on the photosynthesis, growth, and biomass allocation in American chestnut (*Castanea dentata*) seedlings [J]. Forest Ecology and Management, 2006,226(1/3):173-180.

[23] 孙永健,孙园园,蒋明金,等.施肥水平对不同氮效率水稻氮素利用特征及产量的影响[J].中国农业科学,2016,49(24):4745-4756.

[24] 郑剑超,闫曼曼,张巨松,等.氮肥前移对果棉间作棉花干物质积累和氮肥利用效率的影响[J].中国土壤与肥料,2016(2):78-84.

[25] 姜瑛,戚秀秀,李祥剑,等.不同小麦品种的氮素利用特性研究[J].麦类作物学报,2019,39(6):702-708.

[26] 李仙岳,冷旭,张景俊,等.北方干旱区降解膜覆盖农田玉米生长和氮素利用模拟及优化[J].农业工程学报,2020,36(5):113-121.

[27] 刘国欢,周蓓蓓,侯亚玲,等.施氮对缓解冬小麦盐分胁迫的影响[J].灌溉排水学报,2019,38(增刊 1):36-40.

(上接第 329 页)

[19] 聂泽旭,齐实,马曦瑶,等.华蓥市山区典型林分水源涵养功能评价[J].水土保持学报,2020,34(2):276-282.

[20] 李奕,宋墩福,王宗丽,等.赣南地区稀土矿采矿迹地枯落物层和土壤层贮水功能研究[J].水土保持学报,2020,34(2):153-158.

[21] 胡晓聪,黄乾亮,金亮.西双版纳热带山地雨林枯落物及其土壤水文功能[J].应用生态学报,2017,28(1):55-63.

[22] Qi F, Zhang G H, Liu X, et al. Soil particle size distribution characteristics of different land-use types in the Funiu mountainous region[J].Soil and Tillage Research,2018,184:45-51.

[23] 郑森.华北土石山区不同林分类型枯落物及土壤水文生态效应[J].中国水土保持科学,2020,18(2):84-91.

[24] 高迪,郭建斌,王彦辉,等.宁夏六盘山不同林龄华北落叶松人工林枯落物水文效应[J].林业科学研究,2019,32(4):26-32.

[25] 杨霞,陈丽华,康影丽,等.辽东低山区 5 种典型水源涵养林枯落物持水特性[J].生态学杂志,2019,38(9):2662-2670.