



刘芳, 杜亚琴, 张立丹, 等. 控释肥肥效期对裸地和栽培香蕉土壤 N₂O 减排效果的影响[J]. 华南农业大学学报, 2017, 38(2): 48-54.

控释肥肥效期对裸地和栽培香蕉土壤 N₂O 减排效果的影响

刘芳, 杜亚琴, 张立丹, 樊小林
(华南农业大学农学院, 广东广州 510642)

摘要:【目的】研究不同肥效期的控释肥对裸地和栽培作物土壤 N₂O 减排效果的影响, 为进一步研究大田条件下的减排效果提供参考。【方法】通过盆栽试验, 采用静态箱法和气相色谱分析技术, 对比研究了 1、3、5 个月 3 个肥效期的植物油包膜控释肥 (CRF 1Mon、CRF 3Mon 和 CRF 5Mon) 及其核心复合肥分别在裸地和栽培香蕉土壤中的 N₂O 日排放通量和累积排放量。【结果】控释肥肥效期显著影响 N₂O 排放峰数量、最大排放峰通量、累积排放量及增温潜势。裸地时, CRF 1Mon、CRF 3Mon 和 CRF 5Mon 排放峰数量分别为 5、3 和 3 个, 出峰时间均为监测的中后期, 最大排放峰通量为 CRF 1Mon > CRF 3Mon > CRF 5Mon, CRF 3Mon 和 CRF 5Mon 的累积排放量显著低于 CRF 1Mon; 栽培香蕉时, 仅 CRF 1Mon 和 CRF 3Mon 在监测前期有明显的 N₂O 排放峰, 分别为 1 和 3 个, 累积排放量为 CRF 1Mon > CRF 3Mon > CRF 5Mon。施用肥效期长的控释肥对栽培香蕉土壤的 N₂O 减排效果优于裸地, 裸地时累积排放量降幅为 24.06% ~ 52.81%, 栽培香蕉土壤的累积排放量降幅为 54.22% ~ 75.34%。【结论】施用肥效期长的控释肥以及栽培作物是减少土壤 N₂O 排放、降低温室效应的有效措施。

关键词:控释肥; 肥效期; 栽培香蕉; N₂O 排放

中图分类号: S145.6; S181

文献标志码: A

文章编号: 1001-411X(2017)02-0048-07

Effects of longevity of controlled-release fertilizer on N₂O emission reduction in bare soil and banana-planted soil

LIU Fang, DU Yaqin, ZHANG Lidan, FAN Xiaolin

(College of Agriculture, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract:【Objective】To study effects of longevity of controlled-release fertilizer (CRF) on mitigation of N₂O emission from bare soil and banana-planted soil, and to provide references for further research on mitigation of N₂O emission from the field.【Method】Using static chamber-GC technique, pot experiment was conducted to study N₂O fluxes and cumulative emission from bare soil and banana-planted soil fertilized with CRF of 1, 3 and 5 months longevity (marked as CRF 1Mon, CRF 3Mon and CRF 5Mon respectively).【Result】CRF longevity significantly affected the number of emission peaks, maximum emission peak flux, cumulative emissions and global warming potential of N₂O from bare soil and banana-planted soil. There were 5, 3 and 3 N₂O emission peaks of CRF 1Mon, CRF 3Mon and CRF 5Mon from bare soil in the middle and later stages. Maximum emission peak flux decreased in order of CRF 1Mon > CRF 3Mon > CRF 5Mon. The cumulative emissions of CRF 3Mon and CRF 5Mon were significantly lower than that of CRF 1Mon. There were 1 and 3 N₂O emission peaks of CRF 1Mon and CRF 3Mon from

收稿日期: 2016-04-14 优先出版时间: 2017-01-10

优先出版网址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/44.1110.s.20170110.1424.040.html>

作者简介: 刘芳 (1978—), 女, 助理研究员, 硕士, Email: liufang-7578@scau.edu.cn; 通信作者: 樊小林 (1958—), 男, 教授, 博士, E-mail: xlfan@scau.edu.cn

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划 (2011BAD11B04); 国家自然科学基金 (30871594, 31071857); 广东高校工程技术研究中心建设项目 (GCZX-A1006)

banana-planted soil only in the early stage. N₂O cumulative emissions decreased in order of CRF 1Mon > CRF 3Mon > CRF 5Mon. Prolonged CRF application was more effective on reducing N₂O emission from banana-planted soil than that from bare soil. The cumulative emission decreased by 24.06% to 52.81% in bare soil, and decreased by 54.22% to 75.34% in banana-planted soil. 【Conclusion】Prolonged CRF application and crop planting can help effectively reduce soil N₂O emission and the greenhouse effect.

Key words: controlled-release fertilizer; longevity; banana cultivation; N₂O emission

N₂O 是重要的温室气体之一,在 100 年尺度上,其增温潜势为 CO₂ 的 298 倍^[1]。2007 年我国农田土壤的 N₂O-N 直接排放量达到 288.4 Gg,其中化学氮肥投入的贡献率高达 77.64%^[2]。

农田土壤排放的 N₂O 中,一部分为土壤直接排放,另一部分为植株体产生的 N₂O^[3-4]。土壤性质(含水量、质地、有机质含量、pH)、作物类型、气候因素、氮肥等影响 N₂O 的产生和排放^[5]。不同植物-土壤系统下,土壤 N₂O 排放的规律、数量和强度相差很大^[6]。农田种植作物与否,N₂O 排放规律及排放量明显不同。施用常规氮肥硫酸铵时,种植玉米后土壤 N₂O 排放的季节变化规律改变,排放总量比裸土减少 87%~92%^[6]。氮肥类型不同,N₂O 排放量不同,施用缓释肥和长效肥料可以降低农田 N₂O 的排放^[7-10]。氮素的释放速率影响土壤氮素硝化反硝化活性,进而影响 N₂O 的排放^[11]。缓控释肥肥效期不同,其氮素释放速率亦不同,因而土壤中有效氮含量相差较大,N₂O 排放规律及排放量随之改变。在高羊茅 *Festuca arundinacea* 草坪施用控释肥的结果表明,肥效期为 30 d 的包膜尿素的 N₂O 排放量大于肥效期 60 d 的包膜尿素 N₂O 排放量^[12]。然而,目前控释肥料对土壤 N₂O 排放影响的研究多侧重于种植作物条件下,控释肥、常规氮肥或常规氮肥添加抑制剂之间的对比研究,鲜见肥效期不同的控释肥料在裸地与栽培作物的对比条件下对土壤 N₂O 减排效果的研究,故本研究采用试验条件相对可控的盆栽试验,对比研究 3 个肥效期的控释肥分别在裸地和栽培香蕉条件下,土壤 N₂O 排放规律及温室效应,探讨控释肥肥效期和香蕉生长对土壤 N₂O 减排效果的影响,为研究大田条件下控释肥肥效期对土壤 N₂O 减排效果的影响提供参考,同时为农业生产中土壤温室气体的减排提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试土壤为赤红壤发育的水稻土。土壤的理化性质为:pH 5.70,容重 1.29 g·cm⁻³,有机质 15.66 g·kg⁻¹,全氮 1.93 g·kg⁻¹,碱解氮 62.26

mg·kg⁻¹,矿质态氮(NH₄⁺-N 和 NO₃⁻-N) 16.4 mg·kg⁻¹,速效磷(P₂O₅) 11.62 mg·kg⁻¹,速效钾(K₂O) 229.8 mg·kg⁻¹。

香蕉苗为广东省果树研究所培育的巴西香蕉(*Musa AAA Giant Cavendish cv. Brazil*)杯苗。控释肥(Controlled-release fertilizer, CRF)为植物油包膜控释肥(N、P₂O₅、K₂O 质量分数均为 14.4%),肥效期为 1 个月(1 Mon)、3 个月(3 Mon)和 5 个月(5 Mon) 3 种,分别标记为 CRF 1Mon、CRF 3Mon 和 CRF 5Mon,包膜材料为植物油,包膜工艺为流化包膜。3 种控释肥料在静水条件下的氮素释放曲线见图 1。复合肥为控释肥料的核心肥(N、P₂O₅、K₂O 质量分数均为 15%),标记为 CF。盆钵规格为 30 cm × 20 cm × 25 cm(上口径 × 下口径 × 高)。

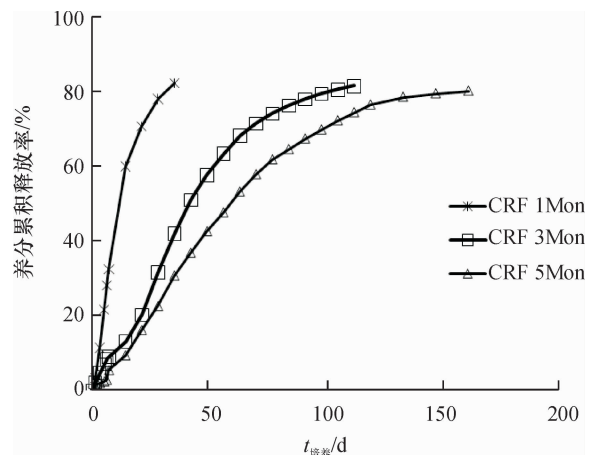


图 1 控释肥静水条件下氮素释放特征

Fig. 1 Nitrogen release characteristics of controlled-release fertilizer under water condition

1.2 盆栽试验

盆栽试验采用裂区设计,主因素为作物栽培状况,分别为裸地和栽培香蕉,副因素为肥料处理,包括 CRF 1Mon、CRF 3Mon、CRF 5Mon 及 CF,同时设置无肥处理作对照(CK),每处理重复 3 次。每盆装风干土 13 kg,土壤 N 肥用量为 150 mg·kg⁻¹。香蕉于 5 月 29 日移栽,每盆 1 株,肥料在缓苗 1 周后采用穴施的方法一次性施入土壤,在蕉苗周围均匀开 3 穴

将肥料施入,穴深5 cm,9月7日施肥处理气体排放量与无肥对照无差异,试验结束,收获栽培香蕉,处理香蕉地上部、地下部,称质量,测定氮含量。整个试验过程中,各处理土壤含水量为田间持水量的80%。

1.3 N₂O的采集与测定

N₂O采用静态箱法采集^[13-14]。气体样品采集的装置是由顶部安装了小型电风扇、长×宽×高为50 cm×60 cm×90 cm的有机玻璃气罩和连通水槽构成的静态箱。收集气体时,为保证箱体密闭,将盆钵架置在水槽中间,收集箱罩在盆钵上方,槽中灌水密封,以免收集箱内气体与大气连通。气体采集箱密闭0、10、20和30 min时,用带有三通阀的60 mL注射器采集气体样品,同时测定箱内气温和水层高度。采样时间为08:00—10:00,采样结束后,测定土下5 cm土壤温度(图2)。在施肥后1个月内每天采样1次,1个月后每3~5 d采样1次。N₂O浓度用装配十通阀和六通阀及不锈钢前置柱(Porapac Q, 1.0 m)反吹系统的气相色谱(Thermo Fisher TRACE 2000)测定。标准气体(购于国家标准物质研究中心)为CH₄和N₂O的混合气,其中N₂O为0.314×10⁻⁶ mol·mol⁻¹,CH₄为9.67×10⁻⁶ mol·mol⁻¹,填充气为N₂。气体样品采用外标一点法进行质量控制,12 h内完成检测。

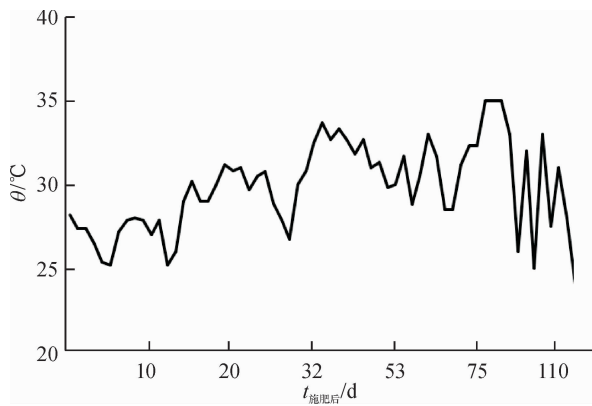


图2 5 cm 深土壤温度变化

Fig. 2 Changes of soil temperatures at 5 cm depth

1.4 数据处理

CH₄和N₂O排放通量的计算公式为^[15-16]:

$$F(X) = \rho h \frac{\Delta c}{\Delta t} \times \frac{273}{(273 + \theta)}, \quad (1)$$

式中, $F(X)$ 为CH₄和N₂O排放通量(mg·m⁻²·h⁻¹); ρ 为CH₄和N₂O在0℃、大气压力1.0133×10⁵Pa条件下的气体密度(g·L⁻¹); h 为该采样箱的高度(90 cm)与基座内水面到基座上水槽下平面的高度之和(cm); t 为取样时间(min), c 为 t 时间的CH₄和

N₂O体积分数测定值(mL·m⁻³), $\Delta c/\Delta t$ 为单位时间密闭箱内CH₄和N₂O体积分数的变化量; θ 为不同取样时间(0、10、20和30 min)密闭箱内的温度(℃)。

N₂O累积排放量由实测值推算,累积排放量的计算公式^[15-16]为:

$$Y_i = \sum_{n=1}^i F_i, F_i = F(X)_i \times 24, \quad (2)$$

式中, Y_i 为N₂O在 i d内的累积排放量(kg·hm⁻²)。 F_i 为生长期第 i 天的平均排放通量 $[F(X)_i]$ 与时间(24 h)的乘积,即第 i 天的累积排放量。

N₂O排放系数指肥料中的氮素以N₂O形式损失的百分比,计算公式^[17]为:

排放系数=(施肥处理N₂O排放量-无肥处理N₂O排放量)/(28/44)/施入总氮量×100%。 (3)

根据各温室气体在不同时间尺度上的相对全球增温潜势(Global warming potential, GWP),按100年尺度计算,CO₂换算系数为1,N₂O换算系数为298^[1]。可计算N₂O温室气体排放CO₂当量(Carbon dioxide equivalent, CDE),计算公式为:

$$CDE = 298Y, \quad (4)$$

式中, Y 表示N₂O累积排放量(kg·hm⁻²)。

本试验数据采用Microsoft excel 2007和SPSS 16.0等软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 控释肥肥效期对氮素吸收利用的影响

栽培香蕉各处理的香蕉吸氮量及氮素利用率见表1。在盆栽无淋失的条件下,肥料类型和控释肥肥效期对香蕉吸氮量和氮素利用率有显著影响。CRF 5Mon香蕉吸氮量和氮肥利用率显著小于复合肥处理和CRF 1Mon、CRF 3Mon,后三者之间无显著差异。CRF 5Mon释放期为5个月,而本试验周期为99 d,试验结束时,CRF 5Mon氮素没有完全释放,故其香蕉吸氮量和氮素利用率低于其他3个处理。

表1 控释肥肥效期对香蕉吸氮量及氮素利用率的影响¹⁾

Tab. 1 Effect of controlled-release fertilizer longevity on banana nitrogen uptake and nitrogen use efficiency

处理	吸氮量/(g·盆 ⁻¹)	氮素利用率/%
CRF 1Mon	1.43±0.06 a	63.82±3.08 a
CRF 3Mon	1.37±0.12 a	60.76±6.39 a
CRF 5Mon	1.24±0.04 b	54.15±2.07 b
CF	1.42±0.08 a	63.30±3.92 a

1)表中数据均为3次重复的平均值±标准误;同列数据后,凡是有一个相同字母者,表示肥料处理间差异不显著(Duncan's法, $P>0.05$)。

2.2 控释肥肥效期对土壤 N₂O 排放规律的影响

2.2.1 对裸地 N₂O 日排放通量的影响 图3为裸地 N₂O 日排放通量动态变化图。由图3可见,肥料种类和控释肥肥效期均影响 N₂O 日排放通量。在整个观测期中,无肥对照处理仅有少量的 N₂O 排放,且未出现明显的 N₂O 排放峰;复合肥处理持续有较高的 N₂O 排放,自观测中期, N₂O 排放量减少,但在施肥后第73天出现 N₂O 排放峰。

观测前期,控释肥料处理土壤 N₂O 排放通量较

复合肥处理低,但在观测的中后期出现了排放峰。3个肥效期的控释肥处理,土壤的 N₂O 日排放规律不同,表现为排放峰数量和最大排放通量不同。CRF 1Mon、CRF 3Mon 和 CRF 5Mon 分别出现了5、3和3个排放峰,最大排放峰依次为 21.64、15.53 和 6.83 mg · m⁻² · h⁻¹,施肥后的第38天起, N₂O 排放通量开始增加,进而出现排放峰,且 CRF 1Mon > CRF 3Mon > CRF 5Mon, 差异显著 (Duncan's, $P < 0.05$)。

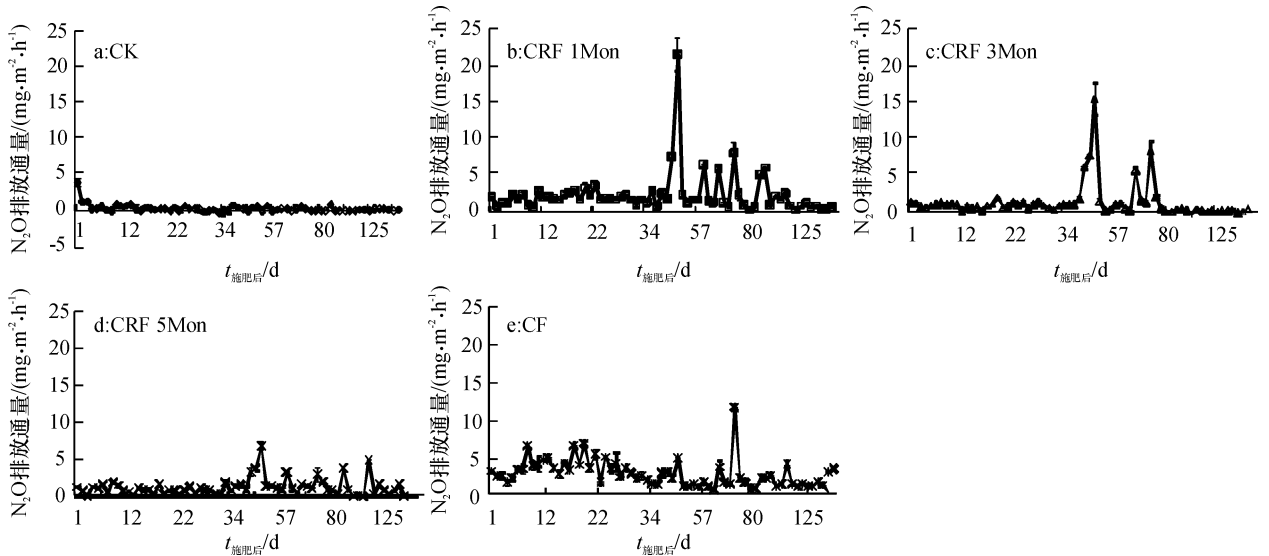


图3 裸地 N₂O 日排放通量动态变化

Fig. 3 Change of daily N₂O flux in bare soil

2.2.2 对栽培香蕉土壤 N₂O 日排放通量的影响

图4为栽培香蕉土壤 N₂O 日排放通量动态变化图。由图4可见,肥料种类和控释肥肥效期不同,栽培香蕉土壤的 N₂O 日排放动态各异,同裸地规律一致。无肥对照处理的栽培香蕉土壤 N₂O 排放通量低且无排放峰。复合肥处理的 N₂O 排放通量高且呈现逐渐降低的趋势,而控释肥处理的 N₂O 排放通量明显低于复合肥处理。CRF 1Mon 和 CRF 3Mon 的土壤 N₂O 排放峰分别为1和3个,最大排放峰分别为 5.62 和 3.60 mg · m⁻² · h⁻¹,且出现在观测前中期,而 CRF 5Mon 处理没有明显 N₂O 排放峰。

2.2.3 对 N₂O 平均排放通量的影响 为了进一步比较控释肥肥效期对 N₂O 排放的影响,将 N₂O 平均排放通量进行了统计分析,结果见表2。从表2可见,栽培香蕉土壤 N₂O 平均排放通量显著低于裸地;其控释肥处理的 N₂O 平均排放通量显著低于复合肥处理,且 CRF 3Mon 和 CRF 5Mon 的平均排放通量显著低于 CRF 1Mon。

裸地时,施用氮肥(即复合肥和控释肥)均增加

了 N₂O 平均排放通量,复合肥处理以及 CRF 1Mon、CRF 3Mon 和 CRF 5Mon 处理的 N₂O 平均排放通量分别为无肥处理的 17.73、17.45、11.64 和 11.73 倍,CRF 3Mon 和 CRF 5Mon 的 N₂O 平均排放通量显著低于复合肥处理,而3个控释肥处理则表现为 CRF 1Mon > CRF 3Mon ≥ CRF 5Mon。由此可以推论,裸地施用含氮肥料,可显著增加 N₂O 排放,但施用控释肥可降低 N₂O 排放的增加量,且控释肥的肥效期越长,其减排效果越明显。

栽培香蕉的土壤,施用氮肥(即复合肥和控释肥)也增加了 N₂O 平均排放通量,复合肥处理以及 CRF 1Mon、CRF 3Mon 和 CRF 5Mon 处理的 N₂O 平均排放通量分别为无肥处理的 14.81、7.38、5.81 和 4.44 倍。3个控释肥处理的 N₂O 平均排放通量为 CRF 1Mon > CRF 3Mon > CRF 5Mon,且均显著低于复合肥处理。可见,在栽培香蕉时施用含氮肥料可显著增加 N₂O 排放,但施用控释肥可降低 N₂O 排放的增加量,且控释肥的肥效期越长,其减排效果越明显。

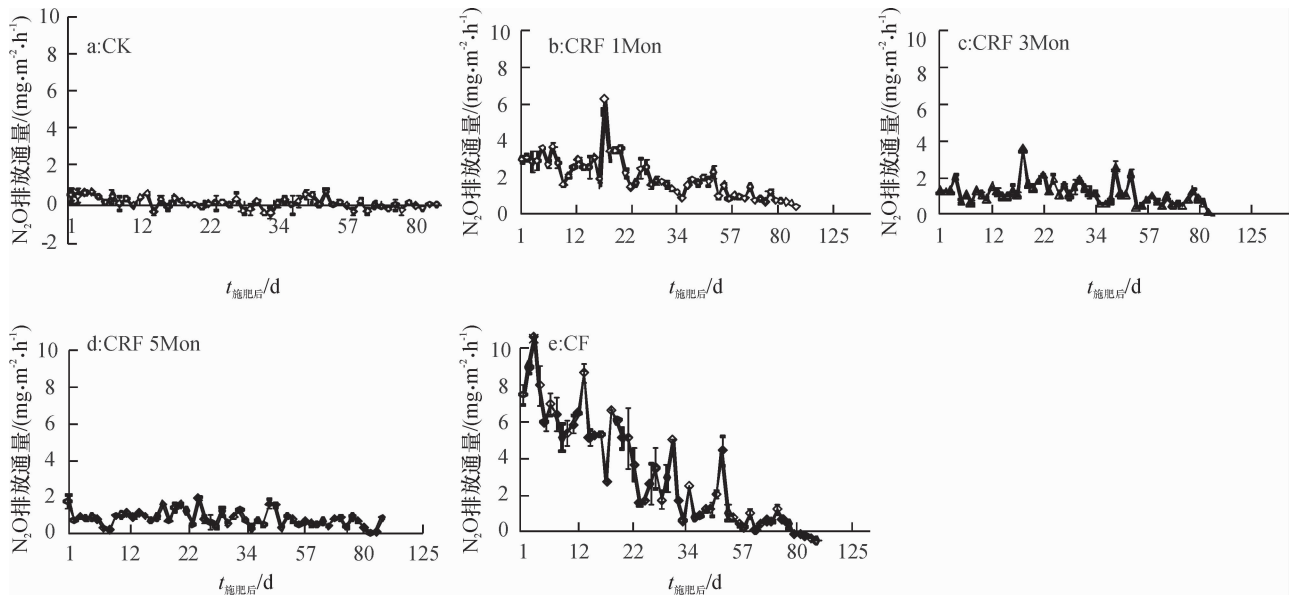


图4 栽培香蕉土壤 N_2O 日排放通量动态变化

Fig.4 Changes of daily N_2O flux in banana-planted soil

对比裸地和栽培香蕉土壤的数据可知,控释肥对栽培香蕉土壤的 N_2O 减排效果优于裸地,且施用肥效期长的控释肥对 N_2O 减排效果也表现为栽培香蕉土壤优于裸地。

表2 控释肥肥效期对 N_2O 平均排放通量的影响¹⁾

Tab.2 Effect of controlled-release fertilizer longevity on mean N_2O flux $mg \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$

处理	裸地	栽培香蕉土壤	平均值
CK	0.11 ± 0.00c(b)	0.16 ± 0.02e(a)	0.14d
CRF 1Mon	1.92 ± 0.07a(a)	1.18 ± 0.03b(b)	1.55b
CRF 3Mon	1.28 ± 0.07b(a)	0.93 ± 0.03c(b)	1.11c
CRF 5Mon	1.29 ± 0.02b(a)	0.71 ± 0.01d(b)	1.00c
CF	1.95 ± 0.06a(b)	2.37 ± 0.13a(a)	2.16a
平均值	1.31(a)	1.07(b)	

1)表中数据为3次重复的平均值±标准误;同列数据后,凡是有一个相同字母者表示不同肥料处理间差异不显著(Duncan's法, $P > 0.05$);同行数据后括号内,凡是有一个相同字母者表示栽培香蕉与裸地间差异不显著(Duncan's法, $P > 0.05$)。

2.3 控释肥肥效期对土壤 N_2O 累积排放量、增温潜势和排放系数的影响

累积排放量是 N_2O 排放峰大小及其持续时间的综合反应,盆栽试验累积排放量通常用 $mg \cdot 盆^{-1}$ 表示,控释肥肥效期对 N_2O 累积排放量的影响见表3。由表3可知,栽培香蕉土壤的 N_2O 累积排放量显著低于裸地,仅为裸地的46.28%;4种肥料之间,控释肥 CRF 1Mon、CRF 3Mon 和 CRF 5Mon 的 N_2O 累积排放量显著低于复合肥处理,分别降低了24.06%、

48.83%和52.81%,同时控释肥肥效期也影响 N_2O 累积排放量,CRF 3Mon 和 CRF 5Mon 的 N_2O 累积排放量显著低于 CRF 1Mon。裸地时,3个肥效期控释肥 CRF 1Mon、CRF 3Mon 和 CRF 5Mon 的 N_2O 累积排放量较复合肥分别降低了1.94%、36.69%和36.28%,CRF 3Mon 和 CRF 5Mon 的 N_2O 累积排放量显著低于 CRF 1Mon;而栽培香蕉的土壤,3个肥效期控释肥 CRF 1Mon、CRF 3Mon 和 CRF 5Mon 的 N_2O 累积排放量较复合肥分别降低了54.22%、65.38%和75.34%,表现为 CRF 1Mon > CRF 3Mon > CRF 5Mon。由此推测,控释肥肥效期对栽培香蕉土壤的 N_2O 累积排放量减排效果优于裸地。

控释肥肥效期对 N_2O 全球增温潜势、排放系数的影响规律与对累积排放量的影响一致。栽培香蕉可显著降低 N_2O 的全球增温潜势和排放系数,减少 N_2O 态氮素损失;控释肥处理全球增温潜势和排放系数显著低于复合肥处理,即施用控释肥较施用复合肥能显著降低 N_2O 排放造成的温室效应,并减少 N_2O 态氮素损失,且肥效期长的 CRF 3Mon 和 CRF 5Mon 效果优于肥效期相对较短的 CRF 1Mon。裸地时,CRF 3Mon 和 CRF 5Mon 的 N_2O 全球增温潜势和排放系数显著低于 CRF 1Mon;而栽培香蕉的土壤,3个控释肥处理之间 N_2O 的全球增温潜势和排放系数差异显著,表现为 CRF 1Mon > CRF 3Mon > CRF 5Mon。可见,栽培香蕉时,控释肥肥效期对降低 N_2O 温室效应和减少 N_2O 态氮素损失的效果的影响大于无作物的裸地,即在栽培香蕉时,降低温室效应和减少 N_2O 态氮素损失的作用更明显。

表3 控释肥肥效期对 N₂O 累积排放量、增温潜势和排放系数的影响¹⁾Tab.3 Effects of controlled-release fertilizer longevity on cumulative emission, global warming potential, and emission coefficient of N₂O

处理	N ₂ O 累积排放量 ²⁾ /(mg·盆 ⁻¹)			增温潜势/(g·m ⁻²)			排放系数/%		
	裸地	栽培香蕉土壤	平均值	裸地	栽培香蕉土壤	平均值	裸地	栽培香蕉土壤	平均值
CRF 1Mon	227.03 ± 8.39a	77.77 ± 1.93b	152.40b	2 290.85 ± 79.66a	857.42 ± 18.28b	1 574.14b	7.41 ± 0.27a	2.40 ± 0.06b	4.91b
CRF 3Mon	146.58 ± 9.04b	58.81 ± 2.06c	102.70c	1 527.41 ± 85.78b	677.52 ± 19.54c	1 102.46c	4.78 ± 0.29b	1.78 ± 0.07c	3.28c
CRF 5Mon	147.54 ± 2.50b	41.88 ± 0.42d	94.71c	1 536.44 ± 23.72b	516.86 ± 4.01d	1 026.65c	4.81 ± 0.08b	1.23 ± 0.01d	3.02c
CF	231.53 ± 7.40a	169.86 ± 9.72a	200.69a	2 333.57 ± 70.25a	1 731.43 ± 92.23a	2 032.50a	7.56 ± 0.24a	5.41 ± 0.32a	6.49a
平均值	188.17(a)	87.08(b)		1 922.06(a)	945.81(b)		6.14(a)	2.70(b)	

1)表中数据为3次重复的平均值±标准误;同列数据后,凡是有一个相同字母者表示不同肥料处理间差异不显著(Duncan's法, $P > 0.05$);同行数据后括号内,凡是有一个相同字母者表示栽培香蕉土壤与裸地间差异不显著(Duncan's法, $P > 0.05$); 2)N₂O 累积排放量为施肥后增加的累积排放量,即扣除无肥对照的累积排放量。

3 讨论与结论

3.1 控释肥与土壤 N₂O 排放

控释肥通过在水溶性肥料表面包覆一层树脂,从而达到有效防止肥料迅速溶解和尽量减少铵态氮硝化、硝态氮反硝化的目的,肥料包膜后的养分释放时间明显延长。控释肥的氮素释放速率随着肥效期延长而减缓,且释放特性亦不同,因此施入土壤后,土壤有效氮的含量明显小于其核心复合肥,肥效期长的控释肥的土壤有效氮含量小于肥效期短的控释肥。同种植植模式和施肥条件下,土壤有效氮的含量制约着 N₂O 的排放,因而控释肥可以有效地降低土壤 N₂O 的排放。本研究结果表明,3个控释肥处理 CRF 1Mon、CRF 3Mon 和 CRF 5Mon 的土壤 N₂O 排放量显著降低,累积排放量较复合肥分别降低了 24.06%、48.83% 和 52.81%,其 N₂O 累积排放量大小顺序为 CRF 1Mon > CRF 3Mon ≥ CRF 5Mon,随着控释肥肥效期的延长,土壤 N₂O 的累积排放量降幅逐渐增大,减排效果越显著。李方敏等^[16]、张怡等^[18]在水稻上的研究表明,施用控释肥可降低土壤 N₂O 的排放,谷佳林等^[12]在高羊茅草坪上的控释肥试验也得到相同的结果,同时研究发现,肥效期为 60 d 的包膜尿素的 N₂O 排放量(6.92 kg·hm⁻²)显著低于 30 d 的包膜尿素的排放量(8.14 kg·hm⁻²)^[12],与本研究结果一致,即随着施用的控释肥肥效期的延长,N₂O 的减排效果越明显。

3.2 裸地和栽培作物土壤与 N₂O 排放

植物生长影响着土壤 N₂O 的排放过程及排放量。相同施肥条件下,种植香蕉的土壤 N₂O 日排放量、累积排放量与裸地有较大差异。土壤中存在多余的有效氮是土壤 N₂O 产生的前提条件之一^[19]。种植香蕉的土壤,香蕉生长吸收了大量的有效氮,因而减少了土壤中的有效氮含量,从而降低了可能进

行硝化、反硝化作用的有效氮源,因此减少了 N₂O 的排放。香蕉根系分泌物和残留物的降解,提高了土壤的碳氮比,引起了微生物对氮源的争夺利用,氮素利用充分,从而减少了硝化、反硝化过程的中间产物 N₂O 的排放^[20]。同时,香蕉的蒸腾作用可降低土壤含水量,进而抑制硝化和反硝化作用,减少 N₂O 的排放^[21]。与裸地相比,栽培香蕉土壤的 N₂O 累积排放量显著降低,仅为裸地累积排放量的 46.28%,而且生长香蕉土壤的控释肥处理对 N₂O 的减排效果优于复合肥,栽培香蕉的控释肥处理较裸地的相应处理降幅为 59.88% ~ 71.61%,而复合肥降幅仅为 26.64%。杨兰芳等^[6]的研究结果也表明,同一土壤施氮水平下,裸地的 N₂O 排放量显著高于种植玉米土壤的 N₂O 排放量。高氮处理时,裸地的 N₂O 排放总量是种植玉米土壤的 12 倍($P < 0.01$),低氮处理时,是种植玉米土壤的 6.5 倍($P < 0.01$)。在盆栽无淋失的条件下,控释肥料的氮素随时间缓慢释放,肥效期越长,释放率越小,释放的氮素越接近香蕉的吸收量,故土壤中多余的有效氮少,N₂O 排放量低;复合肥为水溶性肥料,施入土壤后即转化为有效氮,其数量显著大于香蕉的吸收量,特别是在试验前期香蕉苗较小时,土壤中有多余的有效氮,故 N₂O 排放量高于控释肥。

在一定施氮量下,裸地的 N₂O 排放速率主要受温度的控制^[6]。本研究中,裸地的控释肥处理在施肥后第 44 天出现的 N₂O 排放峰,可能与第 32 天起的持续高温有关。一方面,温度升高,控释肥的养分释放加快^[22-23],土壤中有效氮增加,为硝化、反硝化作用产生 N₂O 提供了有效氮源;另一方面,土壤微生物的活性、反硝化及硝化的 N₂O 排放速率一般都随土壤温度升高而增加。而复合肥处理由于其养分为速效态氮,土壤中残留较高浓度的有效氮,造成试验前期有持续较高的 N₂O 排放,即使土壤温度持续偏

高,但因土壤的有效氮数量较前期减少,故在第44天未出现明显的排放峰。在种植香蕉时,由于香蕉的吸收、微生物参与竞争土壤有效氮,致使土壤有效氮的含量减少,所以在同期也未出现明显的 N_2O 排放峰。

参考文献:

- [1] DENMAN K L, FAHEY D W, FORSTER P, et al. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change [C]// SOLOMON S, QIN D, MANNING M, et al. Climate change 2007: The physical science basis. Cambridge: Cambridge University Press, 2007: 499-587.
- [2] 张强, 巨晓棠, 张福锁. 应用修正的 IPCC2006 方法对中国农田 N_2O 排放量重新估算[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(1): 7-13.
- [3] 陈冠雄, 商曙辉, 于克伟, 等. 植物释放氧化亚氮的研究[J]. 应用生态学报, 1990, 1(1): 94-96.
- [4] 李楠, 陈冠雄. 植物释放 N_2O 速率及施肥的影响[J]. 应用生态学报, 1993, 4(3): 295-298.
- [5] REGINA K, SYVA SALO E, HANNUKALA A, et al. Fluxes of N_2O from farmed peat soils in Finland[J]. Eur J Soil Sci, 2004; 55(3): 591-599.
- [6] 杨兰芳, 蔡祖聪. 施氮和玉米生长对土壤氧化亚氮排放的影响[J]. 应用生态学报, 2005, 16(1): 100-104.
- [7] 韩艳玉. 不同种类包膜肥料氮素溶出特性及对环境影响效应的研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2011.
- [8] AKIYAMA H, YAN X, YAGI K. Evaluation of effectiveness of enhanced-efficiency fertilizers as mitigation options for N_2O and NO emissions from agricultural soils: Meta-analysis [J]. Global Change Biol, 2010, 16(6): 1837-1846.
- [9] SHOJI S, DELGADO J, MOSIER A, et al. Use of controlled release fertilizers and nitrification inhibitors to increase nitrogen use efficiency and to conserve air and water quality[J]. Commun Soil Sci Plant Anal, 2001, 32(7/8): 1051-1070.
- [10] 董红敏, 李玉娥, 陶秀萍, 等. 中国农业源温室气体排放与减排技术对策[J]. 农业工程学报, 2008, 24(10): 269-273.
- [11] 丁洪, 王跃思, 秦胜金, 等. 控释肥对土壤氮素反硝化损失和 N_2O 排放的影响[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(5): 1015-1019.
- [12] 谷佳林, 边秀举, 徐凯, 等. 不同缓控释氮肥对高羊茅草坪生长及氮素挥发的影响[J]. 草业学报, 2013, 22(2): 235-242.
- [13] JUMADI O, HALA Y, MUIS A, et al. Influences of chemical fertilizers and a nitrification inhibitor on greenhouse gas fluxes in a corn (*Zea mays* L.) field in Indonesia[J]. Microb Environ, 2008, 23(1): 29-34.
- [14] MALJANEN M, LIIKANEN A, SILVOLA J, et al. Nitrous oxide emissions from boreal organic soil under different land-use[J]. Soil Biol Biochem, 2003, 35(5): 689-700.
- [15] 刘芳, 李天安, 樊小林. 华南地区覆膜旱种稻田甲烷排放及其与土壤水分和温度的关系[J]. 农业工程学报, 2013, 29(2): 110-116.
- [16] 李方敏, 樊小林, 刘芳, 等. 控释肥料对稻田氧化亚氮排放的影响[J]. 应用生态学报, 2004, 15(11): 2170-2174.
- [17] 张蛟蛟, 李永夫, 姜培坤, 等. 施肥对板栗林地土壤 N_2O 通量动态变化的影响[J]. 生态学报, 2013, 33(16): 4939-4948.
- [18] 张怡, 吕世华, 马静, 等. 控释肥料对覆膜栽培稻田 N_2O 排放的影响[J]. 应用生态学报, 2014, 25(3): 769-775.
- [19] MAAG M, VINTHER F P. Effect of temperature and water on gaseous emissions from soils treated with animal slurry[J]. Soil Sci Soc Am J, 1999, 63(4): 858-865.
- [20] 蒋静艳, 黄耀, 宗良纲. 水分管理与秸秆施用对稻田 CH_4 和 N_2O 排放的影响[J]. 中国环境科学, 2003, 23(5): 552-556.
- [21] 于萍萍, 张进忠, 林存刚. 农田土壤 N_2O 排放过程影响因素研究进展[J]. 环境与可持续发展, 2006(5): 20-22.
- [22] 赵秀芬, 房增国, 李俊良. 几种有机高聚物包膜肥料养分释放速率研究[J]. 中国农学通报, 2009, 25(19): 139-141.
- [23] 杜建军, 王新爱, 廖宗文, 等. 不同浸提条件对包膜控/缓释肥水中溶出率的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(1): 71-78.

【责任编辑 李晓卉】