

缓释氮肥对菊芋生长季土壤 CH₄ 和 N₂O 排放的影响

王浩成, 陈楠楠, 周超, 张令, 刘树伟, 邹建文^① (南京农业大学资源与环境科学学院, 江苏南京 210095)

摘要: 设置尿素 + 硝化抑制剂(U + DCD)、尿素 + 脲酶抑制剂(U + HQ)、脲甲醛(UF)、钙镁磷肥包膜尿素(CMCU)、树脂包膜尿素(PCU)、硫包尿素(SCU)6种缓释氮肥处理以及普通尿素(U)处理,在江苏大丰进行小区试验,采用静态箱-气相色谱法同步观测沿海滩涂能源植物——菊芋(*Helianthus tuberosus*)生长季土壤的CH₄和N₂O排放通量及其减排潜力。结果表明,在2010年整个菊芋生长季,U、PCU、UF、SCU、CMCU、U + HQ和U + DCD处理土壤CH₄排放总量依次为1.25、0.59、0.43、0.27、0.25、0.26和-0.21 kg · hm⁻²。与普通尿素处理相比,除U + DCD处理外,其余施用缓释氮肥处理可使CH₄排放量减少53% ~ 80%。生长季PCU、SCU、CMCU、U、UF、U + HQ和U + DCD处理的N₂O排放总量分别为2.94、2.44、2.27、2.24、1.77、1.47和1.34 kg · hm⁻²。与普通尿素处理相比,施用化学型缓释氮肥(U + DCD、U + HQ和UF处理)使N₂O排放量减少21% ~ 40%,而施用物理型缓释氮肥(CMCU、PCU和SCU处理)则使N₂O排放量增加1% ~ 31%。从全球增温潜势看,各化学型缓释氮肥处理均表现出显著的减排效果。

关键词: 缓释氮肥; 滩涂; 能源植物; 菊芋; CH₄; N₂O; 温室气体

中图分类号: X142 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673 - 4831(2012)04 - 0343 - 06

Effect of Slow/Controlled Release Fertilizers on CH₄ and N₂O Emissions From *Helianthus tuberosus* Field on Tidal Flat During Growing Season. WANG Hao-cheng, CHEN Nan-nan, ZHOU Chao, ZHANG Ling, LIU Shu-wei, ZOU Jian-wen (College of Resources and Environmental Science, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: A field experiment, designed to have seven treatments, i. e. U + DCD (urea plus dicyandiamide), U + HQ (urea plus hydroquinone), UF (urea formaldehyde), CMCU (Ca-Mg-P-coated urea), PCU (polymer-coated urea), SCU (sulfur-coated urea) and CK or U (urea), was conducted to explore effects of some typical slow-release fertilizers on methane (CH₄) and nitrous oxide (N₂O) emissions from *Helianthus tuberosus* fields on tidal flat in Dafeng of Jiangsu Province during its growing season in 2010. Fluxes of CH₄ and N₂O emissions from the field were measured simultaneously with static chamber-GC method. Results show that in terms of seasonal CH₄ emission, the 7 treatments followed the order of U > PCU > UF > SCU > CMCU > U + HQ > U + DCD, emitting 1.25, 0.59, 0.43, 0.27, 0.25, 0.26 and -0.21 kg · hm⁻², respectively. Compared with urea, the slow/controlled-release nitrogen fertilizers reduced seasonal CH₄ emissions by about 53% - 80%, but did not vary much among themselves. In terms of seasonal N₂O emission, the treatments followed the order of PCU > SCU > CMCU > U > UF > U + HQ > U + DCD, emitting 2.94, 2.44, 2.27, 2.24, 1.77, 1.47 and 1.34 kg · hm⁻², respectively. Relative to urea, chemically-altered fertilizers reduced seasonal N₂O emission by 21% - 40%, whereas physically-altered fertilizers increased total N₂O emission by 1% - 31%. The findings suggest that from the aspect of the global warming potential, all the chemically altered nitrogen fertilizers display significant emission reducing effect.

Key words: slow-released fertilizer; coastal area; energy plant; *Helianthus tuberosus*; CH₄; N₂O; greenhouse gas

大气温室气体浓度增加引起的全球变暖是最为严峻的环境问题之一。CH₄和N₂O是2种重要的温室气体,100 a时间尺度上单位质量CH₄和N₂O产生的综合温室效应分别是CO₂的25和298倍^[1]。农业生产活动对大气中CH₄和N₂O含量有重要影响,每年由于农业生产活动而排放到大气中的CH₄和N₂O分别占人类活动排放CH₄和N₂O总量的50%和60%^[2]。

施用化学肥料会抑制土壤对大气中CH₄的氧化、吸收,且施肥量及肥料种类都能影响土壤对CH₄的氧化强度^[3-5],但目前哪种肥料对土壤氧化CH₄的抑制作用更强还未见报道。化学肥料的施用是

收稿日期: 2012 - 05 - 04

基金项目: 国家科技支撑计划(2008BAD95B05)

① 通信作者 E-mail: jwzou21@njau.edu.cn

土壤 N_2O 排放的主要来源,但 N_2O 排放量因化肥种类而异。硝化和反硝化是土壤产生 N_2O 的主要过程^[6],因此控制土壤中氮释放是一种减少 N_2O 排放的有效方法。近年来各种缓释肥料的开发为人为控制肥料氮释放提供了可能。缓释肥料不仅能够减少氮的淋溶和挥发,提高肥料利用率,还能够提高作物产量^[7]。中国从20世纪70年代开始研究缓释肥料,目前缓释肥料年产量已经接近70万t,消费量占世界消费量的1/3,中国已经成为世界缓释肥料生产和消费的重要国家之一^[8]。缓释氮肥大体可分为2类:一类是物理型,即通过改变氮肥的物理性状,使其缓释、长效、利用率高,主要采用半透性或不透性薄膜物质包裹速效性化肥颗粒,从而控制氮释放速率;另一类是化学型,指添加硝化抑制剂或脲酶抑制剂的氮肥或者施肥时添加一定比例的硝化抑制剂和脲酶抑制剂。部分研究显示,施用缓释肥料可以减少土壤 N_2O 排放^[9-11]。但也有研究表明,与传统肥料相比,缓释肥料的施用不仅不能减少土壤 N_2O 排放,甚至还可能导致排放增加^[12-14]。由于 CH_4 和 N_2O 排放的时空差异很大,因此针对不同区域农田的 CH_4 和 N_2O 排放特点,提出针对性的减排措施并评估其减排效果就显得尤为重要。

滨海盐碱地是我国重要的后备耕地资源。滨海盐碱地土壤多为淤泥质海岸带盐渍土,由于盐分胁迫,多数农作物难以生长。菊芋(*Helianthus tuberosus*)属菊科向日葵属,是近年来国内外研究较多的一种抗逆高产的能源植物,其地上茎叶可做饲料,地下块茎可发酵生产燃料乙醇。由于其具有耐寒、耐旱、耐贫瘠、耐盐碱、生物量大等特点,适宜在盐碱地推广种植,是苏北沿海地区为改良滩涂土壤而广泛种植的重要能源植物。盐碱土氮素严重缺乏,氮素是限制菊芋产量的关键因子,然而过量施用氮肥也可能带来大量的温室气体排放^[15]。因此,笔者选取菊芋改良滨海盐碱地试验田为研究对象,对施用不同缓释肥条件下土壤与大气之间的 CH_4 和 N_2O 交换通量进行研究,比较不同处理 CH_4 和 N_2O 排放通量的变化特征,进而探讨与传统的氮肥管理措施相比,施用缓释氮肥是否可以减少 CH_4 与 N_2O 排放及其减排潜力。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

试验地点位于江苏省大丰市川东农场(28°8' N, 113°12' E),海拔12 m,年平均温度17.1℃,年平均降水量1500 mm,≥10℃年积温5300~6500℃。

土壤类型为潮盐土,0~10 cm 土层容重为0.45 g·cm⁻³,pH值为8.3,有机质含量为11.2 g·kg⁻¹,全氮含量为0.84 g·kg⁻¹,速效磷含量为0.62 g·kg⁻¹。

1.2 试验设计

试验小区采用随机区组设计,面积为12 m²(3 m×4 m),供试作物为菊芋,种植密度为行距60 cm、株距40 cm,每小区50株。试验共设置尿素+硝化抑制剂(U+DCD)、尿素+脲酶抑制剂(U+HQ)、脲甲醛(UF)、钙镁磷肥包膜尿素(CMCU)、树脂包膜尿素(PCU)、硫包尿素(SCU)6种缓释氮肥处理,同时设置普通尿素处理(U)及不施肥对照(CK),每个小区重复3次,随机分布于试验田内。

各处理肥料施用量由全生育期氮施用量及有效成分确定,磷、钾肥用P₂O₅和K₂O补充,除不施肥处理外,施肥处理全生育期氮、磷、钾总施用量相同,均为135 kg·hm⁻²,于5月11日播种当日采用撒施方式均匀施用于小区内,并覆土混匀。

CMCU由郑州大学提供,PCU、SCU和UF为江苏汉枫缓释肥料有限公司生产。

1.3 采样与分析

CH_4 和 N_2O 采用静态箱法测定。箱体为圆柱形,底面直径为25 cm,高100 cm,外包一层海绵和铝箔用以限制箱内空气温度变化。固定在土壤中的基座埋深约为15 cm,安放于小区中心。菊芋播种后每7~10 d采样1次,上午9:00—10:00同步采集各小区气体样品,采样时间分别为关箱后的0、10和20 min,每次抽样60 mL,气体样品于注射器中保存并于24 h内分析完毕。每次采样的同时使用便携式数字温度计测定箱内大气温度,采样后立即使用数字温度计和土壤水分测量仪测定土壤10 cm深处温度和湿度。

气体样品使用安捷伦7890A气相色谱仪进行分析,色谱柱为Proapack填充柱,进样口、检测器及柱箱温度分别为100、300和50℃。 CH_4 使用火焰离子化检测器(FID)测定,载气为高纯氮气,流速为40 mL·min⁻¹; N_2O 使用电子捕获检测器(ECD)测定,载气为φ=95%的氩气和φ=5%的甲烷混合气体,流速为40 mL·min⁻¹,高纯氮为反吹气^[16]。

1.4 数据处理

对每组3个样品的 CH_4 和 N_2O 浓度与相对应的采样间隔时间进行直线回归分析,结果表明关箱后20 min内 CH_4 和 N_2O 排放浓度呈线性累积($r^2 > 0.90$),满足排放通量的计算要求。 CH_4 和 N_2O 的

检测限分别为 0.06 和 7.29 mg · m⁻² · h⁻¹。CH₄ 和 N₂O 排放通量用 3 个重复的平均值表示, CH₄ 和 N₂O 季节排放总量通过将 3 个重复的观测值按时间间隔加权平均后获得。

CH₄ 和 N₂O 排放通量计算公式为

$$F = \rho \times \frac{dc}{dt} \times V \times \frac{273}{273 + T} / A \quad (1)$$

式(1)中, F 为 CH₄ 或 N₂O 排放通量, mg · m⁻² · h⁻¹ 或 μg · m⁻² · h⁻¹; ρ 为标准状态下 CH₄ 或 N₂O 的密度, 其值分别为 0.714 和 1.25 kg · m⁻³; $\frac{dc}{dt}$ 为单位时间内箱内 CH₄ 或 N₂O 浓度变化值, μL · L⁻¹ · h⁻¹ 或 nL · L⁻¹ · h⁻¹; V 为箱内温室气体所能容纳的有效体积, m³; A 为采样基座内土面面积, m²; T 为箱内温度, °C。

在 100 a 尺度上, 单位质量 CH₄ 和 N₂O 的全球增温潜势 (global warming potential, P_{GW}) 分别为 CO₂ 的 25 和 298 倍^[1]。将单位质量 CO₂ 的 P_{GW} 计为 1, 则 N₂O 和 CH₄ 的综合 P_{GW} 计算公式为

$$P_{GW} = 25F_c + 298F_n \quad (2)$$

式(2)中, F_c 和 F_n 分别为 CH₄ 和 N₂O 排放量, kg · hm⁻²。

N₂O 排放系数 F_E 的计算公式为

$$F_E = (E - E_0) / N \times 100\% \quad (3)$$

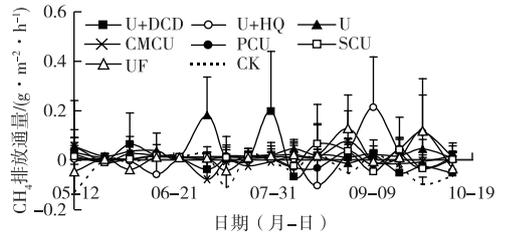
式(3)中, E 和 E_0 分别为施肥与未施肥处理的 N₂O 排放量, kg · hm⁻²; N 为施氮量, kg · hm⁻²。

采用 Excel 2007 软件进行数据处理和图表绘制, 数据统计分析通过 JMP 7.0 统计软件进行, 采用方差分析和多重比较进行不同处理间 CH₄ 和 N₂O 排放量以及作物生物量的差异分析。

2 结果与分析

2.1 CH₄ 和 N₂O 的季节排放动态

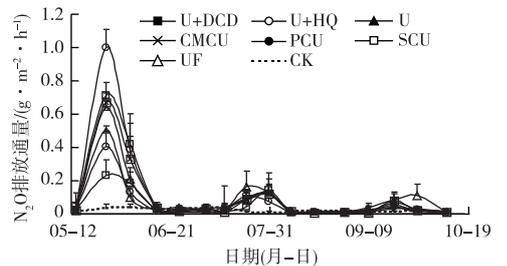
图 1~2 为菊芋生长季土壤 CH₄ 和 N₂O 排放的季节性变化。由图 1 可知, 在菊芋种植(5 月 11 日)后的 50 d 内 CH₄ 排放量较小, 此后至 10 月初收获一直可以观测到明显的 CH₄ 排放。在整个观测期间, CH₄ 排放通量呈现较大的波动, 表现为既有吸收又有排放, 但总体来说排放或吸收量均不大。CH₄ 排放峰集中于 7~9 月, 此时植株生长旺盛, 根系分泌物较多, 为 CH₄ 的产生提供了较多的底物, 同时由于观测地属于季风气候区, 此时气温较高, 降水集中, 也为土壤中 CH₄ 的产生创造了条件。



数据为平均值 + 标准误。U + DCD—尿素 + 硝化抑制剂; U + HQ—尿素 + 脲酶抑制剂; U—普通尿素; CMCU—钙镁磷肥包膜尿素; PCU—树脂包膜尿素; SCU—硫包膜尿素; UF—脲甲醛; CK—不施肥对照。

图 1 菊芋生长季不同缓释氮肥处理土壤 CH₄ 的季节排放动态

Fig. 1 Dynamics of CH₄ emission from the soil during the growing season of *Helianthus tuberosus* as affected by type of slow/controlled release fertilizer



数据为平均值 + 标准误。U + DCD—尿素 + 硝化抑制剂; U + HQ—尿素 + 脲酶抑制剂; U—普通尿素; CMCU—钙镁磷肥包膜尿素; PCU—树脂包膜尿素; SCU—硫包膜尿素; UF—脲甲醛; CK—不施肥对照。

图 2 菊芋生长季不同缓释氮肥处理土壤 N₂O 的季节排放动态

Fig. 2 Dynamics of N₂O emission from the soil during the growing season of *Helianthus tuberosus* as affected by type of slow/controlled release fertilizer

与 CH₄ 排放通量不同, N₂O 排放通量具有明显的季节性变化特征。生长季 N₂O 排放除受氮肥施用和作物种植的影响外, 还受到土壤含水量、土壤温度和气温的影响。生长季气温、土壤温度及含水量的变化情况见图 3。由图 3 可以看出, 研究区在 2010 年生长季具有明显的干旱和降水期, 5 月和 7 月下旬降水较多, 在该时段土壤 N₂O 排放量也较高; 而生长季其余时段降水较少, 土壤含水量较低, N₂O 排放也相对较少。从图 2 中 N₂O 排放的季节变化来看, 虽然不同处理间 N₂O 排放通量的变化幅度存在差异, 但变化趋势大体一致。N₂O 排放主要集中于基肥施用后的 20 d 内, 各施肥处理在此期间均出现了明显的排放峰。其原因可能是因为肥料一次性作基肥施用, 促进了土壤中硝化作用的进行, 而菊芋植株苗期对氮素的需求量相对较低, 导

致硝化作用产生的 NO_3^- 在土壤中大量积累,也加速了土壤中微团聚体内厌氧环境下反硝化反应的进行,硝化和反硝化反应共同导致 N_2O 大量产生。7月也出现了一个较小的 N_2O 排放峰,这主要是由于7月20号左右的降水使土壤含水量由降水前的25.1%骤升至46.4%,土壤的干湿交替促进了土壤氮的矿化以及硝化和反硝化作用的进行,进而增加了土壤 N_2O 排放。

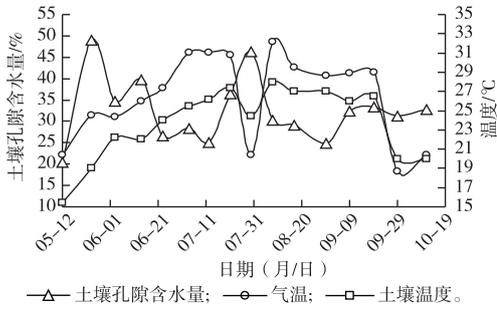


图3 气温、10 cm 深处土壤温度及孔隙含水量的季节变化
Fig. 3 Seasonal variations of air temperature, and soil temperature and WFPS at 10 cm depth

2.2 CH_4 和 N_2O 的季节排放总量

从各处理 CH_4 的季节排放总量(表1)来看,除 U + DCD 处理和 CK 表现出对 CH_4 的吸收外,其余各处理土壤在菊芋生长季均有 CH_4 排放,排放总量由高到低依次为 U、PCU、UF、SCU、U + HQ、CMCU 和 U + DCD,对应的 CH_4 季节平均排放通量分别为 31.6 、 15.0 、 11.0 、 6.7 、 6.7 、 6.4 和 $-5.2 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ 。与普通尿素(U)处理相比,PCU、SCU、CMCU 和 UF 缓释氮肥处理 CH_4 排放量分别减少 53%、78%、80% 和 66%。方差分析表明,各缓释氮肥处理与 U 处理及 CK 间差异均不显著,而 U 处理与 CK

存在显著性差异($P < 0.05$)。

对于 N_2O 的季节排放,除不施肥 CK 外,各施肥处理菊芋苗期(前 30 d)的 N_2O 排放量均达整个生长季排放量的 40% 以上。在此期间,3 种物理型缓释氮肥(CMCU、PCU 和 SCU)处理的 N_2O 排放量较 U 处理增加 15%~61%,且差异达显著水平($P < 0.05$);化学型缓释氮肥(U + DCD、U + HQ 和 UF)处理的 N_2O 排放量则比 U 处理减少 26%~51%。此后至 10 月初收获的 130 d 内,各施肥处理 N_2O 排放量仅占生长季 N_2O 排放量的 41%~56%,化学型缓释氮肥减排效果依然显著,U + DCD、U + HQ、UF 处理较 U 处理 N_2O 排放量分别减少 26%、38% 和 21%,3 种物理型缓释氮肥处理的 N_2O 排放量则与 U 处理相差不大。全生长季各处理 N_2O 排放总量在 $1.34 \sim 2.94 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 之间,各处理由高到低依次为 PCU、SCU、CMCU、U、UF、U + HQ 和 U + DCD,对应的 N_2O 季节平均排放通量分别为 117.5 、 97.5 、 90.7 、 89.5 、 70.8 、 58.7 和 $53.6 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ 。PCU 处理的 N_2O 排放量最高,较 U 处理增加 31%,且显著高于其余各处理($P < 0.05$),而另外 2 种物理型缓释氮肥处理 CMCU 和 SCU 与 U 处理无显著差异;U + DCD、U + HQ 和 UF 与 U 处理相比 N_2O 排放量分别减少 40%、34% 和 21%,且差异显著($P < 0.05$)。所有施肥处理 N_2O 排放量均显著高于 CK ($P < 0.05$)。

2.3 菊芋产量和生物量

由表1可知,该生长季各处理菊芋产量间差异均未达显著水平,地上部生物量以 UF 处理最高,UF 和 PCU 处理地上部生物量显著高于 U 处理($P < 0.05$),而其余施肥处理与 U 处理无显著差异。

表1 不同施肥处理菊芋地上部干质量与产量、 CH_4 和 N_2O 季节排放总量以及全球增温潜势(P_{GW})

Table 1 Shoot dry weight and yield of *Helianthus tuberosus* and seasonal emissions of CH_4 and N_2O , and their calculated global warming potentials (P_{GW}) in various fertilizer treatments

处理	产量 ¹⁾ / ($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$)	地上部生物量 ¹⁾ / ($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$)	CH_4 排放总量/ ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	N_2O 排放总量/ ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	P_{GW} ²⁾ / ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)
U + DCD	4.21 ± 2.76 ^a	7.34 ± 0.15 ^c	-0.21 ± 2.28 ^{ab}	1.34 ± 0.26 ^d	624 ± 169 ^d
U + HQ	5.30 ± 0.63 ^a	8.38 ± 1.05 ^{bc}	0.26 ± 0.77 ^{ab}	1.47 ± 0.19 ^{cd}	694 ± 70 ^{cd}
UF	5.09 ± 1.35 ^a	11.41 ± 1.09 ^a	0.43 ± 0.69 ^{ab}	1.77 ± 0.19 ^c	840 ± 88 ^c
CMCU	3.87 ± 1.96 ^a	8.51 ± 1.06 ^{bc}	0.25 ± 0.56 ^{ab}	2.27 ± 0.31 ^b	1 070 ± 150 ^b
PCU	4.97 ± 3.12 ^a	9.86 ± 0.83 ^{ab}	0.59 ± 0.73 ^{ab}	2.94 ± 0.28 ^a	1 392 ± 117 ^a
SCU	7.01 ± 4.98 ^a	8.44 ± 0.37 ^{bc}	0.27 ± 0.37 ^{ab}	2.44 ± 0.10 ^b	1 149 ± 36 ^b
U	6.30 ± 1.54 ^a	7.98 ± 0.93 ^c	1.25 ± 0.77 ^a	2.24 ± 0.23 ^b	1 080 ± 87 ^b
CK	2.47 ± 0.10 ^a	5.33 ± 0.30 ^d	-1.26 ± 0.91 ^b	0.44 ± 0.16 ^c	174 ± 50 ^e

U + DCD 为尿素 + 硝化抑制剂; U + HQ 为尿素 + 脲酶抑制剂; UF 为脲甲醛; CMCU 为钙镁磷肥包膜尿素; PCU 为树脂包膜尿素; SCU 为硫包尿素; U 为普通尿素; CK 为不施肥对照。数据为平均值 ± 标准差。同一列英文小写字母不同表示处理间某指标差异显著($P < 0.05$)。

1) 以干质量计; 2) 以 CO_2 计。

3 讨论

在菊芋生长季施用缓释氮肥可以减少 CH₄ 排放。与常规尿素处理相比,除 U + DCD 处理外,其余施用缓释氮肥处理可使 CH₄ 排放量减少 53% ~ 80%,但差异不显著。荆瑞勇^[17]研究表明,与尿素处理相比,缓释尿素处理可使稻田 CH₄ 排放减少 4% ~ 35%。周礼恺等^[18]通过盆栽试验同样得出了施用尿素时添加硝化抑制剂 DCD 能显著减少土壤 CH₄ 排放的结论,并指出其原因可能是添加抑制剂使得根际微域的 CH₄ 氧化潜势得到增强。上述研究结果均来自于稻田,CH₄ 排放量比笔者的研究结果要高得多,因此笔者研究中缓释氮肥与常规尿素处理 CH₄ 排放通量差异不显著,可能与 CH₄ 排放量较低有关。

众多研究表明施用氮肥会抑制土壤氧化吸收 CH₄^[3-4,19-20],然而笔者试验中,只有施用尿素处理的 CH₄ 排放总量与不施肥对照存在显著差异($P < 0.05$),其他施肥处理与不施肥对照差异不显著。造成这种结果的原因可能是因为试验观测地夏季降水量大而集中,且田间排水不畅造成了土壤中的局部厌氧环境,导致 CH₄ 排放通量的观测结果变异较大。齐玉春等^[21]和王跃思等^[22]在华北麦地、玉米地和内蒙古草地的观测结果表明,大量降水会使土壤含水量上升,当土壤水分超过田间持水量的 40% 后,基本上较难出现 CH₄ 的吸收现象。笔者研究中频繁出现的 CH₄ 排放高峰可能与降水造成的田间持水量过高有关(图 3)。

在该试验中,各施肥处理在基肥施用后 30 d 内的 N₂O 排放量占整个生长季 N₂O 排放量的 43% ~ 67%。可见无论是施用缓释氮肥还是普通尿素, N₂O 释放主要集中于基肥施用后的短时间内。另据 XU 等^[23]对玉米生长季的研究表明,氮肥全部作为基肥施用所造成的 N₂O 排放量远大于氮肥全部作为追肥或者将氮肥分为基肥和追肥 2 次施用所造成的 N₂O 排放量。

化学型缓释氮肥表现出了较好的 N₂O 减排效果,施用 U + DCD、U + HQ 和 UF 处理的土壤 N₂O 排放量较施用常规尿素分别减少 40%、34% 和 21%,这与 AKIYAMA 等^[9-10]的研究结果相似。由于化学型缓释氮肥中添加了化学型或生物化学型抑制剂,例如脲酶抑制剂和硝化抑制剂,两者分别对尿素氮在土壤中转化的某一特定过程产生作用,可以减缓土壤中尿素酰胺态氮水解成铵态氮,抑制铵态氮氧

化为硝态氮,从而减少 N₂O 等气态氮的损失。

各物理型缓释氮肥与常规尿素相比不仅没有减少 N₂O 气体的排放,PCU 处理的 N₂O 季节排放量甚至显著高于常规尿素处理($P < 0.05$)。这与 JIANG 等^[14]对种植冬小麦及夏玉米农田的研究结果类似,HOU 等^[24]的培养试验也证明包膜缓释氮肥处理的 N₂O 释放量仅在早期低于传统尿素,在大时间尺度上两者并无显著差异。而胡小康等^[11]的研究结果显示其选用的物理型缓释氮肥减少了土壤 N₂O 的排放。AKIYAMA 等^[9]认为,在排水良好的土壤中,聚合物包膜的缓释氮肥对土壤 N₂O 排放的影响取决于肥料的氮素释放速率和作物对氮素的吸收速率。只有肥料的氮素释放速率符合作物对氮素的吸收速率,氮素的利用效率得到提高,氮素的 N₂O 排放损失才会减少,否则将很难减少硝化过程产生的 N₂O。因此对于物理型缓释氮肥是否能够减少土壤 N₂O 排放存在的争议,可能是由于所选用的缓释肥料品种及其所使用的环境不同所致。

U + DCD、U + HQ、UF、CMCU、PCU、SCU 和 U 处理的 N₂O 排放系数分别为 0.67%、0.76%、0.99%、1.36%、1.85%、1.48% 和 1.33%。从各处理 N₂O 排放系数看来,物理型缓释氮肥氮素的气态损失高于化学型缓释氮肥,也高于普通尿素。

由于笔者研究中土壤排放、吸收 CH₄ 对全球增温潜势的影响与 N₂O 相比要小得多,所以各处理间全球增温潜势的差异主要由 N₂O 排放量决定。菊芋生长季各处理 CH₄ 和 N₂O 排放所产生的全球增温潜势见表 1。由表 1 可见,PCU 处理的全球增温潜势显著高于常规尿素处理($P < 0.05$),SCU 和 CMCU 处理与常规尿素处理无显著差异,而各化学型缓释氮肥则表现出显著的抑制效果($P < 0.05$)。可以看出施用 3 种化学型缓释肥处理生产单位质量的菊芋所产生的温室气体要少于常规尿素处理,因此施用这些肥料对于盐碱地菊芋生产是相对高效的选择。

4 结论

在苏北盐碱地菊芋生长季,施用缓释氮肥的土壤 CH₄ 排放量较施用普通尿素可以减少 53% ~ 80%。施用化学型缓释氮肥尿素 + 硝化抑制剂、尿素 + 脲酶抑制剂和脲甲醛的土壤 N₂O 排放量较施用普通尿素分别减少 40%、34% 和 21%,而施用物理型缓释氮肥钙镁磷肥包膜尿素、硫包尿素、树脂包膜尿素土壤 N₂O 排放量较施用普通尿素则分别增加 1%、9% 和 31%。从全球增温潜势来看,各化

学型缓释氮肥处理均表现出显著的减排效果。因此在该地区通过合理施用缓释氮肥,特别是化学型缓释氮肥,可以有效减少土壤 CH_4 和 N_2O 排放,减缓综合温室效应。

参考文献:

- [1] SOLOMON S, QIN D, MANNING M, *et al.* Technical Summary [M] // Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. New York, USA: Cambridge University Press, 2007: 31 - 34.
- [2] SMITH P, MARTINO D, CAI Z, *et al.* Agriculture [M] // Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. New York, USA: Cambridge University Press, 2007: 539 - 542.
- [3] 韩广轩, 朱波, 江长胜, 等. 川中丘陵区稻田甲烷排放及其影响因素[J]. 农村生态环境, 2005, 21(1): 1 - 6.
- [4] HÜTSCH B W, WEBSTER C P, POWLSON D S. Methane Oxidation in Soil as Affected by Land Use, Soil pH and N Fertilization [J]. Soil Biology Biochemistry, 1994, 26(12): 1613 - 1622.
- [5] 石生伟, 李玉娥, 秦晓波, 等. 不同施肥处理对红壤晚稻田 CH_4 排放的影响[J]. 生态与农村环境学报, 2010, 26(2): 103 - 108.
- [6] FIRESTONE M K, DAVIDSON E A. Microbiological Basis of NO and N_2O Production and Consumption in Soil [C] // ANDREAE M, SCHIMMEL D. Exchange of Trace Gases Between Terrestrial Ecosystems and the Atmosphere. Hoboken, USA: John Wiley and Sons Incorporated, 1989: 7 - 21.
- [7] 李荣华, 周礼恺. 长效尿素在不同地区主要农作物上的应用研究[J]. 土壤通报, 1996, 27(1): 33 - 34.
- [8] 罗斌, 束维正. 我国缓控释肥料的研究现状与展望[J]. 化肥设计, 2010, 48(6): 58 - 60.
- [9] 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 Biology, 2010, 16(6): 1837 - 1846.
- [10] AKIYAMA H, TSURUTA H, WATANABE T. N_2O and NO Emissions From Soils After the Application of Different Chemical Fertilizers [J]. Chemosphere: Global Change Science, 2000, 2(3/4): 313 - 320.
- [11] 胡小康, 黄彬香, 苏芳, 等. 氮肥管理对夏玉米土壤 CH_4 和 N_2O 排放的影响[J]. 中国科学: 化学, 2011, 41(1): 117 - 128.
- [12] DELGADO J A, MOSIER A R. Mitigation Alternatives to Decrease Nitrous Oxides Emissions and Urea-Nitrogen Loss and Their Effect on Methane Flux [J]. Environmental Quality, 1996, 25(5): 1105 - 1111.
- [13] CHU H, HOSEN Y, YAGI K. NO , N_2O , CH_4 and CO_2 Fluxes in Winter Barley Field of Japanese Andisol as Affected by N Fertilizer Management [J]. Soil Biology Biochemistry, 2007, 39(1): 330 - 339.
- [14] JIANG J, HU Z, SUN W, *et al.* Nitrous Oxide Emissions From Chinese Cropland Fertilized With a Range of Slow-Release Nitrogen Compounds [J]. Agriculture Ecosystems & Environment, 2010, 135(3): 216 - 225.
- [15] 赵秀芳, 杨劲松, 蔡彦明, 等. 苏北滩涂区施肥对菊芋生长和土壤氮素累积的影响[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(3): 521 - 526.
- [16] 邹建文, 焦燕, 王跃思, 等. 稻田 CO_2 、 CH_4 和 N_2O 排放通量测定方法研究[J]. 南京农业大学学报, 2002, 25(4): 45 - 48.
- [17] 荆瑞勇. 改性尿素对农田温室气体排放的影响[D]. 重庆: 西南农业大学, 2005.
- [18] 周礼恺, 徐星恺, 陈利军, 等. 氢氰和双氰胺对种稻土壤 N_2O 和 CH_4 排放的影响[J]. 应用生态学报, 1999, 10(2): 189 - 192.
- [19] 胡荣贵. 氮肥对旱地土壤甲烷氧化能力的影响[J]. 生态环境, 2004, 13(1): 74 - 77.
- [20] 黄大庆, 马煜春, 熊正琴, 等. 不同种植制度对稻田旱作季节 CH_4 和 N_2O 排放的影响[J]. 生态与农村环境学报, 2010, 26(6): 519 - 523.
- [21] 齐玉春, 董云社, 章申. 华北平原典型农业区土壤甲烷通量研究[J]. 农村生态环境, 2002, 18(3): 56 - 58.
- [22] 王跃思, 纪宝明, 黄耀, 等. 农垦与放牧对内蒙古草原 N_2O 、 CO_2 排放和 CH_4 吸收的影响[J]. 环境科学, 2001, 22(6): 7 - 13.
- [23] XU W, HONG Y, CHEN X, *et al.* N_2O Emissions From Regional Agricultural Lands: A Case Study of Guizhou Province, Southwest China [J]. Science in China: Series D, 2000, 43(1): 103 - 112.
- [24] HOU A, AKIYAMA H, NAKAJIMA Y, *et al.* Effects of Urea Form and Soil Moisture on N_2O and NO Emissions From Japanese Andosols [J]. Chemosphere Global Change Science, 2000, 2(3/4): 321 - 327.

作者简介: 王浩成(1986—), 男, 安徽临泉人, 硕士生, 主要从事农田温室气体排放研究。E-mail: 2009103124@njau.edu.cn