

DCD 不同施用时间对水稻生长期 CH_4 和 N_2O 排放的影响

李香兰^{1,4}, 马 静^{1,4}, 徐 华^{1,*}, 曹金留², 蔡祖聪¹, K. Yagi³

(1. 中国科学院南京土壤研究所, 土壤与农业可持续发展国家重点实验室, 江苏南京 210008;

2. 江苏农林职业技术学院, 江苏句容 212400; 3. 国立农业环境技术研究所, 日本筑波 305;

4. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 硝化抑制剂传统的施用方法是在作物移栽或播种前与基肥配合施用。通过温室盆栽试验研究相同施肥条件下, 硝化抑制剂双氢胺 (dicyandiamide, DCD) 不同施用时间 (与基肥混施、分蘖肥后施入、穗肥后施入) 对水稻生长期 CH_4 和 N_2O 排放的影响。结果表明, 施入 DCD 能同时降低 CH_4 和 N_2O 排放量。就整个水稻生长期而言, 与基肥混施 DCD 分别降低 21.41% 的 CH_4 排放量和 8.00% 的 N_2O 排放量; 调节 DCD 施用时间至分蘖肥后显著降低 30.30% 的 N_2O 排放量, 同时降低 5.24% 的 CH_4 排放量。就施入 DCD 到水稻收获的特定生长阶段而言, 缓施 DCD 分别降低 32.65% 的 N_2O 排放量和 11.18% 的 CH_4 排放量; 晚施 DCD 对 CH_4 和 N_2O 排放的影响不大。CK、早施 DCD、缓施 DCD 及晚施 DCD 处理 CH_4 平均排放通量分别为 0.95 、 0.75 、 0.87 $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 及 0.94 $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$, N_2O 平均排放通量为 155.67 、 143.24 、 108.50 $\mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 及 153.24 $\mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$, 缓施 DCD 显著降低 CH_4 和 N_2O 排放量 ($p < 0.01$)。土壤温度是影响 N_2O 排放的主要因素, 而 CH_4 排放通量与土壤 Eh 呈显著负相关 ($p < 0.01$)。

关键词: 硝化抑制剂; 双氢胺 (DCD); CH_4 和 N_2O ; 水稻土

文章编号: 1000-0933(2008)08-3675-07 中图分类号: X823 文献标识码: A

Effect of different application time of DCD on methane and nitrous oxide emissions during rice growth period

LI Xiang-Lan^{1,4}, MA Jing^{1,4}, XU Hua^{1,*}, CAO Jin-Liu², CAI Zu-Cong¹, K. Yagi³

1 Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Nanjing, Jiangsu 210008, China

2 Jiangsu Polytechnic College of Agriculture and Forestry, Jurong, Jiangsu 212400, China

3 National Institute of Agro-Environmental Sciences, Tsukuba 305, Japan;

4 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(8): 3675 ~ 3681.

Abstract: Traditionally, nitrification inhibitor is applied together with basal fertilizer before transplanting or seeding of rice. A pot experiment in greenhouse was carried out to study effect of timing of application of nitrification inhibitor (dicyandiamide, DCD) on methane (CH_4) and nitrous oxide (N_2O) emissions during the rice growth period. Four treatments in triplicate including CK (without DCD), Treatment EA (early application of DCD together with basal

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (40621001, 40671094)

收稿日期: 2007-05-11; **修订日期:** 2007-12-12

作者简介: 李香兰 (1980 ~), 山东莱芜人, 博士生, 主要从事农田生态系统温室气体排放及全球变化研究. E-mail: xlli@issas.ac.cn

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: hxu@issas.ac.cn

Foundation item: The project was financially supported by National Natural Science Foundation of China (No. 40621001, 40671094)

Received date: 2007-05-11; **Accepted date:** 2007-12-12

Biography: LI Xiang-Lan, Ph. D. candidate, mainly engaged in greenhouse gases emission of agro-ecosystem and global change. E-mail: xlli@issas.ac.cn

fertilizer); Treatment DA (delayed application, 10 days after the top dressing at the tillering stage), and Treatment LA (late application, 10 days after the side-dressing), were implemented in this experiment. Results indicated that application of DCD inhibited both CH_4 and N_2O emissions, which was reduced by 21.41% and 8.00%, respectively in Treatment EA, by 30.30% and 5.24% in Treatment DA, and by 32.65% and 11.18% during the period from application of DCD to harvest of the crop in Treatment DA, but not much affected in Treatment LA. The CH_4 flux in Treatments CK, EA, DA and LA was 0.95, 0.75, 0.87 and 0.94 $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$, and N_2O flux was 155.67, 143.24, 108.50 and 153.24 $\mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$, respectively. Delayed application of DCD decreased CH_4 and N_2O emissions significantly ($p < 0.01$). Significant negative correlation between CH_4 flux and soil Eh was observed and the fact that soil temperature was the main factor affecting N_2O emission during the rice growth period was found.

Key Words: nitrification inhibitor; dicyandiamide (DCD); CH_4 and N_2O emissions; rice paddy soil

CH_4 和 N_2O 是两种重要的温室气体。虽然它们在大气中含量低于 CO_2 , 增温潜势却分别是 CO_2 的 23 倍和 296 倍^[1]。 N_2O 还是导致臭氧层破坏的光化学反应的主要参与者, 据估计, 大气 N_2O 浓度增加一倍, 平流层臭氧浓度将减少 10%, 到达地球表面的紫外辐射将增强 20%^[2]。大气中增加的 CH_4 和 N_2O 约 70% ~ 90% 来自生物源, 其中相当一部分来自农田生态系统^[3]。我国是水稻种植大国, 因此对我国稻田 CH_4 和 N_2O 排放规律、总量估算及减缓措施的研究一直受到国内外的高度关注。

尿素是我国广泛使用的氮肥品种, 施肥是导致土壤中 CH_4 和 N_2O 排放增多的一个重要原因。氮肥施入后, 土壤硝化和反硝化作用不仅导致 N_2O 的产生, 而且还造成其它形态的氮素损失。而硝化抑制剂与氮肥配合施用, 通过抑制硝化细菌的活性, 使施入土壤的氮源能够较长时间以 NH_4^+ -N 形态存在, 供作物吸收利用。这不仅提高肥效, 而且减少 NO_2^- -N、 NO_3^- -N 淋溶和反硝化造成的氮肥损失, 降低环境污染以及减少硝酸盐在植物体内的累积^[4~6]。同时硝化抑制剂, 特别是双氢胺 (DCD) 能减少土壤 CH_4 的产生排放量^[7]。

目前, 广泛应用于农业生产中的硝化抑制剂双氢胺 (DCD) 具有挥发性弱, 低于施氮量 10% 剂量下在土壤中无毒性残留等优点。国内外有关 DCD 的研究多侧重于对不同土壤类型和质地的硝化抑制作用^[8~10]。此外, Boeckx 等^[11]通过稻麦轮作淋溶土的稻季盆栽试验发现, 尿素和 DCD 混施能减少 47% 的 N_2O 排放量和 53% 的 CH_4 排放量。Weiske 等^[12]通过 3a 的田间试验发现 DCD 能减少 26% 的 N_2O 排放, 但对 CH_4 排放几乎无影响。这些研究中硝化抑制剂大都在作物移栽或播种前和基肥配合施用。就稻田而言, 由于水稻移栽后、中期烤田前持续淹水, 土壤硝化作用受到极大抑制, 移栽前施入的硝化抑制剂在这段时间基本发挥不了作用而白白消耗。烤田期及随后复水期, 土壤水分变化剧烈, 硝化反硝化反应旺盛, 调节 DCD 施用时间至烤田开始前或干脆至穗肥后, 硝化抑制剂 DCD 对 N_2O 和 CH_4 产生排放的影响会发生怎样的变化呢? 本文通过温室盆栽试验研究了不同时间施用硝化抑制剂 DCD 对水稻生长期 CH_4 和 N_2O 排放的影响 (以相同施肥条件下不施 DCD 的 CK 处理为对照), 旨在为合理施用农田氮肥、提高氮肥利用率及降低环境污染等方面提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

供试土壤采自江苏省宜兴市大浦镇 (31°17'N, 119°54'E) 的水稻田。土壤类型为黄泥土, 其基本理化性质为土壤全 C 和全 N 含量分别是 12.6g/kg 和 1.3g/kg, pH 值 6.23, 砂粒 (2 ~ 0.02mm) 32.6%, 粉粒 (0.02 ~ 0.002) 42.9%, 粘粒 (<0.002) 24.5%, $\text{CEC } 16.44\text{C}_{\text{mol}}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$ 。试验为盆栽试验, 盆钵为圆柱体, 直径 25cm, 高 35cm, 每盆装土 16kg。水稻于 6 月 11 日移栽, 10 月 28 日收获, 生长期 139d。依水稻生长期硝化抑制剂 DCD 不同施用时间设 4 个处理: ①对照处理 (CK), 施肥情况与其他处理相同, 不施 DCD; ②早施 DCD, 水稻移栽前 DCD 与基肥混施; ③缓施 DCD, 分蘖肥后 10d (烤田开始前 3d) 施入; ④晚施 DCD, 穗肥后 10d (水稻移栽后 65d) 施入。每个处理设 3 个重复, 共 12 盆钵, 随机排列。

1.2 水肥管理

水分管理采用传统的前期淹水(6月11日~7月10日)、中期烤田(7月11日~7月23日)和后期干湿交替(7月24日~10月28日)的管理模式。N、P、K 肥施用量为每盆尿素 3.74g 尿素(以土重计相当于 270kgN·hm⁻²)、KH₂PO₄ 0.84g、KCl 0.24g,其中 N:P₂O₅:K₂O=2:1:1。水稻移栽前施入基肥,基肥施氮量为设计施氮量的 50%,KH₂PO₄ 和 KCl 全部作为基肥施入;分蘖肥和穗肥分别于 6 月 27 日和 8 月 4 日施入,施氮量均为设计施氮量的 25%。硝化抑制剂 DCD 的施用量为设计施氮量的 4%。

1.3 采样和测定

采集气样时,将有机玻璃采气箱(30cm×30cm×100cm)放置在 5cm 深的水槽(与顶端下 5cm 处盆钵外侧焊为一体)中。通过插进密封采样垫的两通针采集箱内气体于 18ml 真空瓶中,每隔 10min 采一次样,共 4 次。CH₄ 由带有氢火焰离子检测器的气相色谱仪(岛津 GC-12A)测定,N₂O 由带有 Ni⁶³ 电子捕获检测器的气相色谱仪(岛津 GC-14A)测定。N₂O 标准气由日本国立农业环境技术研究所温室气体研究团队提供,CH₄ 标准气由南京气体厂提供。

土壤溶液则由预先埋入盆钵的溶液采集器收集到专用真空瓶,4℃ 保存,后采用 Skalar 流动分析仪测定 NH₄⁺-N 和 NO₃⁻-N 浓度。土壤 Eh 通过插入盆钵土壤的三支铂电极(深度为 10cm)用便携式土壤 Eh 计测定,由于仪器故障造成水稻移栽后 19d 至 24d 的土壤 Eh 数据缺失。土表、5cm 及 10cm 土层深度土壤温度由带温度探针的便携式温度计测定,土壤温度由不同深度土温的平均值表示。

1.4 CH₄ 和 N₂O 排放通量计算

$$\text{CH}_4 \text{ 和 } \text{N}_2\text{O} \text{ 排放通量计算公式为: } F = \rho \frac{V}{A} \frac{dC}{dt} \frac{273}{273 + T}$$

式中, F 为 CH₄ 和 N₂O 排放通量,单位分别为 mg/(m²·h) 和 μg/(m²·h); ρ 为标准状态下 CH₄ 和 N₂O 的密度,其值分别是 0.714 kg/m³ 和 1.25 kg/m³; V 表示密闭箱内温室气体所能容纳的有效体积(m³); A 为盆钵内土面面积(m²); $\frac{dC}{dt}$ 表示单位时间内密闭箱内 CH₄ 和 N₂O 浓度的变化量; T 为密闭箱内温度,单位℃。CH₄ 和 N₂O 排放通量用 3 个重复的平均值表示,CH₄ 和 N₂O 季节平均排放量则是将 3 个重复的每次观测值按时间间隔加权平均后再平均。数据结果通过 SPSS(12.0) 统计软件进行分析。

2 结果与分析

2.1 CH₄ 和 N₂O 排放的季节变化

图 1 表示各处理水稻生长期 CH₄ 和 N₂O 排放的季节变化,其中 CH₄ 和 N₂O 排放通量是 3 个重复的平均

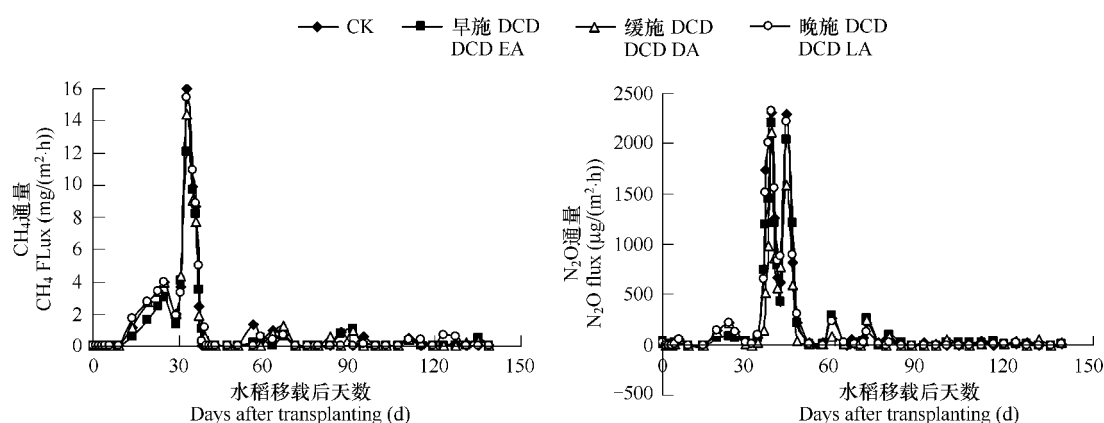


图 1 各处理水稻生长期 CH₄ 和 N₂O 排放的季节变化

Fig. 1 Seasonal variations of CH₄ and N₂O fluxes of different treatments during the rice growth period

EA 早施 Early Application; DA 缓施 Delayed Application; LA 晚施 Late Application; 下同 the same below

值。由图 1 可知,各处理水稻生长期 CH_4 排放通量变化趋势基本一致。早施 DCD 处理在烤田开始前持续淹水阶段 CH_4 排放通量略低于其他各处理,在烤田开始后其 CH_4 排放峰值 ($12.01 \text{ mg}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$) 明显低于 CK 对照处理 ($15.97 \text{ mg}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$),缓施 DCD 和晚施 DCD 对 CH_4 排放影响不大(排放峰值分别是 $14.44 \text{ mg}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 和 $15.40 \text{ mg}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$)。整个水稻生长期 CH_4 排放集中在烤田开始后,并在烤田结束前降为零;水稻生长后期干湿交替阶段几乎无 CH_4 排放。 N_2O 排放峰值同样出现在烤田期及随后复水期,在此期间 CK 处理两次排放峰值分别是 $2.31 \text{ mg}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 和 $2.29 \text{ mg}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 。早施 DCD 对 N_2O 排放影响较小(排放峰值分别是 $2.20 \text{ mg}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 和 $2.03 \text{ mg}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$);缓施 DCD 明显降低 N_2O 的排放量,特别是烤田结束复水后 N_2O 的排放量(两次排放峰值为 $2.10 \text{ mg}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 和 $1.59 \text{ mg}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$),晚施 DCD 对 N_2O 排放无影响(排放峰值为 $2.33 \text{ mg}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 和 $2.21 \text{ mg}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$,与 CK 处理 N_2O 排放峰值几乎相同)。CK、早施 DCD、缓施 DCD 及晚施 DCD 处理 CH_4 平均排放通量分别为 0.95 、 0.75 、 $0.87 \text{ mg}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 及 $0.94 \text{ mg}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$, N_2O 平均排放通量为 155.67 、 143.24 、 $108.50 \text{ }\mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 及 $153.24 \text{ }\mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 。统计分析表明,缓施 DCD 显著降低 CH_4 和 N_2O 排放量($p < 0.01$)。

2.2 硝化抑制剂 DCD 对 CH_4 和 N_2O 排放的影响

从图 2 可知,就整个水稻生长期而言,早施 DCD 分别降低 21.41% 的 CH_4 排放量和 8.00% 的 N_2O 排放量(与 CK 处理比较);缓施 DCD 能显著降低 30.30% 的 N_2O 排放量,同时降低 5.24% 的 CH_4 排放量;晚施 DCD 对 CH_4 和 N_2O 排放的影响不大(图 2a、图 2c)。由于 DCD 的施入时间不同且发挥作用的有效时间较短,与较长时间的水稻生长期(139d)内 CH_4 和 N_2O 的排放情况相比,DCD 短时间引起的变化可能并不显著,所以比较各处理施入 DCD 后至水稻收获期间 CH_4 和 N_2O 的排放差异更能说明 DCD 对稻田土壤 CH_4 和 N_2O 排放的影响。结果表明,与 CK 处理相比,缓施 DCD 显著降低 32.65% 的 N_2O 排放量,同时降低 11.18% 的 CH_4 排放量;晚施 DCD 则分别降低 18.41% 的 CH_4 排放量和 4.98% 的 N_2O 排放量(图 2b、图 2d)。可见,无论整个水稻生

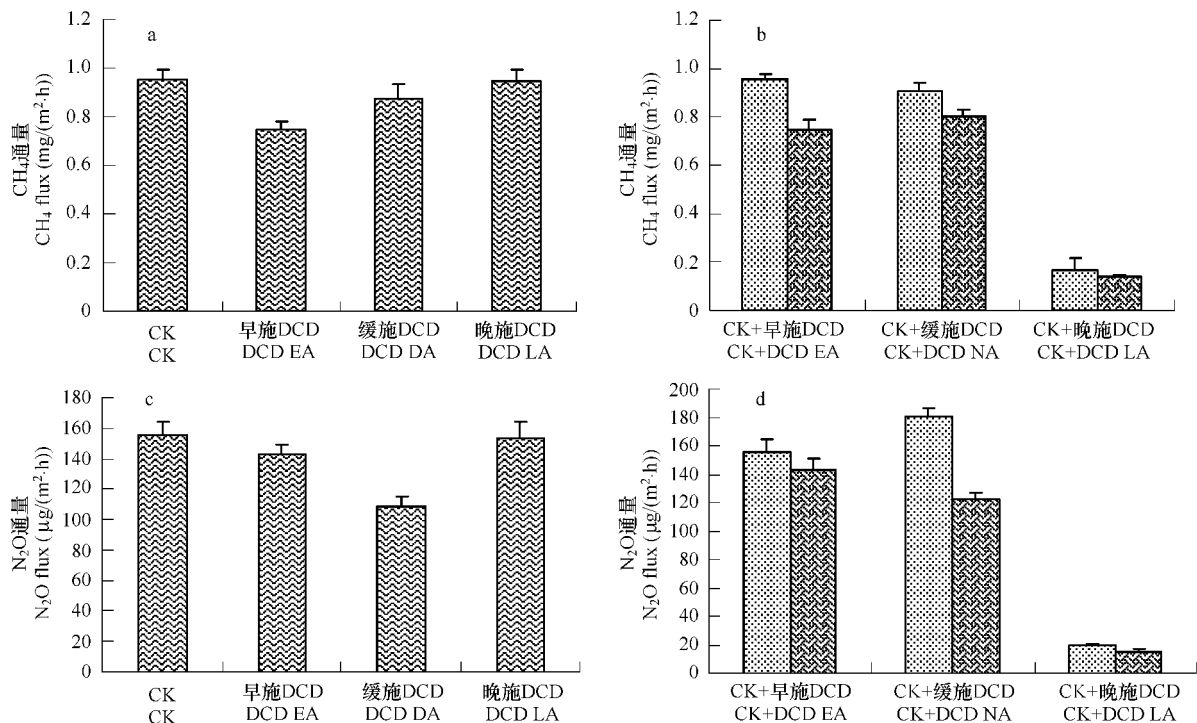


图 2 施用 DCD 对整个水稻生长期及对 DCD 施入后至水稻收获期间 CH_4 和 N_2O 排放的影响

Fig. 2 Effect of DCD application on CH_4 and N_2O emissions during the whole rice growth period and during the days from DCD application to rice

harvest

竖条代表标准偏差 ($n=3$) Bars indicate SD ($n=3$)

长期还是施入 DCD 之后到水稻收获期,施入 DCD 能同时降低 CH_4 和 N_2O 排放量。分蘖肥后、烤田开始前施入 DCD 能显著降低 N_2O 排放量,降幅达 30% 以上;水稻移栽前与基肥混施 DCD 能有效降低 CH_4 排放量,降幅达 20% 以上。

图 3 表示各处理水稻生长期 NH_4^+-N 和 NO_3^--N 的季节变化。由图 3 可知,早施 DCD 使烤田开始前持续淹水阶段 NH_4^+-N 浓度偏高(水稻移栽后第 0~10d)。随着烤田的进行 NH_4^+-N 浓度逐渐降低,烤田结束时基本降为最低,此时 NO_3^--N 浓度最高。CK、早施 DCD、缓施 DCD 及晚施 DCD 处理 NO_3^--N 最高浓度分别是 42.26、39.54、35.01mg/L 和 43.32mg/L,分蘖肥后施入 DCD 对硝化反应的抑制效果最明显。水稻生长后期土壤中 NH_4^+-N 和 NO_3^--N 浓度较低造成后期干湿交替阶段几乎无 N_2O 排放,因此穗肥后(水稻移栽后 65d)施入 DCD 对 N_2O 排放影响不大。

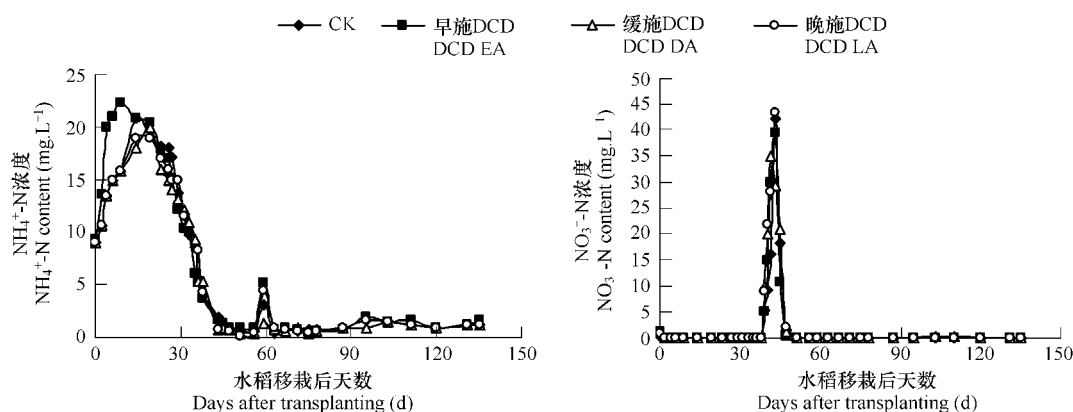


图 3 水稻生长期 NH_4^+-N 和 NO_3^--N 的季节变化

Fig. 3 Seasonal variations of NH_4^+-N and NO_3^--N concentrations during rice growth period

2.3 土壤 Eh 和土壤温度对 CH_4 和 N_2O 排放的影响

除硝化抑制剂外,土壤 Eh 和土壤温度是影响稻田土壤 CH_4 和 N_2O 排放的重要因素。水稻移栽后 30d 对土壤进行充分烤田,此时稻田水分剧烈变化,土壤 Eh 出现大幅度上升趋势;后期干湿交替阶段土壤 Eh 一直处于较高的水平(图 4)。CK、早施 DCD、缓施 DCD 及晚施 DCD 处理烤田期间土壤 Eh 峰值分别为 582.11、525.90、494.00mV 及 580.02mV,均出现在烤田开始后第 11 天(图 4)。水稻生长期施加 DCD 处理的平均土壤 Eh 为 126.69~137.073mV,而 CK 处理的仅为 116.23mV。施加硝化抑制剂能够提高土壤 Eh,这与其他研究结果一致^[7,12,13]。

比较图 1、图 4 不难发现,各处理烤田期及随后复水期 N_2O 的排放峰值伴随土壤 Eh 的峰值出现;而 CH_4 的排放峰值则出现在土壤 Eh 达最低值时,在土壤 Eh 达到峰值时 CH_4 排放量降为零。相关性分析表明,水稻生长期 CH_4 排放通量与土壤 Eh 显著负相关,而 N_2O 排放与土壤 Eh 无显著相关性(表 1)。

图 5 是水稻生长期土壤温度的季节变化,各处理土壤温度为土表、5cm 和 10cm 土温的平均值。从图 5 可知,CK、早施 DCD、缓施 DCD 及晚施 DCD 处理土温的变化趋势基本一致,烤田期及复水期(水稻移栽后 30~62d)土壤温度较高(22.64~33.96℃)。水稻生长期 N_2O 的排放峰值伴随土壤温度的峰值出现(图 1、图 5)。相关性分析表明,水稻生长期 N_2O 排放通量与土壤温度呈显著正相关;而 CH_4 排放通量与土壤温度无显著相关性(表 1)。可见,无论施加 DCD 与否,土壤 Eh 受水分变化而变化,成为限制 CH_4 产生排放的主控因子, CH_4 排放通量的变化只受土壤 Eh,而不受土壤温度的显著影响;土壤温度是影响稻田土壤 N_2O 产生排放的主要因素。

3 结论与讨论

3.1 结论

水稻生长期施入硝化抑制剂 DCD 能同时降低 CH_4 和 N_2O 的排放,DCD 施入时间不同对 CH_4 和 N_2O 排放

的影响不同。烤田前持续淹水阶段 CH_4 产生排放量较高,DCD 与基肥混施能有效降低 21.41% CH_4 排放量; N_2O 的产生排放集中在烤田期及随后复水期,分蘖肥后、烤田开始前施入 DCD 能显著降低 30.30% 的 N_2O 排放量,同时降低 5.24% 的 CH_4 排放量;晚施 DCD 对 CH_4 和 N_2O 排放的影响不大。此外,土壤温度是影响水稻生长期 N_2O 排放的另一主要因素, CH_4 排放通量与土壤 Eh 呈显著负相关($p < 0.01$)。

表 1 CH_4 和 N_2O 排放通量与土壤 Eh、土壤温度的相关性分析

Table 1 CH_4 and N_2O fluxes and correlation analyses between CH_4 and N_2O emissions and soil Eh, soil temperature

处理 Treatments	CH_4			N_2O		
	通量 Flux ($\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$)	通量-土壤 Eh Flux-Soil Eh	通量-土温 Flux-Temperature	通量 Flux ($\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$)	通量-土壤 Eh Flux-Soil Eh	通量-土温 Flux-Temperature
CK	$0.95 \pm 0.04\text{a}$	-0.510 **	0.212	$155.67 \pm 8.01\text{a}$	0.098	0.468 **
早施 DCD	$0.75 \pm 0.03\text{c}$	-0.443 **	0.197	$143.24 \pm 6.24\text{b}$	0.032	0.470 **
缓施 DCD	$0.87 \pm 0.06\text{b}$	-0.512 **	0.189	$108.50 \pm 7.52\text{c}$	0.020	0.400 **
晚施 DCD	$0.94 \pm 0.05\text{a}$	-0.449 **	0.118	$153.24 \pm 9.21\text{a}$	0.078	0.425 **

* * 表示在 $p = 0.01$ 水平上的显著相关性 Correlation is significant at the 0.01 level

同一列不同字母表示 0.01 水平差异显著性(LSD 法) Different letters after numerical values indicated significant at 1% level (LSD)

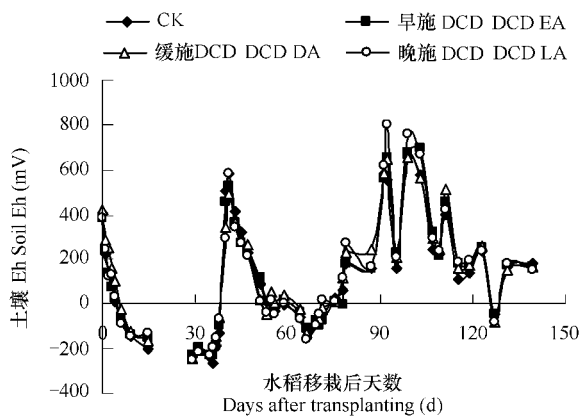


图 4 水稻生长期土壤 Eh 的季节变化

Fig. 4 Seasonal variations of soil Eh during rice growth period

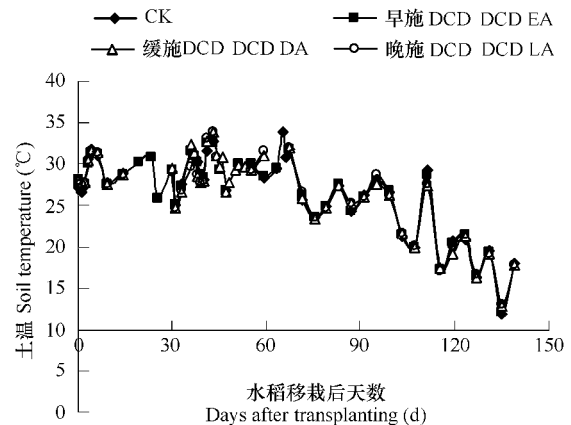


图 5 水稻生长期土壤温度的季节变化

Fig. 5 Seasonal variations of soil temperature during rice growth period

3.2 讨论

N_2O 是通过土壤中硝化和反硝化两个主要的微生物过程生成的,而 CH_4 是极端还原条件下产 CH_4 菌活动的产物。水稻是喜铵作物,土壤中施加硝化抑制剂可以使施入氮源能够较长时间以 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的形态存在,供作物吸收利用。水稻移栽后、中期烤田前持续淹水抑制土壤的硝化作用,移栽前施入的 DCD 在这段时间(30d 左右)基本不能发挥作用。与不施 DCD 相比,早施 DCD 对水稻生长期 N_2O 排放几乎无影响,但使 CH_4 排放略微降低(图 1)。稻田中期烤田期间土壤中存在大量的 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和 $\text{NO}_3^- - \text{N}^{[14]}$,为硝化反硝化反应提供基础,此时施入 DCD 能有效抑制 N_2O 产生排放。前人研究发现,DCD 在土壤中的有效时间大约为 6 周^[15],而且起初阶段 DCD 活性较好,随着时间的推移,其效果逐渐下降^[16,17]。随着作物对土壤中氮素的吸收及硝化反硝化的进行,土壤中缺少氮源,晚施 DCD 即使其活性较高也不能抑制稻田土壤 N_2O 的排放。

硝化抑制剂的作用效果受土壤类型、施肥种类及施氮量、硝化抑制剂施用量、土壤温度及土壤水分等综合因素的影响。其他研究发现,旱地砂壤土中施入 DCD 能减少 40% 的 N_2O 排放,湿润的粘质土条件下几乎无抑制效果^[18],而本试验土壤以砂粒和粉粒为主(占 75.5%),通透性较好。也有人指出,DCD 施用量为 15% 尿素施氮水平下,DCD 与尿素混施能降低 43% 的 N_2O 排放量^[15];DCD 施用量降为尿素施氮量 10% 时,DCD

与尿素混施却能减少 52% 的 N_2O 排放量^[19]。本试验条件下,DCD 施用量仅为尿素施氮量的 4%,且水稻生长期土壤经历充分烤田且 DCD 施用时的土壤温度不同,这些因素都影响稻田土壤 CH_4 和 N_2O 的排放。推迟硝化抑制剂(DCD)施用时间至水分剧烈变化的烤田前能显著降低 N_2O 的排放而有效降低 CH_4 排放,为完善稻田水肥管理、控制温室气体排放提供科学依据。

References:

- [1] IPCC. Climate Change 2001: The Science Basis: Chapter 4. Atmosphere Chemistry and Greenhouse Gases. Cambridge: Cambridge University Press UK, 2001.
- [2] Cruzen P J. Atmospheric chemical processes of the oxides of nitrogen including nitrous oxide. In: Delwiche, C. C. ed. Denitrification, nitrification and atmospheric nitrous oxide. Wiley, New York, 1991, 17—44.
- [3] FAO, IAEA. Measurement of methane and nitrous oxide emissions from agriculture. A joint undertaking by the food and agriculture organization of the united nations and international atomic energy agency. Vienna: International Atomic Energy Agency, 1992. 5—6.
- [4] Sun A W, Shi Y L, Zhang D S, *et al.* Application of nitrification/urease inhibitor in agriculture. Chinese Journal of Soil Science, 2004, 35 (3): 357—361.
- [5] Huang Z Y, Feng Z W, Zhang D S, *et al.* Research progress of nitrification inhibitors applied in agriculture. Chinese Journal of Soil Science, 2002, 33(4): 310—315.
- [6] Huang Z Y, Feng Z W, Zhang F Z. Application of nitrapyrin in agriculture and environmental protection. Soil and Environmental Sciences, 2001, 10(4): 323—326.
- [7] Bharati K, Mohanty S R, Padmavathi P V L, *et al.* Influence of six nitrification inhibitors on methane production in a flooded alluvial soil. Nutr. Cycl. Agroecosyst, 2000, 58: 389—394.
- [8] Amberger A. Research on dicyandiamide as a nitrification inhibitor and future outlook. Commun. in Soil Sci. Plant Anal., 1989, 20: 1993—1995.
- [9] Chen L J, Boeckx P, Zhou L K, *et al.* Effect of hydroquinone, dicyandiamide and encapsulated calcium carbide on urea-N uptake by spring wheat, soil mineral N content and N_2O emission. Soil Use and Management, 1998, 14: 220—233.
- [10] Yang C X, Li Y M. Nitrification inhibition of dicyandiamide on urea in the red soil of different textures. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2006, 14(2): 111—113.
- [11] Boeckx P, Xu X K, Van Cleemput O. Mitigation of N_2O and CH_4 emission from rice and wheat cropping systems using dicyandiamide and hydroquinone. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2005, 72: 41—49.
- [12] Weiske A, Benckiser G, Herbert T, *et al.* Influence of the nitrification inhibitor 3,4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP) in comparison to dicyandiamide (DCD) on nitrous oxide, carbon dioxide fluxes and methane oxidation during 3 years of repeated application in field experiments. Biol Fertil Soils, 2001, 34: 109—117.
- [13] Xu X K, Boeckx P, Oswald Van Cleemput, *et al.* Urease and nitrification inhibitors to reduce emissions of CH_4 and N_2O in rice production. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2002, 64: 203—211.
- [14] Li X L, Xu H, Cao J L, *et al.* Effect of water management on N_2O emission during rice growth period. Soils, 2006, 38(6): 703—707.
- [15] Majumdar D, Kumar S, Pathak H, *et al.* Reducing nitrous oxide emission from an irrigated rice field of North India with nitrification inhibitors. Agriculture Ecosystem&Environment, 2000, 81: 163—169.
- [16] Majumdar D, Dutta A, Kumar S, *et al.* Mitigation of N_2O emission from an alluvial soil by application of Karanjin. Biol Fertil Soils, 2001, 33: 438—442.
- [17] Joseph P A, Prasad R. The effect of dicyandiamide and neem cake on the nitrification of urea derived ammonium under field condition. Biol Fertil Soil, 1993, 15: 149—152.
- [18] Skiba U, Smith K A, Fowler D. Nitrification and denitrification as sources of nitric oxide and nitrous oxide in a sandy loam soil. Soil Biol. Biochem, 1993, 11: 1527—1536.
- [19] Mosier A R, Duxbury J M, Freney J R, *et al.* Nitrous oxide emissions from agricultural fields: assessment, measurement and mitigation. Plant and Soil, 1996, 181: 95—108.

参考文献:

- [4] 孙爱文, 石元亮, 张德生, 等. 硝化/脲酶抑制剂在农业中的应用. 土壤通报, 2004, 35 (3): 357~361.
- [5] 黄益宗, 冯宗炜, 王效科, 等. 硝化抑制剂在农业上应用的研究进展. 土壤通报, 2002, 33 (4): 310~315.
- [6] 黄益宗, 冯宗炜, 张福珠. 硝化抑制剂硝基吡啉在农业和环境保护中的应用. 土壤与环境, 2001, 10(4): 323~326.
- [10] 杨春霞, 李永梅. 双氰胺对不同质地红壤中尿素的硝化抑制作用研究. 中国生态农业学报, 2006, 14(2): 111~113.
- [14] 李香兰, 徐华, 曹金留, 等. 水分管理对水稻生长期 N_2O 排放的影响. 土壤, 2006, 38(6): 703~707.