

氢醌和双氰胺对种稻土壤 N_2O 和 CH_4 排放的影响^{*}

周礼恺^{**} 徐星凯 陈利军 李荣华 (中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110015)

O. Van Cleemput (比利时根特大学农学与应用生物学院, B-9000 Gent)

【摘要】 通过盆栽试验,研究了脲酶抑制剂氢醌(HQ)、硝化抑制剂双氰胺(DCD)及二者的组合(HQ + DCD)对种稻土壤 N_2O 和 CH_4 排放的影响。结果表明,在未施麦秸粉时,所有施抑制剂的处理均较单施尿素的能显著减少水稻生长期供试土壤 N_2O 和 CH_4 的排放。特别是 HQ + DCD 处理,其 N_2O 和 CH_4 排放总量分别约为对照的 1/3 和 1/2。而在施麦秸粉后,该处理的 N_2O 排放总量为对照的 1/2,但 CH_4 排放总量却较少差别。不论是 N_2O 还是 CH_4 的排放总量,施麦秸粉的都比未施的高出 1 倍和更多。因此,单从土壤源温室气体排放的角度看,将未腐熟的有机物料与尿素共施,并不是一种适宜的施肥制度。供试土壤的 N_2O 排放通量,与水稻植株的 NO_3^- -N 含量和土表水层中的矿质 N 量分别呈显著的指数正相关和线性正相关; CH_4 的排放通量则与水稻植株的生长量和土表水层中的矿质 N 量呈显著的线性负相关。在 N_2O 与 CH_4 的排放间,未施麦秸粉时存在着定量的相互消长关系;施麦秸粉后,虽同样存在所述关系,但难以量化。

关键词 氢醌 双氰胺 氧化亚氮 甲烷 稻田生态系统

Effect of hydroquinone and dicyandiamide on N_2O and CH_4 emissions from lowland rice soil. Zhou Likai, Xu Xingkai, Chen Lijun and Li Ronghua (Institute of Applied Ecology, Academia Sinica, Shenyang 110015), Oswald Van Cleemput (Faculty of Agricultural and Applied Biological Science, University of Ghent, B-9000 Gent, Belgium). -Chin. J. Appl. Ecol., 1999, 10(2): 189 ~ 192.

Through pot experiments, this paper studied the effect of urease inhibitor hydroquinone (HQ), nitrification inhibitor dicyandiamide (DCD) and their combination (HQ + DCD) on the N_2O and CH_4 emissions from a lowland rice soil. The results show that with no wheat straw powder amended, all treatments with inhibitors significantly reduced the N_2O and CH_4 emissions during rice growth, as compared with the treatment only urea applied. Especially for treatment HQ + DCD, its total amount of N_2O and of CH_4 emission was about 1/3 and 1/2 of the control, respectively; while with wheat straw powder amended, the total N_2O emission of this treatment was 1/2 of the control, but that of CH_4 emission had less difference. Wheat straw powder amendment induced one times and more emissions of N_2O and CH_4 than no its application, and hence, even only from the standpoint of diminishing soil source greenhouse gases emission, applying unmaturred composted organic materials with urea is an inappropriate fertilization system. The N_2O flux from this soil had a significant positive exponential relationship with the NO_3^- -N content of rice plant and a significant positive linear relationship with the mineral N content in soil surface waterlayer, while CH_4 flux had a significant negative linear relationship both with the growth rate of rice plant and with the mineral N content in soil surface waterlayer. There existed a quantitative trade-off between N_2O and CH_4 emission in case of no wheat straw powder incorporated, while with its amendment, the trade-off still existed, but hard to quantify.

Key words Hydroquinone, Dicyandiamide, N_2O , CH_4 , Lowland rice field ecosystem.

1 引言

N_2O 和 CH_4 是两种重要的温室气体。施肥不当是导致这两种气体从土壤中排放增多的一个重要原因。尿素是我国农民广泛使用的氮肥品种;作物秸秆也在一定程度上用作有机肥料。它们对土壤 N_2O 和 CH_4 的排放都有一定的贡献。我们曾对脲酶抑制剂氢醌与硝化抑制剂双氰胺及其组合对土壤尿素 N 转化和 N_2O 排放的影响进行过系统研究^[1~3,5],鉴于 CH_4 的生成与排放亦不同程度地与土壤 N 素转化有关,本文在先前工作的基础上以种稻土壤为供试对象,研究所述抑制剂及其组合对施有尿素和麦秸粉时土壤 N_2O 和

CH_4 排放的影响,为土壤源 N_2O 和 CH_4 的减排提供一条有效的土壤生物化学途径。

2 材料与方法

供试土壤采自比利时根特大学农业试验站,粘粒 8.9%,粉粒 14.9%,砂粒 76.2%,总 N 0.15%,有效 N 16.7mg·kg⁻¹,有机 C 1.75%,C/N 11.7,pH(H₂O) 7.56。土样经风和过 2mm 筛后,每盆装入 2.0kg,并施入 1.0g K₂HPO₄ 和 2.0g 尿素作基肥。淹水 1d 后,选取 7 棵苗龄 20d 的健壮水稻幼苗植入盆内。盆栽试验分两组,一组不施麦秸粉,设 4 个处理:尿素(CK),尿素 +

* 中-比国际合作研究项目。

** 通讯联系人。

1998-11-10 收稿,1999-01-18 接受。

氢脲(HQ),尿素+双氰胺(DCD)及尿素+氢脲+双氰胺(HQ+DCD);另一组施 10g/盆风干麦秸粉(含 C 量为 40.5%),仅设两个处理:CK 和 HQ+DCD.氢脲和双氰胺是在尿素作基肥时与之混施,其用量分别为尿素的 0.3%和 1%(w/w).所有处理均为 15 次重复.在整个试验期间,土表始终保持 2mm 水层.

不定期地将圆柱型 PVC 采气桶罩住试验盆钵,1h 后用 10ml 真空管采集种稻土壤排放的气体,用气相色谱法测定其中的 N_2O [6] 和 CH_4 [8] 含量,同时测定土表水层中的 NH_4^+-N 和 $NO_3^- -N$ 量 [7],水稻地上部的生物量及其 $NO_3^- -N$ 含量 [10].

3 结果与讨论

3.1 土壤 N_2O 和 CH_4 排放的动态变化与总量

从图 1 可见,在未施麦秸粉时,种稻土壤的 N_2O 排放随水稻生长呈减少的趋势,唯 HQ+DCD 处理基本保持平稳.所有施抑制剂的处理,其 N_2O 的排放量均比单施尿素的低,且以 HQ+DCD 最为明显.这与先前室内模拟与盆栽试验的结果相吻合 [1,2,5].就水稻生长期 N_2O 的排放总量而言(表 1),施抑制剂的处理均较低,HQ+DCD 处理不及对照的 1/3.

表 1 水稻生长期土壤 N_2O 和 CH_4 的排放总量

处 理 Treatment	N_2O 排放总量 Total amount of N_2O emission ($mg\ pot^{-1}$)	CH_4 排放总量 Total amount of CH_4 emission ($mg\ pot^{-1}$)
	未施麦秸粉 No wheat straw powder incorporated	未施麦秸粉 No wheat straw powder incorporated
	施麦秸粉 Wheat straw powder incorporated	施麦秸粉 Wheat straw powder incorporated
CK	17.25(2.07) a	35.26(4.13) a
HQ	13.20(1.13) b	132.97(10.7) b
DCD	9.14(0.76) c	89.22(7.9) c
HQ+DCD	6.51(0.63) d	17.61(1.63) b

括号内数字为标准差;同样字母为差异未达显著水平. Values between brackets represent standard error of the mean; Values followed by the same letter in each column are not significantly different ($p < 0.05$).

施麦秸粉后(图 1),在水稻移植后的前 30d 内, N_2O 的排放随时间而减少,但至第 50 天时却显著增多.这种有别于未施麦秸粉时的情况,看来与麦秸粉在土壤中的腐殖化-矿化过程及与其有关的土壤 N 素周转有一定关系.在这里, HQ+DCD 处理同样表现出良好作用,该处理的 N_2O 排放总量为对照的一半(表 1).

需要指出的是,与相应对照和 HQ+DCD 处理相比,施麦秸粉时 N_2O 的排放总量均比未施的高出 1 倍以上.看来,仅就减少 N_2O 排放而言,将未腐熟的有机物料与尿素共施,并不是一种很好的施肥制度.

从图 2 可见,未施麦秸粉时,水稻生长期土壤 CH_4 排放与 N_2O 不同,在这里, CH_4 的排放是随水稻生长而增多,并在移植后第 50 天达最大值.施抑制剂的处理,特别是 DCD 和 HQ+DCD,与对照相比显著减少了 CH_4 的排放总量(表 1).

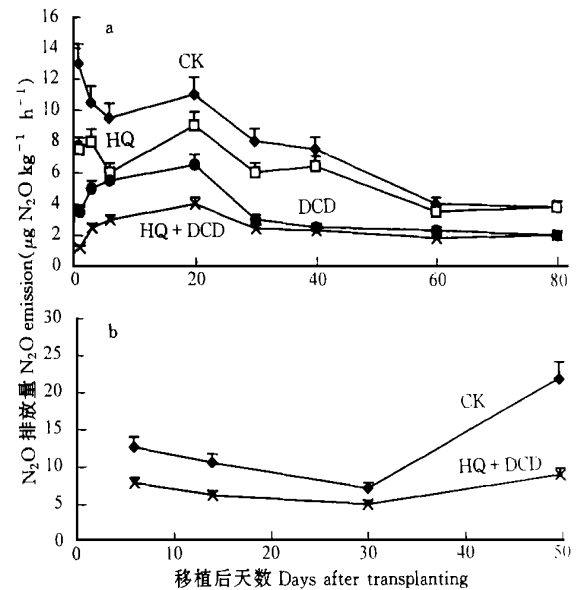


图 1 水稻生长期 N_2O 排放的动态变化

Fig. 1 Dynamics of soil N_2O emission during rice growth.

a) 未施麦秸粉 No wheat straw powder incorporated, b) 施麦秸粉 Wheat straw powder incorporated. 下同 The same below.

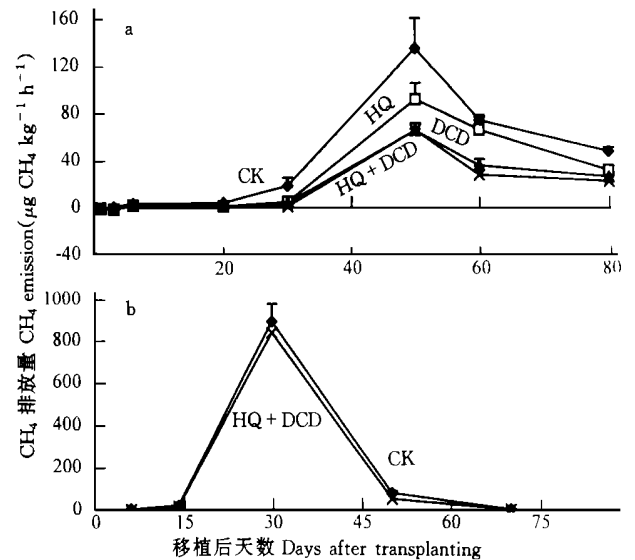


图 2 水稻生长期土壤 CH_4 排放的动态变化

Fig. 2 Dynamics of soil CH_4 emission during rice growth.

施麦秸粉后, CH_4 排放的动态变化基本上与未施麦秸粉的相似,并于水稻移植后的第 30 天达最大值.显然与麦秸粉的厌氧分解进入高峰期有关.与对照相比, HQ+DCD 处理并未减少 CH_4 的排放总量(表 1).

施用未腐熟的麦秸粉后,土壤 CH_4 排放量是未施麦秸粉的 4 倍多(CK)和 10 倍(HQ+DCD).因此,从减少农田生态系统 CH_4 排放的角度来看,有机物料未经腐熟便施入田间,同样是不合适的.

3.2 水稻植株生长量和 $NO_3^- -N$ 含量与土壤 N_2O 和 CH_4 排放的关系

从图 3 可见,DCD 和 HQ+DCD 处理的水稻植株生长量,在整个试验期间均显著大于 CK 和 HQ 处理;

而 NO_3^- -N 含量则相反(图 4)。回归分析表明, 土壤 N_2O 排放量与水稻植株的 NO_3^- -N 含量呈显著指数相关(图 5); CH_4 排放量与生长量呈线性负相关($Y = 395.97 - 3.87X$, $R^2 = 0.95$, $p < 0.05$)。看来, 植株排放 N_2O 是其 N 代谢不正常的结果。我们先前的研究表明, 配施抑制剂能调节土壤中的 NH_4^+ -N 和 NO_3^- -N 的比例^[5]; 本研究发现, 配施抑制剂时, 植株生长得到了改善, 体内 NO_3^- -N 含量显著减少, 土壤 N_2O 排放量也随之降低。至于 CH_4 排放量与生长量间的负相关, 一个重要的原因, 应是随着水稻的生长, 根际微域的甲烷

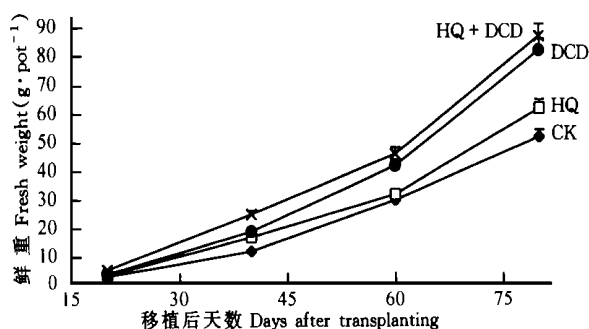


图 3 水稻地上部分鲜重动态变化

Fig. 3 Dynamics of aboveground fresh weight of rice with time.

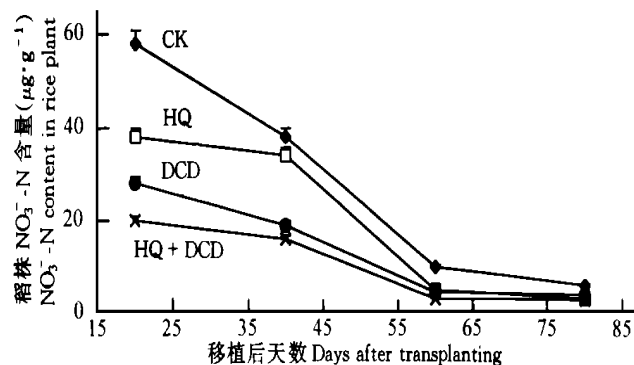


图 4 水稻植株的 NO_3^- -N 含量

Fig. 4 NO_3^- -N content in rice plant.

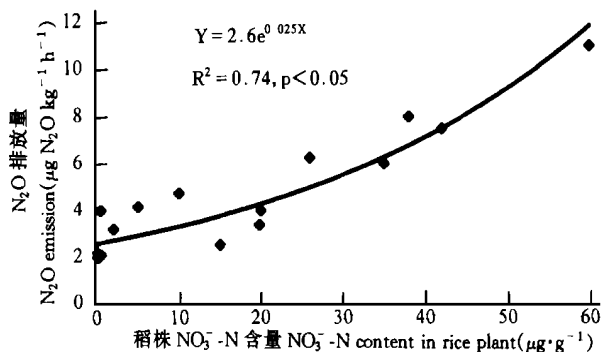


图 5 稻田 N_2O 排放量与水稻植株的 NO_3^- -N 含量

Fig. 5 N_2O emission from lowland rice soil vs. NO_3^- -N content in rice plant.

氧化潜势不断地得到了增强。

3.3 稻田水层中矿质 N 量与土壤 N_2O 与 CH_4 排放的关系

稻田水层中的矿质 N 量, 可在一定程度上表征土中 N 素的氨化作用和硝化-反硝化作用的强度; 与稻田 N_2O 和 CH_4 排放也存在一定的联系, 逐步回归分析显示:

$$Y_{\text{N}_2\text{O}} = 2.50 + 0.39 X_1(\text{NH}_4^+-\text{N}) + 0.82 X_2(\text{NO}_3^--\text{N})$$

$$R^2 = 0.52, p < 0.01,$$

$$Y_{\text{CH}_4} = 47.78 - 13.68 X_1(\text{NH}_4^+-\text{N}) - 5.55 X_2(\text{NO}_3^--\text{N})$$

$$R^2 = 0.63, p < 0.01,$$

这表明, 在 N_2O 的排放中, 水层中的 NO_3^- -N 含量较之 NH_4^+ -N 量有更大的贡献; 而在 CH_4 的排放中则相反。为此, 很好调节土壤中的 NH_4^+ -N 与 NO_3^- -N 的比例, 致使硝化-反硝化作用潜势削弱, 甲烷氧化作用潜势增强, 能同时减少稻田 N_2O 和 CH_4 的排放。

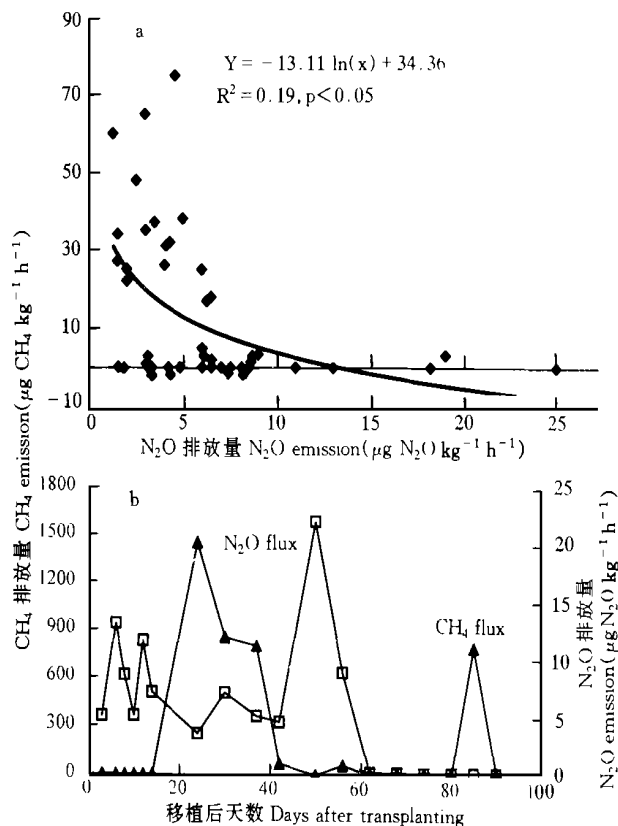


图 6 稻田 N_2O 和 CH_4 排放间的消长关系

Fig. 6 Trade-off between N_2O and CH_4 emission from lowland rice soil.

3.4 土壤 N_2O 和 CH_4 排放的消长关系

已有研究指出, 稻田土壤 N_2O 和 CH_4 排放间存在着消长关系^[4]。这是因为自养硝化菌和甲烷氧化菌处于相似的生境, 并竞争 O_2 、 CH_4 和 NH_3 ; 且前者的氨一氧化酶和后者的甲烷一氧化酶对底物的专性都较弱,

从而能竞争在形状和大小上相似的底物氨和 CH_4 (它们都是四面体, Van der Waals 半径分别为 29.7 和 31.3 nm)^[9]. 然而, 这种消长关系至今很少定量描述.

本项研究表明, 土壤 N_2O 和 CH_4 排放间, 在未施麦秸粉时呈现出显著对数负相关; 而在施有麦秸粉时, 二者间虽也存在消长关系, 但难以定量描述 (图 6), 这或许与麦秸粉厌氧分解时产生了大量的 CH_4 , 而土壤中矿质 N 被生物固持有关.

4 结 论

4.1 在未施麦秸粉时, 所有施抑制剂处理的 N_2O 排放量均比单施尿素的低, 且尤以 HQ + DCD 处理最为明显, 施麦秸粉后, 该处理的 N_2O 排放总量为对照的一半. 与相应对照和 HQ + DCD 处理相比, 施麦秸粉时的 N_2O 排放总量均比未施的高出 1 倍以上.

4.2 所有施抑制剂的处理, 特别是 DCD 和 HQ + DCD 两处理, 在未施麦秸粉时的 CH_4 排放总量比单施尿素的少一半; 在施有麦秸粉时则很少差别. 施麦秸粉后的土壤 CH_4 排放总量, 是未施麦秸粉的 4 倍多 (CK) 和 10 倍 (HQ + DCD).

4.3 稻田 N_2O 排放量与水稻植株 NO_3^- -N 量呈显著指数正相关; CH_4 排放量与生长量呈线性负相关. DCD 和 HQ + DCD 处理能显著减少水稻植株的 NO_3^- -N 含量和提高其生长量.

4.4 稻田 N_2O 和 CH_4 排放与稻田水层中矿质 N 量呈显著相关. 在 N_2O 的排放中, 水层中 NO_3^- -N 量较之 NH_4^+ -N 量有更大的贡献; 而在 CH_4 的排放中则相反.

4.5 在未施麦秸粉时, 稻田 N_2O 和 CH_4 排放间呈现出显著对数负相关; 而在施麦秸粉时, 这种消长关系虽仍存在, 但较难定量描述.

参考文献

- 1 史 奕、徐星凯、周礼恺等. 1998. 抑制剂及其组合对¹⁵N 在小麦-土壤系统中的行为和归宿的影响. 应用生态学报, 9(2): 168 ~ 170.
- 2 陈利军、史 奕、李荣华等. 1995. 脲酶抑制剂和硝化抑制剂的协同作用对尿素氮转化和 N_2O 排放的影响. 应用生态学报, 6(4): 368 ~ 372.
- 3 周礼恺、赵晓燕、李荣华等. 1992. 脲酶抑制剂氢醌对土壤尿素氮转化的影响. 应用生态学报, 3(1): 36 ~ 41.
- 4 Bowman, A. F. (ed.). 1990. Soil and The Greenhouse Effect. John Wiley and Sons.
- 5 Chen L. J., Boeckx, P., Zhou L. K. et al. 1998. 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, 14: 230 ~ 233.
- 6 Van Cleemput, O., Vermoesen, A. and De Groot, C. J. 1995. Emission of N_2O out of different soils and cropping systems. In: China - EC workshop on greenhouse gases. pp. 73 ~ 82. Shenyang, September 11 ~ 20, 1994.
- 7 Page, A. L. 1982. Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties. Second Edition. pp. 643 ~ 687. America Society of Agronomy, Inc., Madison, Wisconsin, USA.
- 8 Pascal, B., Van Cleemput, O. and Villaralvo, I. D. A. 1996. Methane emission from a landfill and the methane oxidising capacity of its covering soil. Soil Bio. Biochem., 28(10/11): 1397 ~ 1405.
- 9 Scharpenseel, H. W. et al. (eds.). 1990. Soil on a Warming Earth. Elsevier.
- 10 Singh, J. P. 1988. A rapid method for determination of nitrate in soil and plant extracts. Plant and Soil, 110: 137 ~ 139.

作者简介 周礼恺, 男, 65 岁, 研究员, 博士生导师, 主要从事土壤肥力学、土壤生物化学与土壤酶学研究, 在国内外学术刊物上发表论文 60 余篇, 出版专著 5 部 (合著 4 部), 译著 7 部.