

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

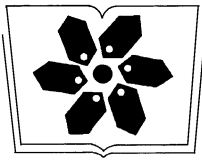
Acta Ecologica Sinica



第31卷 第23期 Vol.31 No.23 **2011**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 31 卷 第 23 期

2011 年 12 月 (半月刊)

目 次

不同海拔高度高寒草甸光能利用效率的遥感模拟·····	付 刚,周宇庭,沈振西,等 (6989)
天山雪岭云杉大气花粉含量对气温变化的响应·····	潘燕芳,阎 顺,穆桂金,等 (6999)
春季季风转换期间孟加拉湾的初级生产力·····	刘华雪,柯志新,宋星宇,等 (7007)
降水量对川西北高寒草甸牦牛粪分解速率的影响 ·····	吴新卫,李国勇,孙书存 (7013)
基于 SOFM 网络对黄土高原森林生态系统的养分循环分类研究·····	陈 凯,刘增文,李 俊,等 (7022)
不同油松种源光合和荧光参数对水分胁迫的响应特征 ·····	王 琰,陈建文,狄晓艳 (7031)
盐生境下硅对坪用高羊茅生物学特性的影响 ·····	刘慧霞,郭兴华,郭正刚 (7039)
高温胁迫对不同种源希蒙得木叶片生理特性的影响·····	黄激激,张念念,胡庭兴,等 (7047)
黄土高原水土保持林对土壤水分的影响 ·····	张建军,李慧敏,徐佳佳 (7056)
青杨雌雄群体沿海拔梯度的分布特征·····	王志峰,胥 晓,李霄峰,等 (7067)
大亚湾西北部春季大型底栖动物群落特征·····	杜飞雁,林 钦,贾晓平,等 (7075)
湛江港湾浮游桡足类群落结构的季节变化和影响因素·····	张才学,龚玉艳,王学锋,等 (7086)
台湾海峡鲈鱼种群遗传结构·····	张丽艳,苏永全,王航俊,等 (7097)
洱海入湖河流弥苴河下游氮磷季节性变化特征及主要影响因素·····	于 超,储金宇,白晓华,等 (7104)
转基因鱼试验湖泊铜锈环棱螺种群动态及次级生产力·····	熊 晶,谢志才,蒋小明,等 (7112)
河口湿地植物活体-枯落物-土壤的碳氮磷生态化学计量特征 ·····	王维奇,徐玲琳,曾从盛,等 (7119)
EDTA 对铅锌尾矿改良土壤上玉米生长及铅锌累积特征的影响 ·····	王红新,胡 锋,许信旺,等 (7125)
不同包膜控释尿素对农田土壤氮挥发的影响·····	卢艳艳,宋付朋 (7133)
垄作栽培对高产田夏玉米光合特性及产量的影响·····	马 丽,李潮海,付 景,等 (7141)
DCE 不同施用时间对小麦生长期 N ₂ O 排放的影响 ·····	纪 洋,余 佳,马 静,等 (7151)
氮肥、钙肥和盐处理在冬小麦融冻胁迫适应中的生理调控作用 ·····	刘建芳,周瑞莲,赵 梅,等 (7161)
东北有机及常规大豆对环境影响的寿命周期评价 ·····	罗 燕,乔玉辉,吴文良 (7170)
土壤施硒对烤烟生理指标的影响·····	许自成,邵惠芳,孙曙光,等 (7179)
不同种植方式对花生田间小气候效应和产量的影响·····	宋 伟,赵长星,王月福,等 (7188)
西花蓟马的快速冷驯化及其生态学代价·····	李鸿波,史 亮,王建军,等 (7196)
温度对麦长管蚜体色变化的影响·····	邓明明,高欢欢,李 丹,等 (7203)
不同番茄材料对 B 型烟粉虱个体发育和繁殖能力的影响 ·····	高建昌,郭广君,国艳梅,等 (7211)
基于生态系统受扰动程度评价的白洋淀生态需水研究·····	陈 贺,杨 盈,于世伟,等 (7218)
两种典型养鸡模式的能值分析 ·····	胡秋红,张力小,王长波 (7227)
四种十八碳脂肪酸抑藻时-效关系分析的数学模型设计 ·····	何宗祥,张庭廷 (7235)
流沙湾海草床重金属富集特征·····	许战州,朱艾嘉,蔡伟叙,等 (7244)
基于 QuickBird 的城市建筑景观格局梯度分析 ·····	张培峰,胡远满,熊在平,等 (7251)
景观空间异质性及城市化关联——以江苏省沿江地区为例·····	车前进,曹有挥,于 露,等 (7261)
基于 CVM 的太湖湿地生态功能恢复居民支付能力与支付意愿相关研究·····	于文金,谢 剑,邹欣庆 (7271)
专论与综述	
北冰洋海域微食物环研究进展·····	何剑锋,崔世开,张 芳,等 (7279)
城市绿地的生态环境效应研究进展·····	苏泳娴,黄光庆,陈修治,等 (7287)
城市地表灰尘中重金属的来源、暴露特征及其环境效应 ·····	方凤满,林跃胜,王海东,等 (7301)
研究简报	
三峡库区杉木马尾松混交林土壤 C、N 空间特征 ·····	林英华,汪来发,田晓堃,等 (7311)
广州小斑螟发生与环境因子的关系·····	刘文爱,范航清 (7320)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 336 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 39 * 2011-12



封面图说:黄河的宁夏段属于中国的半荒漠地区,这里气候干燥、降水极少(250mm 以下)、植被缺乏、物理风化强烈、风力作用强劲、其蒸发量超过降水量数十倍。人们从黄河中提水引水灌溉土地,就近形成了荒漠中的绿洲。有水就有生命,有水就有绿色。这种独特的条件形成了人与沙较量的生态关系——不是人逼沙退就是沙逼人退。

彩图提供:陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

纪洋,余佳,马静,李小平,徐华,蔡祖聪. DCD 不同施用时间对小麦生长期 N_2O 排放的影响. 生态学报, 2011, 31(23): 7151-7160.

Ji Y, Yu J, Ma J, Li X P, Xu H, Cai Z C. Effect of timing of DCD application on nitrous oxide emission during wheat growing period. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(23): 7151-7160.

DCD 不同施用时间对小麦生长期 N_2O 排放的影响

纪 洋^{1,2}, 余 佳^{1,2}, 马 静¹, 李小平¹, 徐 华^{1,*}, 蔡祖聪¹

(1. 土壤与农业可持续发展国家重点实验室 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要:通过田间试验,采用静态箱法研究相同施肥条件下,DCD 不同施用时间(基肥配施,追肥配施,基追肥按比例配施)对麦季 N_2O 排放的影响。结果表明,小麦生长期施肥配施 DCD 减少麦季 N_2O 排放。从小麦整个生长季来看,与尿素处理相比,基肥配施减少 N_2O 排放 21%,追肥配施减少 N_2O 排放 26%,基追肥按比例配施减少 N_2O 排放 35%,方差分析均达显著水平($P<0.05$),其中基肥配施主要减少小麦播种-返青期 N_2O 排放,追肥配施主要减少小麦返青-成熟期 N_2O 排放,而基追肥按比例配施 DCD 减少整个小麦生长期 N_2O 排放。在小麦的整个生长阶段,施加 DCD 处理的土壤 NH_4^+-N 浓度和表观硝化率均高于未施加 DCD 的处理,且土壤 NH_4^+-N 浓度随时间的延长而降低。在小麦播种-返青期,基肥配施处理和基追肥按比例配施处理土壤 NH_4^+-N 浓度和表观硝化率高于追肥配施处理和对照处理;在小麦的返青-成熟期,追肥配施处理和基追肥按比例配施处理土壤 NH_4^+-N 浓度和表观硝化率高于基肥配施处理和对照处理。从小麦产量来看,与尿素处理相比,基肥配施和基追肥按比例配施显著增加小麦产量,而追肥配施处理小麦产量无显著性差异。基追肥按比例配施 DCD 在提高小麦产量的同时显著减少 N_2O 排放,具有大田推广的现实意义;基肥与追肥配施 DCD 对 N_2O 减排效果除了与施用时间有关外,还应将降雨或灌溉量的年际变化考虑在内。

关键词:DCD;施用时间; N_2O 排放;麦季

Effect of timing of DCD application on nitrous oxide emission during wheat growing period

Ji Yang^{1,2}, Yu Jia^{1,2}, Ma Jing¹, Li Xiaoping¹, Xu Hua^{1,*}, Cai Zucong¹

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

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

Abstract: A field experiment was conducted to study effect of timing of application of dicyandiamide (DCD) on N_2O emission from the wheat cropping system. Four treatments, including CK (the control with urea alone), DCD-B (application of DCD together with basal fertilizer), DCD-T (application of DCD with the top dressing fertilizer) and DCD-BT (application of DCD with basal fertilizer and the top dressing, respectively), were designed and implemented separately during the wheat growing period. Results indicate that compared with CK, application of DCD inhibited N_2O emission, which was reduced by 21%, 26% and 35%, respectively, from Treatments DCD-B, DCD-T and DCD-BT ($P<0.05$). It was observed mainly during the sowing-greening stage in Treatment DCD-B, during the greening-maturing stage in Treatment DCD-T, and during the whole wheat-growing stage in Treatment DCD-BT. From seasonal variation of N_2O flux during the wheat-growing period, compared with CK, the first max-fluxes N_2O emission (16d after applying basal fertilizers) were significantly decreased from Treatments DCD-B and DCD-BT; the second was significantly reduce from Treatments DCD-T ($P<0.05$). Soil NH_4^+-N contents and apparent nitrification rate of NH_4^+-N in soil were higher in treatments treated with DCD than in the treatment without DCD. Moreover, the soil NH_4^+-N contents decreased with the time

基金项目:国家自然科学基金项目((40971154,40921061));中国科学院知识创新方向项目群资助项目(KZCX2-YW-Q1-07)

收稿日期:2010-10-22; **修订日期:**2010-12-14

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

elapsing. During the sowing-greening stage, soil $\text{NH}_4^+\text{-N}$ contents and apparent nitrification rate of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ in soil were higher in Treatments DCD-B and DCD-BT than in Treatments DCD-T and CK; and during the greening-maturing stage, in Treatments DCD-T and DCD-BT than in Treatments DCD-B and CK. Compared with CK, Treatments DCD-B and DCD-BT increased significantly in grain yield ($P<0.05$), while Treatment DCD-T did not differ much ($P>0.05$). Based on these findings, the application of DCD with basal fertilizer and the top dressing respectively (Treatment DCD-BT) has the highest N_2O emission inhibiting efficiency and is the best management practice for DCD application for mitigating greenhouse gas emission from the wheat system, as the method reduces N_2O emission from the wheat system while increasing wheat yield; the effect of Treatment DCD-B or Treatment DCD-T on N_2O emission in the wheat system is influenced not only by timing of DCD application, but also by interannual variation of precipitation and irrigation. The results suggest that in the cropping systems with irrigation, the best application method of DCD is the application of DCD with basal fertilizer and the top dressing respectively (Treatment DCD-BT); in the cropping systems with no irrigation, if there is no condition to apply DCD with basal fertilizer and the top dressing respectively, application of DCD with basal fertilizer should be adopted in the area where the precipitation is heavier in winter than in spring, while application of DCD with the topdressing fertilizer should be adopted in the area where the precipitation is heavier in spring than in winter. According to interannual variation of precipitation and irrigation, different timing of DCD application has the highest inhibiting efficiency of inhibitors on N_2O emission during the wheat growing system.

Key Words: dicyandiamide; timing of application; N_2O emission; wheat system

N_2O 是《京都议定书》中规定需要减少排放的6种温室效应气体之一^[1],其浓度的增加不仅加剧了全球温室效应,而且导致臭氧层的破坏与地面紫外线辐射增强。根据IPCC第4次评估报告,2005年大气中 N_2O 浓度值已由工业革命前的约 $270\mu\text{L/L}$ 增至 $319\mu\text{L/L}$ ^[2]。土壤是大气中 N_2O 排放最大的源,几乎占其总排放量的65%^[3-4],其中农业土壤是最主要的来源^[5-6]。氮肥的大量施用是大气中 N_2O 排放量增加的最主要原因^[7-9],在全球范围内,估计农业土壤因施用化学氮肥而直接导致的 N_2O 排放量达36%^[10],对文献报道的田间实际测定数据进行统计分析表明,绝大部分农田 N_2O -N排放系数变化于0.1%—2.0%之间^[11]。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 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 形态存在,供作物吸收利用。这不仅提高肥效,而且减少 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 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^[12-14]。

与其他硝化抑制剂相比,双氢胺DCD具有较好的硝化抑制作用,并具有水可溶性、弱挥发性、降解完全性和在土壤中低于施氮量10%剂量时无毒性残留等优点,尤其是其经济高效性,使其具有大田推广的现实意义^[12]。国外大量研究^[15-17]表明旱地施用DCD可减少 N_2O 排放量,DCD的施用方法均是与肥料物理混合施用,而国内关于DCD对旱地 N_2O 排放影响的研究较少主要侧重于室内培养试验,鲜见大田试验报道。李香兰等^[18]研究了DCD不同施用时间对稻田 N_2O 的影响,研究结果表明,与基肥施入DCD处理相比,推迟硝化抑制剂(DCD)施入时间至硝化作用强烈的烤田期之前,即与分蘖肥混施,不但有效降低水稻生长期 N_2O 排放,而且显著提高水稻产量。同水稻生长期类似,在冬小麦生长期,氮肥常分次施用:基肥、返青肥,且 N_2O 的排放高峰期主要集中在氮肥施用后的较短时间内(1—2周)^[19]。Ghosh等^[20]指出,施用DCD对于减少稻田生态系统小麦生长季的 N_2O 排放作用大于水稻生长季。那么根据小麦生长期,不同时间施入DCD能否提高DCD对麦季 N_2O 的减排量呢?本文通过田间原位试验观测硝化抑制剂DCD不同时间施用下麦季 N_2O 排放通量,以进一步研究DCD施用对麦田 N_2O 排放的减排效果,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 试验设计和水肥管理

大田试验于 2009 年在江苏省句容市行香镇(31°58'N, 119°18'E)进行。试验土壤为发育于下蜀黄土的爽水性水稻土,土壤有机碳含量为 17.4 g/kg,全 N 含量为 1.1 g/kg。

小麦品种为扬麦 16 号,试验按当地农业管理方式进行。小麦于 2009 年 11 月 26 日播种,2010 年 6 月 18 日收割,整个生长期为 206 d。肥料的施用方式为:尿素施用量按当地常规施用量 270 kg N/hm²,分两次施用,60% 作为基肥,40% 作为追肥;所有处理磷钾肥分别为 450 kg/hm²的过磷酸钙和 225 kg/hm²的氯化钾,作为基肥一次性施入。基肥、返青肥分别于 2009 年 11 月 26 日、2010 年 3 月 10 日施用。

试验共设 4 个处理:① 对照处理(CK),不施 DCD,尿素施用量为 270 kg N/hm²;② 基肥配施处理(DCD-基),小麦播种前 DCD 与基肥混施,DCD 施入量为尿素总施用量的 3%,尿素施用量为 270 kg N/hm²;③ 基追肥按比例配施处理(DCD-全),DCD 分别与基肥追肥混施,DCD 施入量为尿素总施用量的 3%,尿素施用量为 270 kg N/hm²;④ 追肥配施处理(DCD-追),DCD 与追肥混施,DCD 施入量为尿素总施用量的 3%,尿素施用量为 270 kg N/hm²。小区面积为 12cm²(3 m × 4 m),每个处理 3 次重复,随机区组设计。

1.2 采样与测定

采用静态箱法测定稻田 N₂O 排放。将静态密闭箱(50 cm × 50 cm × 100 cm)放置在小麦播种前埋设在试验小区土壤中的塑料底座(50 cm × 50 cm × 15 cm)上,底座地上部分有 4 cm 宽、5 cm 深的水槽以便于密闭箱的放置和密封,底座埋入地下部分 15 cm 左右以防止试验小区内、底座外的水稻根系进入采样箱;采样时,密闭箱密封后,通过插进密封采样垫的双通针将箱内气体导入 18 mL 预先抽真空的玻璃瓶中,每 15 min 采样 1 次,共采 4 次,采样时间为 8:00—12:00。小麦生长季一般每周采样 1 次,施肥、降雨期间约 2—3 d 采 1 次,1—2 月低温期 10 d 采 1 次。

采样的同时,用数字温度计(Model 2455, Yokogawa, Japan)记录箱温及土温;采集 0—15 cm 的表层土,于 105℃ 下烘干至恒重,测定土壤水分。降雨期,取表层 0—15 cm 的土样,用 2 mol/L KCl 提取新鲜土样的 NO₃⁻-N 和 NH₄⁺-N,土水比 1:5,然后用 Skalar 流动分析仪测定。小麦收获时,按试验小区分别收割、脱粒、晾晒、适当筛除秕粒后称重,计算小麦产量。

样品 N₂O 浓度用岛津气相色谱(Shimadzu GC-12A, Kyoto, Japan)测定,检测器为⁶³Ni 电子捕获(ECD)检测器。色谱柱为 80/100 目 PorapakQ 填充柱,柱温 65℃,检测器温度为 300℃。以 95% 氩气+5% 甲烷作为载气,流速 40 mL/min。N₂O 标准气体均由日本国立农业环境技术研究所提供。

1.3 数据分析

$$N_2O \text{ 排放通量计算} \quad F = \rho \times V / A \times dc / dt \times 273 / (273 + T)$$

式中, F 为 N₂O 排放通量($\mu\text{g N} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$); ρ 为标准状态下 N₂O 密度(1.25 kg/m^3); V 为采气箱内有效空间体积(m^3); A 为采气箱覆盖的土壤面积(m^2); dc 为气体浓度差($\mu\text{L/L}$); dt 为时间间隔(h); T 为采样时箱温($^{\circ}\text{C}$)。

N₂O 排放通量用每次观测 3 个重复的平均值及标准偏差表示。N₂O 季节平均排放量是将 3 个重复的每次观测值按时间间隔加权平均后再平均。

$$N_2O \text{ 季节排放总量计算} \quad T = \sum [(F_{i+1} + F_i) / 2] \times (D_{i+1} - D_i) \times 24 / 1000$$

式中, T 为 N₂O 季节排放总量(mg N/m^2); F_i 和 F_{i+1} 为分别第 i 和 $i+1$ 次采样时 N₂O 平均排放通量($\mu\text{g N} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$); D_i 和 D_{i+1} 分别为第 i 和 $i+1$ 次采样时间(d)。

1.4 数据处理与分析

处理间比较以 3 个重复的平均值进行方差分析及多重比较。相关性分析用全部观测值进行线性回归相关分析。数据处理与分析均采用 Microsoft Excel 2003 software for windows 和 SPSS10.0 software for windows (SPSS Inc., Chicago) 完成。

2 结果与分析

2.1 麦季 N_2O 排放通量的季节变化

各处理 N_2O 排放均存在明显的季节变化,并呈现出相同的季节变化模式。由图 1 可见,各处理 N_2O 排放峰主要出现在 2 次施肥后不久的降雨过后。由于施肥降水,土壤中具有丰富的氮源和适宜的水分含量,利于土壤的硝化和反硝化作用的同时进行。基追肥的施入并没有导致 N_2O 排放的迅速增加,而是在随后的降雨过后 2—3 d 才出现 N_2O 的排放峰,这与以往研究结果^[21-24]一致。由于尿素快速水解为铵态氮并发生硝化作用以及降水带来的适宜的水分条件,基肥施用后 16 d 各处理出现第 1 个 N_2O 排放高峰(第 13 天有降雨),CK、DCD-基、DCD-全和 DCD-追处理 N_2O 排放峰值分别为 186、131、142 和 196 $\mu\text{g N}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ 。与 CK 处理相比,DCD-基处理 N_2O 排放峰值减少 30%,DCD-全处理 N_2O 排放峰值减少 24%;DCD-基处理与 DCD-全处理相比, N_2O 排放量减少 8%。各处理第 2 个 N_2O 排放高峰出现在追肥施用后 20 d(第 18 天有雨雪),CK、DCD-基、DCD-全和 DCD-追处理 N_2O 排放峰值分别为 238、259、211 和 133 $\mu\text{g N}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ 。与 CK 处理相比,DCD-追处理 N_2O 排放峰值减少 44%,DCD-全处理 N_2O 排放峰值减少 11%;DCD-追处理与 DCD-全处理相比, N_2O 排放量减少 37%。以上试验结果表明,由于 DCD 可抑制土壤铵态氮向硝态氮转化即硝化作用,减少土壤硝态氮累积,尿素配施 DCD 可以有效抑制施肥后出现的 N_2O 排放高峰,DCD 施用量越多,对排放高峰抑制效果越明显。DCD-基处理第 2 个 N_2O 排放峰值略高于 CK 处理,原因可能是除了它的硝化抑制特性外,DCD 本身可以作为—种缓慢释放的肥料(含 66.7% N)^[12,25],在小麦的分蘖拔节期,大部分施入的 DCD 已被分解,并迅速发生硝化作用而产生少量的 N_2O 排放,这与以往研究结果一致^[26-27]。

2.2 DCD 不同施用时间对麦季 N_2O 排放总量的影响

从整个小麦生长季来看,各处理 N_2O 排放总量从大到小依次为 CK、DCD-基、DCD-追和 DCD-全(图 2),各处理 N_2O 直接排放系数分别为 0.8%、0.6%、0.5% 和 0.4%。与 CK 处理相比,DCD-基处理 N_2O 总排放量减少 21%,DCD-追处理 N_2O 总排放量减少 26%,DCD-全处理 N_2O 总排放量减少 35%,方差分析均达显著性差异($P < 0.05$)。由此可见尿素配施 DCD 可以有效抑制小麦生长季 N_2O 排放,其中基追肥按比例配施对 N_2O 减排效果最佳,其次是追肥配施和基肥配施。

为进一步定量比较不同处理之间 N_2O 的排放差异,阐明 DCD 不同施用时间对小麦不同生长阶段 N_2O 排放的影响,将小麦生长季节分为播种-返青期和返青-收获期两个阶段。本试验中,小麦返青-收获期 N_2O 排放高于播种-返青期,因此追肥配施处理对 N_2O 减排效果优于基肥配施处理,但也有研究结果表明,小麦播种-返青期 N_2O 排放高于返青-收获期^[28-29],因此基肥与追肥配施 DCD 对 N_2O 减排效果不可一概而论。如图 2 所示,小麦播种-返青期,DCD-基处理 N_2O 排放值占全生长期 N_2O 排放总值的比例最小,其次是 DCD-全处理,而 DCD-追处理比例最高;与 CK 处理相比,DCD-基处理 N_2O 排放量减少 36%,DCD-全处理 N_2O 排放量减少 44%,方差分析均达显著性差异($P < 0.05$);DCD-追处理 N_2O 排放量与 CK 处理方差分析无显著性差异($P > 0.05$)。小麦返青-收获期,DCD-追处理 N_2O 排放值占全生长期 N_2O 排放总值的比例最小,其次是 DCD-全处理,而 DCD-基处理比例最大;与 CK 处理相比,DCD-追处理 N_2O 排放量减少 45%,DCD-全处理 N_2O 排放量减少 33%,方差分析均

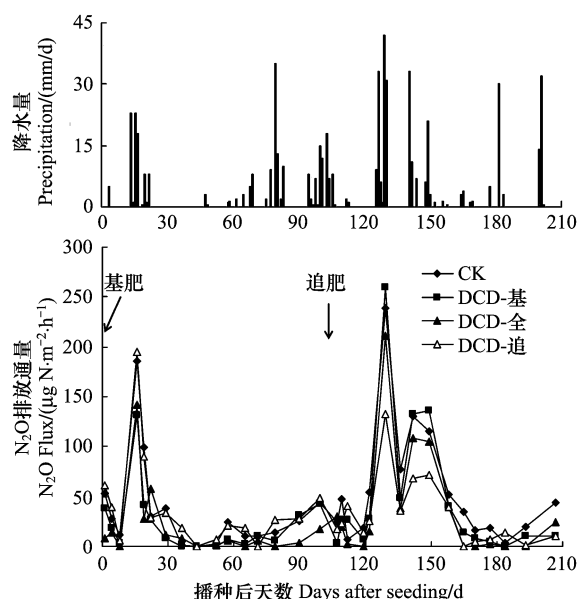


图 1 小麦生长期降雨分布和 N_2O 排放通量的季节变化

Fig. 1 Seasonal variation of N_2O flux and precipitation during the wheat-growing period

达显著性差异 ($P < 0.05$); DCD-基处理 N_2O 排放值与 CK 处理无显著性差异 ($P > 0.05$)。以上试验结果表明基肥配施 DCD 主要减少小麦播种-返青期 N_2O 排放, 追肥配施 DCD 主要减少小麦返青-收获期 N_2O 排放, 而基追肥按比例配施 DCD 减少整个小麦生长季生长期 N_2O 排放。

2.3 DCD 不同施用时间对麦季土壤无机氮的影响

图 3 表示各处理小麦生长期土壤 NH_4^+-N 、 $NO_3^- -N$ 浓度和 NH_4^+-N 表观硝化率的季节变化。由图 3 可知, 各处理土壤 NH_4^+-N 变化趋势一致, 在 2 次施肥后出现土壤 NH_4^+-N 浓度峰值, 随着施肥时间的延长, 土壤 NH_4^+-N 浓度逐渐降低。小麦播种-返青期, DCD-基处理和 DCD-全处理土壤中 NH_4^+-N 浓度高于 CK 处理和 DCD-追处理, 且前两个处理土壤 NH_4^+-N 浓度随小麦生育期的延长而下降, 表明 DCD 抑制土壤 NH_4^+-N 的硝化反应, 且抑制效果随时间逐渐降低, 后 2 个处理土壤中 NH_4^+-N 浓度相差无几; 小麦返青-成熟期, DCD-全处理和 DCD-追处理土壤中 NH_4^+-N 浓度高于 CK 处理和 DCD-基处理, 且前 2 个处理土壤 NH_4^+-N 浓度也随小麦生育期的延长而下降, 而后 2 个处理土壤中 NH_4^+-N 浓度相差无几, 表明基肥所施 DCD 在小麦生长后期大部分已降解。Weiske^[30] 等研究指出, 整个冬小麦生长季, DCD 在土壤中的分解速率很快, 4 个月几乎分解完全。Hauser^[31] 和 Schwarzer^[32] 等研究也表明, 在小麦的分蘖拔节期, 即施肥后的 49 d, 土壤中施入的 DCD 已大量矿化。

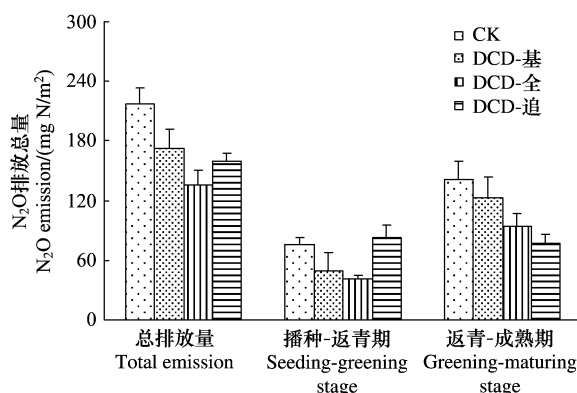


图 2 小麦生长期 N_2O 季节排放总量及不同生长阶段 N_2O 排放量

Fig. 2 Total N_2O emissions during the wheat-growing period and different growing periods

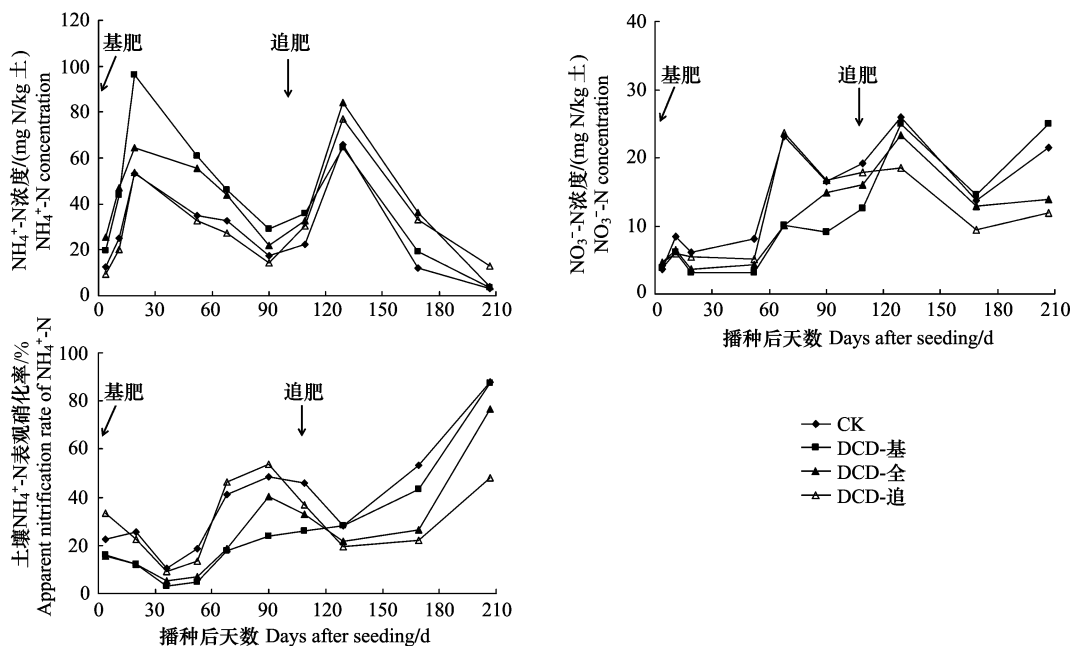


图 3 小麦生长期土壤 NH_4^+-N 和 $NO_3^- -N$ 浓度及 NH_4^+-N 表观硝化率的季节变化

Fig. 3 Soil NH_4^+-N and $NO_3^- -N$ concentrations and apparent nitrification rate of NH_4^+-N during the wheat-growing season

$$\text{硝化率}(\%) = [NO_3^- -N / (NH_4^+-N + NO_3^- -N)] \times 100$$

整个小麦生长季, 尿素处理土壤 $NO_3^- -N$ 含量变化不太明显, 施用 DCD 的 3 个处理能使土壤 $NO_3^- -N$ 含量

在较长时间内维持在一个较低水平。小麦播种-返青期,CK 处理和 DCD-追处理土壤中 NO_3^- -N 浓度高于 DCD-基处理和 DCD-全处理;小麦返青-收获期,各处理土壤中 NO_3^- -N 浓度为 DCD-基>CK>DCD-全>DCD-追。各处理土壤 NO_3^- -N 含量变化表明,施肥配施 DCD 可以有效抑制 NO_3^- -N 的形成,但随着时间的延长,DCD 抑制硝化作用减弱。

从各处理土壤 NH_4^+ -N 的表观硝化率季节变化中也可以得到相同的结论。小麦播种-返青期,未施加 DCD 的 2 个处理-CK 处理和 DCD-追处理-土壤 NH_4^+ -N 的表观硝化率高于施加 DCD 的 2 个处理;小麦返青-收获期,未施加 DCD 的 2 个处理-CK 处理和 DCD-基处理-土壤 NH_4^+ -N 的表观硝化率高于施加 DCD 的 2 个处理。尿素施入土壤后,在土壤脲酶作用下,土壤尿素快速水解,释放出来的铵态氮将进行硝化作用。在小麦的整个生育期内,尿素处理土壤中铵态氮的硝化作用始终保持在较高水平,而施加 DCD 处理显著抑制了土壤铵态氮的硝化,因此 DCD 能够降低土壤中由铵的硝化作用而导致的 N 素损失^[33]。

2.4 DCD 不同施用时间对小麦产量的影响

目前关于 DCD 对作物产量影响报道不一:可提高作物产量和对作物产量没有影响^[12]。施用 DCD 使土壤保持较高的铵态氮含量,一般有益于作物幼苗期的生长,增加作物对 N 素肥料的吸收利用^[34-35],而作物对土壤铵态氮的吸收会伴随有大量氢离子的释放,导致作物根际周围变酸,从而影响土壤微生物的活动以及增加钾离子、钙离子和镁离子的淋溶危险,这样反过来影响作物的生长^[36],另外作物对硝酸根和铵态氮吸收利用的不同将影响其对其他离子的吸收^[37]。许多试验均支持这样的观点:凡是容易发生 N 肥淋溶损失和硝化反硝化损失的地方,施用硝化抑制剂后作物产量均得到提高^[38]。

本试验中,与 CK 处理相比,DCD-基处理小麦产量增加 8%,DCD-全处理小麦产量增加 7%,方差分析均达显著性水平 ($P<0.05$),而 DCD-追处理小麦产量与 CK 处理无显著性差异 ($P>0.05$) (图 4)。

2.5 影响麦季 N_2O 排放的因素

小麦拔节-成熟期土壤充水孔隙度在 45%—75% 间变动,降水使土壤水分含量增加 (图 5)。相关分析表明,麦季 N_2O 排放通量与土壤水分存在显著正相关 ($0.82<R^2<0.90, P<0.05$)。土壤水分是影响旱作农田土壤 N_2O 产生和排放的重要因素,适宜土壤含水量范围内, N_2O 排放随土壤含水量增加而增加^[39-41]。

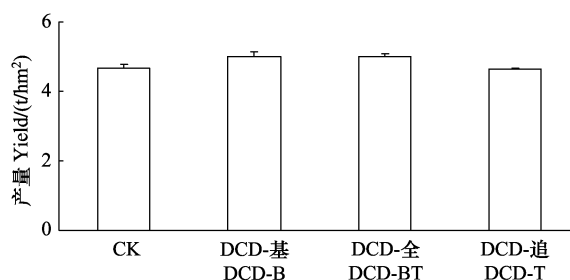


图 4 小麦产量变化

Fig. 4 Change in wheat grain yield

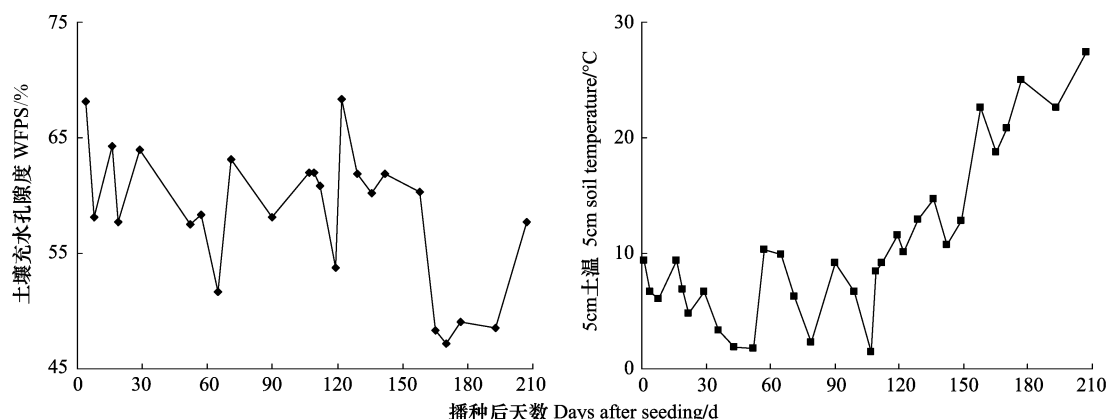


图 5 小麦生长期土壤水分和土壤温度的季节变化

Fig. 5 Seasonal variations of soil water content and soil temperature during the wheat growing season

土壤 5cm 处温度季节变化趋势基本相同(图 5)。小麦全生育期内,土温在 0—30℃ 范围内变动,季节平均温度为 10℃。相关分析表明, N_2O 排放通量与土温不存在明显线性相关关系($P>0.05$)。郑循华等^[42]研究发现,当土壤湿度适宜时,旱地 N_2O 排放对表层土温的依赖可以用指数函数来描述。邹建文等^[43]研究结果表明,土温和 N_2O 排放通量的关系可以用一个多项式方程来拟合。谢军飞和李玉娥^[44]研究结果表明,土温对 N_2O 排放通量的作用关系是一种复杂的多项式关系。土温是影响麦田 N_2O 排放的因素之一,但与 N_2O 排放通量不呈明显线性关系。

3 结论与讨论

3.1 结论

本试验研究结果表明,小麦生长期施肥配施 DCD 减少麦季 N_2O 排放。从麦季 N_2O 排放通量的季节变化来看,与 CK 处理相比,DCD-基和 DCD-全显著降低 N_2O 第 1 个排放峰值(基肥施用后 16 d),DCD-追显著降低 N_2O 第 2 个排放峰值(追肥施用后 20 d)。从小麦整个生长季来看,与 CK 处理相比,DCD-基处理 N_2O 排放量减少 21%,DCD-追处理 N_2O 排放量 26%,DCD-全处理 N_2O 排放量 35%,方差分析均达显著水平($P<0.05$),其中 DCD-基处理主要减少小麦播种-返青期 N_2O 排放,DCD-追处理主要减少小麦返青-成熟期 N_2O 排放,而 DCD-全处理减少整个小麦生长季生长期 N_2O 排放。从土壤无机氮浓度和 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 表观硝化率的季节变化来看,与对照处理相比,施用 DCD 后各处理土壤硝化作用均受到抑制,且随着时间的延长,DCD 抑制效果减弱。从小麦产量来看,与 CK 处理相比,DCD-基处理和 DCD-全处理小麦产量显著增加($P<0.05$),而 DCD-追处理小麦产量无显著性差异($P>0.05$)。土壤水分是影响小麦生长期 N_2O 排放的主要因素之一, N_2O 排放通量与土壤水分含量呈显著正相关($P<0.05$)。土温与 N_2O 排放通量不呈明显线性关系。

3.2 讨论

施肥土壤的各形态氮素含量变化一方面与氮素本身的循环过程有关,更重要的是受肥料氮素释放的影响^[45]。本试验中,与对照处理相比,各处理施用 DCD 后硝化作用受到抑制,土壤 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度增加,土壤 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 浓度减少,对应的各生长期 N_2O 排放减少,这与以往研究结果一致^[36],其中基追肥按比例配施 DCD 效果最佳,基肥配施 DCD 减排量略低于追肥配施 DCD。氮肥的施用为 N_2O 产生排放提供了可能,但这种可能能否成为现实很大程度上取决于土壤水分状况和水分变化频率^[41]。本试验中,在无人工灌溉的情况下,基肥施用量多于追肥施用量,但返青-成熟期的降雨量大于播种-返青期,在施肥与降水的综合作用下,本试验 N_2O 排放量返青-成熟期大于播种-返青期,这与黄耀等^[23]研究结果一致,因此,与基肥配施 DCD 处理相比,追肥配施 DCD 对 N_2O 的减排效果更佳。而麦季 N_2O 排放峰的出现取决于氮肥和水分的综合作用,因此基肥与追肥尿素配施 DCD 对 N_2O 减排效果除了与施用时间有关外,还应将降雨或灌溉量的年际变化考虑在内。统计已有关于 DCD 对旱作农田生态系统 N_2O 排放影响的文献(表 1),可以得出,在人工灌溉情况下, N_2O 排放峰值均出现在施肥后(与人工灌溉同时进行)的 2—5 d,最大峰值出现时间有基肥后也有追肥后;无人工灌溉情况下, N_2O 排放峰值均出现在施肥之后降雨后的 2—5 d,最大峰值出现时间则要随基追肥后降雨量的不同而不同。因此,本文建议,在人工灌溉情况下,麦季 DCD 最佳施用方法应同国外研究报道一致,采用基追肥后按比例配施 DCD;在无人工灌溉情况下,若没有条件采用按比例配施 DCD,在冬季降水量大于春季的地方采用基肥配施 DCD,在春季降水量大于冬季的地方采用追肥配施 DCD。依据当地的灌溉或降雨量,不同时间施入 DCD 才能发挥 DCD 对麦季 N_2O 排放的最佳减排效果。

硝化抑制剂 DCD 在抑制硝化作用、减少 N_2O 排放的同时,还能降低硝酸盐的淋溶损失^[47]、促进土壤微生物对肥料 N 的固持^[35]、提高作物吸 N 量^[35],但施用量过多将对作物产生毒害作用,例如施用 DCD 后土壤铵态氮浓度较高,作物对土壤铵态氮的吸收会伴随有大量氢离子的释放,导致作物根际周围变酸,从而影响土壤微生物的活动以及增加钾离子、钙离子和镁离子的淋溶危险^[38],另外不同作物对硝化抑制剂的敏感程度不同。本试验 DCD 施用量为氮肥施用总量的 3%, N_2O 平均减排量为 27%,而以往研究中 DCD 施用量差别较大(表 1),其中最大施用量为氮肥施用总量的 15%,而 N_2O 减排量仅为 24%^[17]。Verma 等^[48]室内培养实验表

明,当 DCD 施入量在尿素施入量的 6%—14% 之间时,其对砂壤土 N_2O 的减排效果随着 DCD 施入量的增加不断增强,当 DCD 施入量为 14% 时,其对 N_2O 无减排效果。因此根据作物需肥特性,不同时间施入 DCD 在抑制 N_2O 排放的同时,减少 DCD 施入量,提高了经济效益。硝化抑制剂的抑制效率高、有效期长短及施用效果除取决于该抑制剂本身的性质和生物活性外,还受土壤类型、有机质含量、温度、水分、土壤管理措施等诸多因素的显著影响,因此如何更合理、更科学的施用硝化抑制剂要根据气候土壤等条件,因地制宜,不可一概而论。

表 1 DCD 对旱地生态系统 N_2O 排放的影响

Table 1 Effect of DCD on nitrous oxide emission in the upland ecosystem

试验地点 Experimental site	种植作物 Plant	氮肥施用方式 Application of nitrogen fertilizers	灌溉情况 Irrigation	N_2O 最大峰值时间 N_2O max-flux time	DCD 施用比例/% DCD proportion	DCD 施用方式 Application of DCD	N_2O 减排比例/% N_2O reduction	增产比例/% Yield increase	参考文献 References
大田试验新德里	冬小麦	分 3 次施用	5 次灌溉	基肥后 1d	11	与肥料物理混施	29	6	[15]
大田试验新德里	冬小麦	分 3 次施用	2 次灌溉	追肥后 3d	15	与肥料物理混施	24	8	[17]
盆栽试验北京	春小麦	1 次施用	—	基肥后 49d	5	与肥料物理混施	22	—	[27]
大田试验新德里	冬小麦	分 3 次施用	5 次灌溉	基肥后 3d	10	与肥料物理混施	10	8	[34]
大田试验科罗拉多	大麦	1 次施用	5 次灌溉	基肥后 5d	10	与肥料物理混施	37	8	[46]
						与基肥混施	21	8	
大田试验句容	冬小麦	分两次施用	—	追肥后 20d	3	与追肥混施	26	—	本试验
						按比例与基追肥混施	35	7	

References:

- [1] IPCC. Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group to the Third Assessment Report of the IPCC. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.
- [2] IPCC. Climate Change 2007: Understanding and Attributing Climate Change. [2009-3-12]. <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter9.pdf>.
- [3] Li X, Inubushi K, Sakamota K. Nitrous oxide concentrations in an Andisol profile and emissions to the atmosphere as influenced by the application of nitrogen fertilizers and manure. *Biology and Fertility of Soils*, 2002, 35(2): 108-113.
- [4] Mosier A R, Kroeze C. Potential impact on the global atmospheric N_2O budget of the increased Nitrogen input required to meet future global food demands. *Chemosphere-Global Change Science*, 2000, 2(3/4): 465-473.
- [5] Beauchamp E G. Nitrous oxide emission from agricultural soils. *Canadian Journal of Soil Science*, 1997, 77(2): 113-123.
- [6] Duxbury J M. The significance of agricultural sources of greenhouse gases. *Fertilizer Research*, 1994, 38(2): 151-163.
- [7] Hou A X, Chen G X, Wu J. Effect of different nitrogen fertilizers on N_2O emission from soil. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1998, 9(2): 176-180.
- [8] Isermann K. Agriculture's share in the emission of trace gases affecting the climate and some cause-oriented proposals for sufficiently reducing this share. *Environmental Pollution*, 1994, 83(1/2): 95-111.
- [9] Xing G X, Yan X Y. Direct nitrous oxide emissions from agricultural fields in China estimated by the revised 1996 IPCC guidelines for national greenhouse gases. *Environmental Science and Policy*, 1999, 2(3): 355-361.
- [10] Mosier A R, Kroeze C, Nevison C, Oenema O, Seitzinger S, van Cleemput O. Closing the global N_2O budget: nitrogen oxide emissions through the agricultural nitrogen cycle. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 1998, 52(2/3): 225-248.
- [11] Bouwman A F. *Soils and the Greenhouse Effect*. New York: John Wiley and Sons, 1990.
- [12] Huang Z Y, Feng Z W, Wang X K, Zhang F Z. Research progress of nitrification inhibitors applied in agriculture. *Chinese Journal of Soil Science*,

- 2002, 33(4): 310-315.
- [13] 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.
- [14] Sun A W, Shi Y L, Zhang D S, Guo A M. Application of nitrification-urease inhibitors in agriculture. *Chinese Journal of Soil Science*, 2004, 35(3): 357-361.
- [15] Malla G, Bhatia A, Pathak H, Prasad S, Jain N, Singh J. Mitigation nitrous oxide and methane emissions from soil in rice-wheat system of the Indo-Gangetic plain with nitrification and urease inhibitors. *Chemosphere*, 2005, 58(2): 141-147.
- [16] Majumdar D, Kumar S, Pathak H, Jain M C, Kumar U. Reducing nitrous oxide emission from an irrigated rice field of North India with nitrification inhibitors. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2000, 81(3): 163-169.
- [17] Majumdar D, Pathak H, Kumar S, Jain M C. Nitrous oxide emission from a sandy loam Inceptisol under irrigated wheat in India as influenced by different nitrification inhibitors. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2002, 91(1/3): 283-293.
- [18] Li X L, Zhang G B, Xu H, Cai Z C, Yagi K. Effect of timing of joint application of hydroquinone and dicyandiamide on nitrous oxide emission from irrigated lowland rice paddy field. *Chemosphere*, 75(10): 1417-1422.
- [19] Li H, Wang L G, Qiu J J. Study of N_2O emissions from croplands and strategies for reducing N_2O emission. *Soils and Fertilizers Sciences China*, 2007, (5): 1-3.
- [20] Ghosh S, Majumdar D, Jain M C. Methane and nitrous oxide emissions from an irrigated rice of North India. *Chemosphere*, 2003, 51(3): 181-195.
- [21] Huang Y, Jiang J Y, Zong L G, Zhou Q S, Sass R L, Fisher F M. Influence of planting density and precipitation on N_2O emission from a winter wheat field. *Environmental Science*, 2001, 22(6): 20-23.
- [22] Liang D L, Tong Y A, Emtery O, Li S X, Fang R Y, Zhang S L. Effect of irrigation and rainfall on N_2O losses in dryland. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2002, 8(3): 298-302.
- [23] Su W H, Song W Z, Zhang H, Cao Q M, Lu H R, Zhou Q, Zeng J H, Zhang Y M. Flux of nitrous oxide on typical winter wheat field in northern China. *Environmental Chemistry*, 1992, 11(2): 26-32.
- [24] Zheng X H, Wang M X, Wang Y S, Shen R X, Gong Y B, Zhang W, Luo D M, Jin J S, Li L T. Impact of soil humidity on N_2O production and emission from a rice-wheat rotation ecosystem. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1996, (3): 273-279.
- [25] Mosdell D K, Daniel W H, Freeborg R P. Evaluation of dicyandiamide-amended fertilizers on Kentucky bluegrass. *Agronomy Journal*, 1986, 78(5): 801-806.
- [26] Bronson K F, Moiser A R, Bishnoi S R. Nitrous oxide emissions in irrigated corn as affected by nitrification inhibitors. *Soil Science Society of America Journal*, 1992, 56(1): 161-165.
- [27] Xu X K, Zhou L K, van Cleemput O, Wang Z J. Fate of urea- ^{15}N in a soil-wheat system as influenced by urease inhibitor hydroquinone and nitrification inhibitor dicyandiamide. *Plant and Soil*, 2000, 220(1/2): 261-270.
- [28] Ma E D, Ma J, Xu H, Cao J L, Cai Z C, Kazuyuki Y. Effects of rice straw returning methods on N_2O emissions from wheat-Growing season. *Soils*, 2007, 39(6): 870-873.
- [29] Ma J, Xu H, Cai Z C, Kazuyuki Y. Effect of fertilizer application in rice-growing season on N_2O emissions from following wheat-growing season. *Soils*, 2006, 38(6): 687-691.
- [30] Weiske A, Benckiser G, Ottow J C G. Effect of the new nitrification inhibitor DMPP in comparison to DCD on nitrous oxide (N_2O) emissions and methane (CH_4) oxidation during 3 years of repeated applications in field experiments. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2001, 60(1/3): 57-64.
- [31] Hauser M, Haselwandter K. Degradation of dicyandiamide by soil bacteria. *Soil Biology and Biochemistry*, 1990, 22(1): 113-114.
- [32] Schwarzer C, Haselwandter K. Enzymatic degradation of the nitrification inhibitor dicyandiamide by a soil bacterium. *Soil Biology and Biochemistry*, 1991, 23(3): 309-310.
- [33] Jiao X G, Liang W J, Chen L J, Jiang Y, Wen D Z. Effects of urease/nitrification inhibitors on soil available N and microbial biomass N and on N uptake of wheat. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(10): 1904-1906.
- [34] Bhatia A, Sasmal S, Jain N, Pathak H, Kumar R, Singh A. Mitigating nitrous oxide emission from soil under conventional and no-tillage in wheat using nitrification inhibitors. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2010, 136(3/4): 247-253.
- [35] Shi Y, Xu X K, Zhou L K, van Cleemput O. Effect of inhibitors and their combination on the behavior and fate of urea ^{15}N in wheat soil system. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1998, 9(2): 168-170.
- [36] Todd R L. Nitrification and cation circulation in soil. *Soil Science Division Agronomy Abstract*. 1974: 131-131.
- [37] Reeves D W, Touchton J T. Relative phytotoxicity of dicyandiamide and availability of its nitrogen to cotton, corn, and grain sorghum. *Soil Science*

- Society of America Journal, 1986, 50(5): 1353-1357.
- [38] Malzer G L, Kelling K A, Schmitt M A, Hoefft R G, Randall G W. Performance of dicyandiamide in the north central states. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*, 1989, 20(19/20): 2001-2022.
- [39] Cai Z C, Mosier A R. Effect of soil WFPS on CH_4 oxidation, N_2O and CO_2 emission. *Soils*, 1999, 31(6): 289-294, 298-298.
- [40] Han J G, Li Z B, Zhu Y L, Bai H Y, Li S Q. Characteristics of N_2O emissions from farmland responding to water and temperature. *Chinese Journal of Soil Science*, 2004, 35(3): 285-289.
- [41] Huang G H, Chen G X, Han B. Relationships between soil water content and N_2O production. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1999, 10(1): 53-56.
- [42] Zheng X H, Wang M X, Wang Y S, Shen R X, Gong Y B. Effect of temperature on farmland N_2O production and emission. *Environmental Science*, 1997, 18(5): 1-5.
- [43] Zou J W, Huang Y, Zong L G, Zheng X H, Wang Y S. A field study on CO_2 , CH_4 and N_2O emissions from rice paddy and impact factors. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2003, 23(6): 758-764.
- [44] Xie J F, Li Y E. Effect of soil temperature on N_2O emission in upland farm of Beijing. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2005, 26(1): 7-10.
- [45] Ding H, Wang Y S, Qin S J, Zhang Y S, Xiang H Y, Li W H. Effects of controlled release fertilizers on nitrogen loss by denitrification and N_2O emission. *Journal of Agro-Environment Science*, 2010, 29(5): 1015-1019.
- [46] Delgado J A, Mosier A R. Mitigation alternatives to decrease nitrous oxides emissions and urea-nitrogen loss and their effect on methane flux. *Journal of Environmental Quality*, 1996, 25(5): 1105-1111.
- [47] Sun Z M, Wu Z J, Chen L J, Ma X Z. Application effect, affecting factors, and evaluation of nitrification inhibitor: A review. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(7): 1611-1618.
- [48] Verma A, Tyagi L, Singh S N. Attenuation of N_2O emission rates from agricultural soil at different dicyandiamide concentrations. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2008, 137(1/3): 287-293.

参考文献:

- [7] 侯爱新, 陈冠雄, 吴杰. 不同种类氮肥对土壤释放 N_2O 的影响. *应用生态学报*, 1998, 9(2): 176-180.
- [12] 黄益宗, 冯宗炜, 王效科, 张福珠. 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.
- [19] 李虎, 王立刚, 邱建军. 农田土壤 N_2O 排放和减排措施的研究进展. *中国土壤与肥料*, 2007, (5): 1-3.
- [21] 黄耀, 蒋静艳, 宗良纲, 周权锁, Sass R L, Fisher F M. 种植密度和降水对冬小麦田 N_2O 排放的影响. *环境科学*, 2001, 22(6): 20-23.
- [22] 梁冬丽, 同延安, Emtery O, 李生秀, 方日尧, 张树兰. 灌溉和降水对旱地土壤 N_2O 气态损失的影响. *植物营养与肥料学报*, 2002, 8(3): 298-302.
- [23] 苏维翰, 宋文质, 张桦, 曹秋美, 路洪荣, 周全, 曾江海, 张玉铭. 华北典型冬麦区农田氧化亚氮通量. *环境科学*, 1992, 11(2): 26-32.
- [24] 郑循华, 王明星, 王跃思, 沈王兴, 龚宴邦, 张文, 骆冬梅, 金继生, 李老土. 稻麦轮作生态系统中土壤湿度对 N_2O 产生与排放的影响. *应用生态学报*, 1996, (3): 273-279.
- [28] 马二登, 马静, 徐华, 曹金留, 蔡祖聪, 八木一行. 稻秆还田方式对麦田 N_2O 排放的影响. *土壤*, 2007, 39(6): 870-873.
- [29] 马静, 徐华, 蔡祖聪, 八木一行. 稻季施肥管理措施对后续麦季 N_2O 排放的影响. *土壤*, 2006, 38(6): 687-691.
- [33] 焦晓光, 梁文举, 陈利军, 姜勇, 闻大中. 脲酶/硝化抑制剂对土壤有效态氮、微生物量氮和小麦氮吸收的影响. *应用生态学报*, 2004, 15(10): 1904-1906.
- [35] 史奕, 徐星凯, 周礼恺, van Cleemput O. 抑制剂及其组合对尿素 ^{15}N 在小麦土壤系统中的行为和归宿的影响. *应用生态学报*, 1998, 9(2): 168-170.
- [39] 蔡祖聪, Mosier A R. 土壤水分状况对 CH_4 氧化、 N_2O 和 CO_2 排放的影响. *土壤*, 1999, 31(6): 289-294, 298-298.
- [40] 韩建刚, 李占斌, 朱永莉, 白红英, 李世清. 农田土壤中 N_2O 释放的水温特征研究. *土壤通报*, 2004, 35(3): 285-289.
- [41] 黄国宏, 陈冠雄, 韩冰. 土壤含水量与 N_2O 产生途径研究. *应用生态学报*, 1999, 10(1): 53-56.
- [42] 郑循华, 王明星, 王跃思, 沈王兴, 龚宴邦. 温度对农田 N_2O 产生与排放的影响. *环境科学*, 1997, 18(5): 1-5.
- [43] 邹建文, 黄耀, 宗良纲, 郑循华, 王跃思. 稻田 CO_2 、 CH_4 和 N_2O 排放及其影响因素. *环境科学学报*, 2003, 23(6): 758-764.
- [44] 谢军飞, 李玉娥. 土壤温度对北京旱地农田 N_2O 排放的影响. *中国农业气象*, 2005, 26(1): 7-10.
- [45] 丁洪, 王跃思, 秦胜金, 张玉树, 项虹艳, 李卫华. 控释肥对土壤氮素反硝化损失和 N_2O 排放的影响. *农业环境科学学报*, 2010, 29(5): 1015-1019.
- [47] 孙志梅, 武志杰, 陈利军, 马星竹. 硝化抑制剂的施用效果、影响因素及其评价. *应用生态学报*, 2008, 19(7): 1611-1618.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 23 December, 2011 (Semimonthly)
CONTENTS

Satellite-based modelling light use efficiency of alpine meadow along an altitudinal gradient	FU Gang, ZHOU Yuting, SHEN Zhenxi, et al (6989)
Changes in the concentrations of airborne <i>Picea schrenkiana</i> pollen in response to temperature changes in the Tianshan Mountain area	PAN Yanfang, YAN Shun, MU Guijin, et al (6999)
Primary production in the Bay of Bengal during spring intermonsoon period	LIU Huaxue, KE Zhixin, SONG Xingyu, et al (7007)
Effect of rainfall regimes on the decomposition rate of yak dung in an alpine meadow of northwest Sichuan Province, China	WU Xinwei, LI Guoyong, SUN Shucun (7013)
SOFM-based nutrient cycling classification of forest ecosystems in the Loess Plateau	CHEN Kai, LIU Zengwen, LI Jun, et al (7022)
Characterization of the responses of photosynthetic and chlorophyll fluorescence parameters to water stress in seedlings of six provenances of Chinese Pine (<i>Pinus tabulaeformis</i> Carr.)	WANG Yan, CHEN Jianwen, et al (7031)
Effect of silicon supply on Tall Fescue (<i>Festuca arundinacea</i>) growth under the salinization conditions	LIU Huixia, GUO Xinghua, GUO Zhenggang (7039)
Effects of high-temperature stress on physiological characteristics of leaves of <i>Simmondsia Chinensis</i> seedlings from different provenances	HUANG Weiwei, ZHANG Niannian, HU Tingxing, et al (7047)
Soil moisture dynamics of water and soil conservation forest on the Loess Plateau	ZHANG Jianjun, LI Huimin, XU Jiajia (7056)
The distribution of male and female <i>Populus cathayana</i> populations along an altitudinal gradient	WANG Zhifeng, XU Xiao, LI Xiaofeng, et al (7067)
Analysis on the characteristics of macrobenthic community in the North-west Daya Bay of South China Bay in spring	DU Feiyan, LIN Qin, JIA Xiaoping, et al (7075)
The effects of season and environmental factors on community structure of planktonic copepods in Zhanjiang Bay, China	ZHANG Caixue, GONG Yuyan, WANG Xuefeng, et al (7086)
Population genetic structure of <i>Pneumatophorus japonicus</i> in the Taiwan Strait	ZHANG Liyan, SU Yongquan, WANG Hangjun, et al (7097)
Seasonal variation of nitrogen and phosphorus in Miju River and Lake Erhai and influencing factors	YU Chao, CHU Jinyu, BAI Xiaohua, et al (7104)
Population dynamics and production of <i>Bellamyia aeruginosa</i> (Reeve) (Mollusca: Viviparidae) in artificial lake for transgenic fish, Wuhan	XIONG Jing, XIE Zhicai, JIANG Xiaoming, et al (7112)
Carbon, nitrogen and phosphorus ecological stoichiometric ratios among live plant-litter-soil systems in estuarine wetland	WANG Weiqi, XU Linglin, ZENG Congsheng, et al (7119)
Effects of EDTA on growth and lead-zinc accumulation in maize seedlings grown in amendment substrates containing lead-zinc tailings and soil	WANG Hongxin, HU Feng, XU Xinwang, et al (7125)
Effects of different coated controlled-release urea on soil ammonia volatilization in farmland	LU Yanyan, SONG Fupeng (7133)
Effects of ridge planting on the photosynthetic characteristics and yield of summer maize in high-yield field	MA Li, LI Chaohai, FU Jing, et al (7141)
Effect of timing of DCD application on nitrous oxide emission during wheat growing period	JI Yang, YU Jia, MA Jing, et al (7151)
The role of the fertilizing with nitrogen, calcium and sodium chloride in winter wheat leaves adaptation to freezing-thaw stress	LIU Jianfang, ZHOU Ruilian, ZHAO Mei, et al (7161)
Environment impact assessment of organic and conventional soybean production with LCA method in China Northeast Plain	LUO Yan, QIAO Yuhui, WU Wenliang (7170)
Effects of selenium added to soil on physiological indexes in flue-cured tobacco	XU Zicheng, SHAO Huifang, SUN Shuguang, et al (7179)
Influence of different planting patterns on field microclimate effect and yield of peanut (<i>Arachis hypogaea</i> L.)	SONG Wei, ZHAO Changxing, WANG Yuefu, et al (7188)
Rapid cold hardening of Western flower thrips, <i>Frankliniella occidentalis</i> , and its ecological cost	LI Hongbo, SHI Liang, WANG Jianjun, et al (7196)

- Effects of temperature on body color in *Sitobion avenae* (F.) DENG Mingming, GAO Huanhuan, LI Dan, et al (7203)
- Development and reproduction of *Bemisia tabaci* biotype B on wild and cultivated tomato accessions
..... GAO Jianchang, GUO Guangjun, GUO Yanmei, et al (7211)
- Study on ecological water demand based on assessment of ecosystem disturbance degree in the Baiyangdian Wetland
..... CHEN He, YANG Ying, YU Shiwei, et al (7218)
- Emergy-based analysis of two chicken farming systems: a perspective of organic production model in China
..... HU Qiuhong, ZHANG Lixiao, WANG Changbo (7227)
- Mathematical model design of time-effect relationship analysis about the inhibition of four eighteen-carbon fatty acids on toxic
Microcystis aeruginosa HE Zongxiang, ZHANG Tingting (7235)
- Enrichment of heavy metals in the seagrass bed of Liusha Bay XU Zhanzhou, ZHU Aijia, CAI Weixu, et al (7244)
- A gradient analysis of urban architecture landscape pattern based on QuickBird imagery
..... ZHANG Peifeng, HU Yuanman, XIONG Zaiping, et al (7251)
- Landscape spatial heterogeneity is associated with urbanization: an example from Yangtze River in Jiangsu Province
..... CHE Qianjin, CAO Youhui, YU Lu, et al (7261)
- CVM for Taihu Lake based on ecological functions of wetlands restoration, and ability to pay and willingness to pay studies
..... YU Wenjin, XIE Jian, ZOU Xinqing (7271)
- Review and Monograph**
- Progress in research on the marine microbial loop in the Arctic Ocean HE Jianfeng, CUI Shikai, ZHANG Fang, et al (7279)
- Research progress in the eco-environmental effects of urban green spaces
..... SU Yongxian, HUANG Guangqing, CHEN Xiuzhi, et al (7287)
- Source, exposure characteristics and its environmental effect of heavy metals in urban surface dust
..... FANG Fengman, LIN Yuesheng, WANG Haidong, et al (7301)
- Scientific Note**
- Spatial structures of soilcarbon and nitrogen of China fir and Masson pine mixed forest in the Three Gorger Reservoir Areas
..... LIN Yinghua, WANG Laifa, TIAN Xiaokun, et al (7311)
- The relationship between *Oligochroa cantonella* Caradja and environmental factors LIU Wenai, FAN Hangqing (7320)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 31 卷 第 23 期 (2011 年 12 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 23 2011

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@csppg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@csppg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元