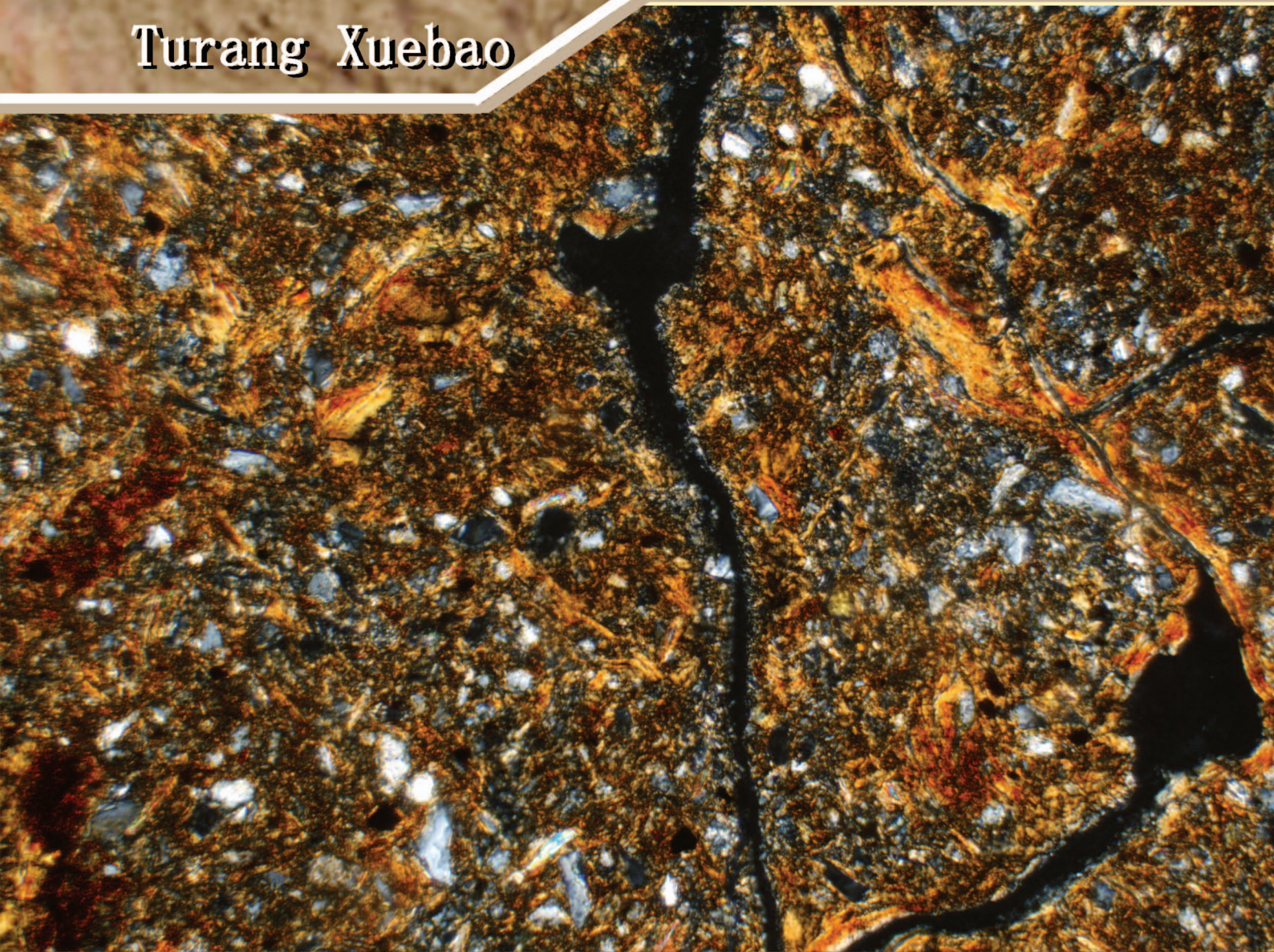


ISSN 0564-3929

Acta Pedologica Sinica 土壤学报

Turang Xuebao



中国土壤学会 主办
科学出版社 出版

2015

第52卷 第2期

Vol.52 No.2

《土壤学报》编辑委员会

主 编: 史学正

执行编委: (按姓氏笔画为序)

丁维新	巨晓棠	王敬国	王朝辉	史 舟	宇万太	朱永官
李永涛	李芳柏	李保国	李 航	吴金水	沈其荣	张玉龙
张甘霖	张福锁	陈德明	邵明安	杨劲松	杨明义	杨林章
林先贵	依艳丽	周东美	周健民	金继运	逢焕成	胡 锋
施卫明	骆永明	赵小敏	贾仲君	徐国华	徐明岗	徐建明
崔中利	常志州	黄巧云	章明奎	蒋 新	彭新华	雷 梅
窦 森	廖宗文	蔡祖聪	蔡崇法	潘根兴	魏朝富	

编辑部主任: 陈德明

责任编辑: 汪枏生 卢 萍 檀满枝

土 壤 学 报

Turang Xuebao

(双月刊, 1948年创刊)

第52卷 第2期 2015年3月

ACTA PEDOLOGICA SINICA

(Bimonthly, Started in 1948)

Vol. 52 No. 2 Mar., 2015

编 辑 《土壤学报》编辑委员会
地址: 南京市北京东路71号 邮政编码: 210008
电话: 025 - 86881237
E-mail: actapedo@issas.ac.cn

主 编 史学正
主 管 中国科学院
主 办 中国土壤学会
承 办 中国科学院南京土壤研究所

出 版 科 学 出 版 社
地址: 北京东黄城根北街16号 邮政编码: 100717

印刷装订 北京中科印刷有限公司
总 发 行 科 学 出 版 社
地址: 北京东黄城根北街16号 邮政编码: 100717
电话: 010 - 64017032
E-mail: journal@mail.sciencep.com

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

Edited by Editorial Board of Acta Pedologica Sinica
Add: 71 East Beijing Road, Nanjing 210008, China
Tel: 025 - 86881237
E-mail: actapedo@issas.ac.cn

Editor-in-Chief Shi Xuezheng
Superintended by Chinese Academy of Sciences
Sponsored by Soil Science Society of China
Undertaken by Institute of Soil Science,
Chinese Academy of Sciences

Published by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China

Printed by Beijing Zhongke Printing Limited Company
Distributed by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China
Tel: 010 - 64017032
E-mail: journal@mail.sciencep.com

Foreign China International Book Trading Corporation
Add: P. O. Box 399, Beijing 100044, China

国内统一刊号: CN 32-1119/P

国内邮发代号: 2-560

国外发行代号: BM45

定价: 60.00元

国 内 外 公 开 发 行



ISSN 0564-3929



9 770564 392156

DOI: 10.11766/trxb201401150032

氮肥和秸秆施用对稻麦轮作体系下土壤剖面 N₂O 时空分布的影响*

潘晓健¹ 刘平丽^{1,2} 李 露¹ 周自强¹ 熊正琴^{1†}

(1 南京农业大学资源与环境科学学院, 江苏省低碳农业和温室气体减排重点实验室, 南京 210095)

(2 鹤壁市农业科学院, 河南鹤壁 458030)

摘 要 通过气体原位采集系统对稻麦轮作体系下土壤剖面不同层次 N₂O 浓度动态变化进行了两年田间原位监测。共设 4 个处理: 对照 (N0S0)、施氮无秸秆 (N1S0)、配施低量秸秆 (N1S1) 以及配施高量秸秆 (N1S2)。结果表明, 土壤剖面 N₂O 浓度具有明显的时空分布特征: 各处理在小麦和水稻生长前期均出现明显的浓度峰值, 施加氮肥加大峰值, 添加高量秸秆降低峰值。水稻生长季 N₂O 主要产生在近表层土壤 (7 cm 和 15 cm), N₂O 浓度两年均为 15 cm ≥ 7 cm ≥ 30 cm ≥ 50 cm; 小麦生长季 N₂O 主要产生在下层土壤 (30 cm 和 50 cm)。与 N0S0 相比, 施加氮肥 3 个处理均显著增加土壤剖面各层次的 N₂O 浓度 ($p < 0.05$), 其中 N1S0 处理各土层 N₂O 浓度是 N0S0 处理对应土层的 2 倍 ~ 3 倍。配施高量秸秆 (N1S2) 能显著减少近表层土壤 N₂O 浓度。

关键词 稻麦轮作; 土壤气体采集系统; N₂O 浓度; 土壤剖面

中图分类号 P461.4; S152.6 **文献标识码** A

氧化亚氮 (N₂O) 被公认为最重要的三种温室气体之一, 同时参与光化学反应破坏大气臭氧层^[1]。农田土壤是全球重要的 N₂O 排放源, 其 N₂O 排放量约占人为排放源的 60%^[2]。对于 N₂O 排放的研究大多利用静态箱法测定土壤与大气之间的排放通量, 对土壤剖面 N₂O 浓度尤其是深层土壤 N₂O 分布规律研究很少。N₂O 排放是其在土壤中产生、消耗和扩散等综合作用的结果^[3]。农田土壤 N₂O 主要通过硝化作用和反硝化作用产生。我国农田过量施肥导致土体中硝态氮大量积累, 为下层土体的反硝化过程提供了充足的底物, 提高了 N₂O 的排放风险。

已有研究表明, 土壤剖面 N₂O 扩散通量和地上 N₂O 排放通量之间存在一定的对应关系^[4-5]。土壤剖面 N₂O 的分布规律受剖面位点、温度和降水等气象条件及生产管理措施的影响^[6-7]。由于观测方法的限制, 目前关于土壤剖面中 N₂O 浓度的分布规律研究主要集中在不同区域的旱地土壤^[8-11], 很少关于水旱轮作

状态下土壤剖面中 N₂O 的分布规律研究^[6]。

由于水旱轮作中土壤环境条件剧烈变化, 引起稻田 N₂O 在中期烤田阶段和水旱轮作交替时期大量排放^[12]。我国水稻种植面积高达 $2.9 \times 10^7 \text{ hm}^2$, 以稻麦轮作体系为主的水-旱轮作是我国稻田的主要种植方式^[13]。稻田氮肥施用量 (N) 高达 550 ~ 600 kg hm⁻² a⁻¹, 带来严重的环境问题包括 N₂O 排放问题^[14]。有必要深入研究稻田水旱轮作体系中 N₂O 的行为过程。

前期研究成功建立了在水旱轮作条件下原位动态监测土壤剖面 N₂O 的装置系统和方法^[6,8], 但是对于不同管理措施如氮肥和秸秆施用的具体影响缺乏系统研究。秸秆还田作为增加土壤有机质、提高土壤肥力、减少直接燃烧带来的环境污染的重要举措正被大力推广, 但对土壤 N₂O 产生的影响尚无定论; 虽然氮肥施用增加土壤 N₂O 的产生和排放已成定论, 但对土壤剖面 N₂O 的分布特征研究很少, 尤其是与秸秆还田共同作用下对土壤剖面 N₂O

* 国家自然科学基金项目 (40971139, 41171238)、中央高校基本科研业务费专项资金 (KYZ201110, KYTZ201404)、“十二五”农村领域国家科技计划课题 (2013BAD11B01) 和教育部高等学校博士点基金项目 (20110097110001) 联合资助

† 通讯作者, E-mail: zqxiong@njau.edu.cn

作者简介: 潘晓健 (1989—), 男, 安徽歙县人, 硕士研究生, 主要从事农田温室气体排放研究。E-mail: 2011103121@njau.edu.cn

收稿日期: 2014-01-15; 收到修改稿日期: 2014-04-03

分布特征的效应鲜有报道。因此本文通过气体原位采集系统,研究施氮肥和配施不同用量秸秆的条件下,稻麦轮作体系土壤剖面不同层次 N_2O 的分布特征,深入理解施氮和秸秆还田对稻田生态系统土壤 N_2O 行为过程的影响,为水旱轮作稻田 N_2O 产生机理研究提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 研究区概况

试验区位于江苏省南京市江宁区秣陵镇(31°58'N, 118°48'E),属于典型的长江中下游亚热带季风气候,年均气温 15.7 °C,年均降水量 1 050 mm,全年无霜期 223 d 左右,该地主要的种植制度是水稻-小麦轮作制度。试验地土壤 pH 5.7,容重 1.28 $g\ cm^{-3}$,有机质 25.3 $g\ kg^{-1}$,全氮 1.32 $g\ kg^{-1}$,全钾 13.5 $g\ kg^{-1}$,全磷 0.36 $g\ kg^{-1}$,质地为粉壤土。

1.2 试验设计与田间管理

本试验设 4 个处理,3 次重复:(1)对照(N0S0);(2)施氮肥无秸秆(N1S0);(3)配施低量秸秆(N1S1);(4)配施高量秸秆(N1S2)。施氮处理每季作物施尿素氮肥 $N\ 250\ kg\ hm^{-2}$,以 4:3:3 的比例施用。还田秸秆为风干水稻秸秆,约 10 cm 切段,C/N 为 52,在水稻移栽前翻耕入稻田 0~20 cm 土层,低量秸秆和高量秸秆施用量分别为 3 $t\ hm^{-2}$ 和 6 $t\ hm^{-2}$ 。所有处理磷肥和钾肥均作为基肥在播种或移栽时一次性施入,每季作物施用量分别为钙镁磷肥 60 $kg\ hm^{-2}$ (以 P_2O_5 计)和氯化钾(以 K_2O 计) 120 $kg\ hm^{-2}$ 。灌溉、翻耕、栽插播种密度、除草、病虫害防治等均按当地的常规管理措施统一进行。每个小区面积为 4 m × 5 m,小区之间用混凝土田埂隔开,有单独的排灌系统。本试验研究包含两个水稻-小麦轮作周期,水稻分别于 2010 年 6 月 20 日和 2011 年 6 月 21 日移栽,2010 年 10 月 10 日和 2011 年 10 月 30 日收获;小麦于 2010 年 11 月 6 日和 2011 年 11 月 11 日播种,2011 年 6 月 1 日和 2012 年 6 月 4 日收获。

1.3 气体采集与测定

土壤剖面不同深度气体采用气体原位采集装置如图 1 所示进行采集。

该系统可以在同一位点原位采集淹水状态下或者排水条件下土壤剖面不同层次的气体,由 4 个高度 50 mm、内径 40 mm 的 PVC 管做成的基本采气单元按照设计间隔组成一个圆柱体,底部锥体便于

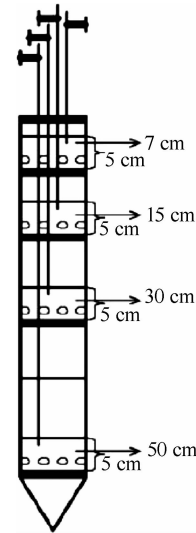


图 1 气体原位采集装置结构图
Fig. 1 Schematic design of gas collection device

安装入土。每个采气单元底部均匀分布 8 个小孔作为土壤气体交换界面,各采气单元之间间隔体为 PVC 板,采集气体的尼龙细管经隔板小孔穿过,统一从采集系统顶部穿出,再用硅胶管连接至三通阀上。该系统保持密闭状态,观测时用针筒直接采集所需容积的气体。本文以 7 cm、15 cm、30 cm、50 cm 四个中心深度来表示各个土壤层次,每个层次实际涵盖了中心深度上下 5 cm 范围。每 7 天采集 1 次,48 h 内用安捷伦气相色谱仪(Agilent 7890A)测定气体 N_2O 浓度,检测器为电子捕获检测器(ECD),检测器温度为 300 °C,色谱柱为 80/100 目的 SS-2 m × 2 mm Porapak Q,用体积比为 5% 的氩甲烷作为载气,流速为 40 $cm^3\ min^{-1}$ [15]。

1.4 数据处理与分析

各处理土壤剖面不同土层 N_2O 浓度用 3 次重复的平均值表示,水稻和小麦生长季内各土层 N_2O 平均浓度为各生长季内对应土层 N_2O 浓度的平均值。采用 Excel 2003 进行数据处理和 Origin 8.5 制作图表,采用 JMP 9.0 对各土层 N_2O 浓度进行方差分析和多重比较(LSD 法)。

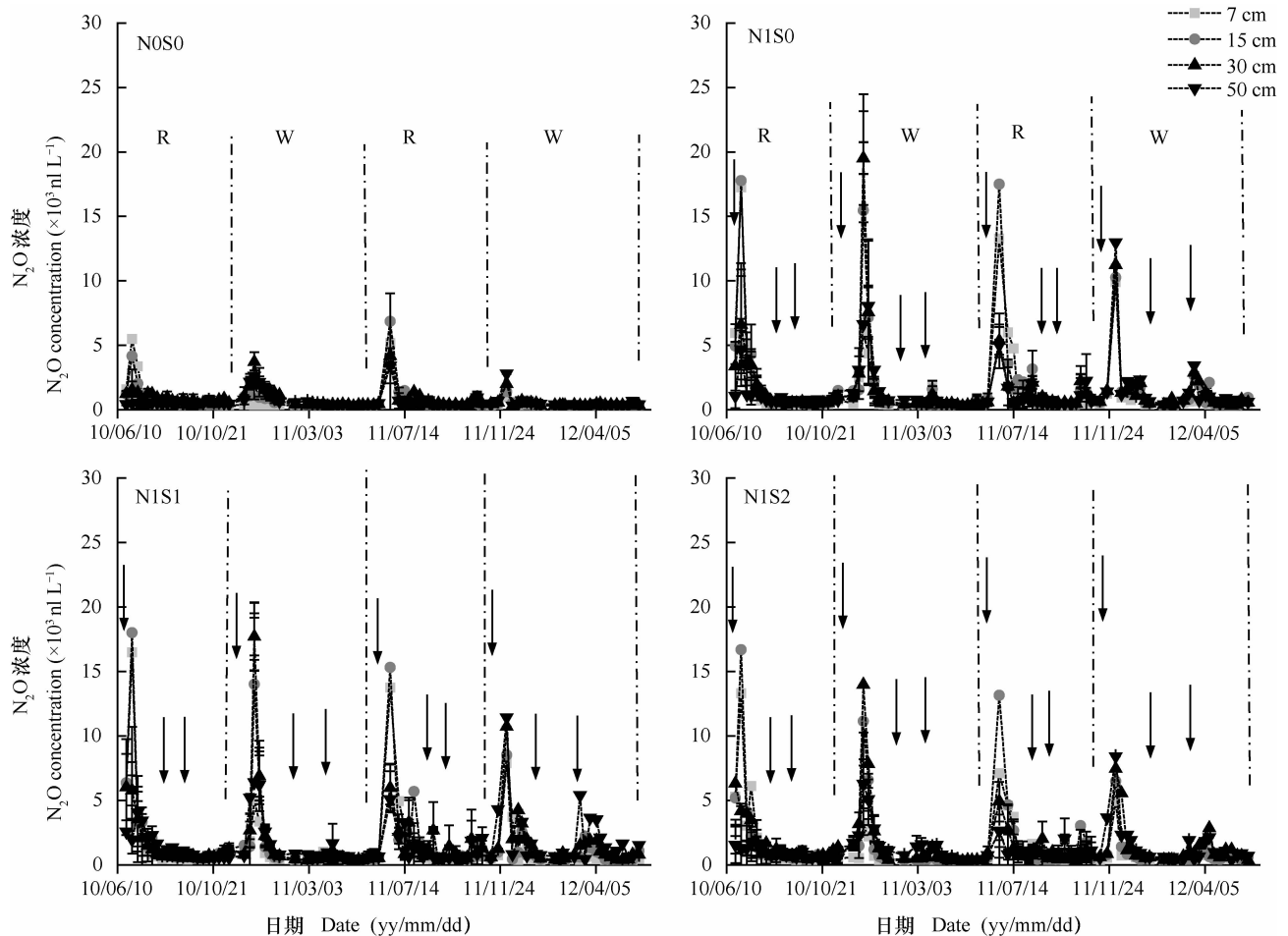
2 结果与讨论

2.1 土壤剖面 N_2O 浓度季节变化

各处理土壤剖面 N_2O 浓度均具有明显的季节变化(图 2),各处理不同土层 N_2O 浓度在每个作物的生长季前期均出现明显浓度峰值,通常约在水稻移栽后 1 周、小麦播种后 3~4 周出现。不施氮

(N0S0)处理在水稻、小麦生长季前期也出现 N_2O 浓度峰值(图2),这些 N_2O 浓度峰值主要是土壤翻耕和水分条件剧烈变化(淹水、排水)共同作用的结果,与文献报道一致^[14]。3个施氮处理(N1S0、N1S1、N1S2)不同土层 N_2O 浓度峰值明显增加,但季节动态变化趋势一致(图2)。2个水稻季均在施

基肥后1周出现浓度峰值,2个小麦季则有所不同,2010年小麦季在施基肥后4周出现浓度峰值,2011年小麦季浓度峰值则出现在施基肥后3周,小麦季追肥后1周还出现较小的浓度峰值,其余生长阶段基本保持平缓趋势。



注:实线箭头表示施肥,虚线标记季节分隔,R表示单季稻,W表示小麦,误差线为标准误差 Note: Solid arrows represent N fertilization, dotted line represent season separation, R represents rice crop season, W represents wheat crop season, and vertical bars represent standard error of the means

图2 稻麦轮作不同处理土壤剖面 N_2O 浓度的季节动态变化

Fig. 2 Seasonal dynamics of N_2O concentrations at different soil depths in the rice-wheat rotation system with N and straw application rate

2.2 土壤剖面 N_2O 浓度空间分布特征

水稻和小麦生长季土壤剖面 N_2O 浓度在不同处理、不同土层之间差异均达到显著水平,不同处理、不同土层之间还存在显著的交互作用($p < 0.05$)(表1)。土壤剖面 N_2O 浓度在2个水稻季间差异不显著,在2个小麦季间差异显著($p < 0.05$)(表1)。

不同处理土壤剖面 N_2O 浓度分布及其不同土层 N_2O 浓度平均值的分布规律见图3。在2个水稻

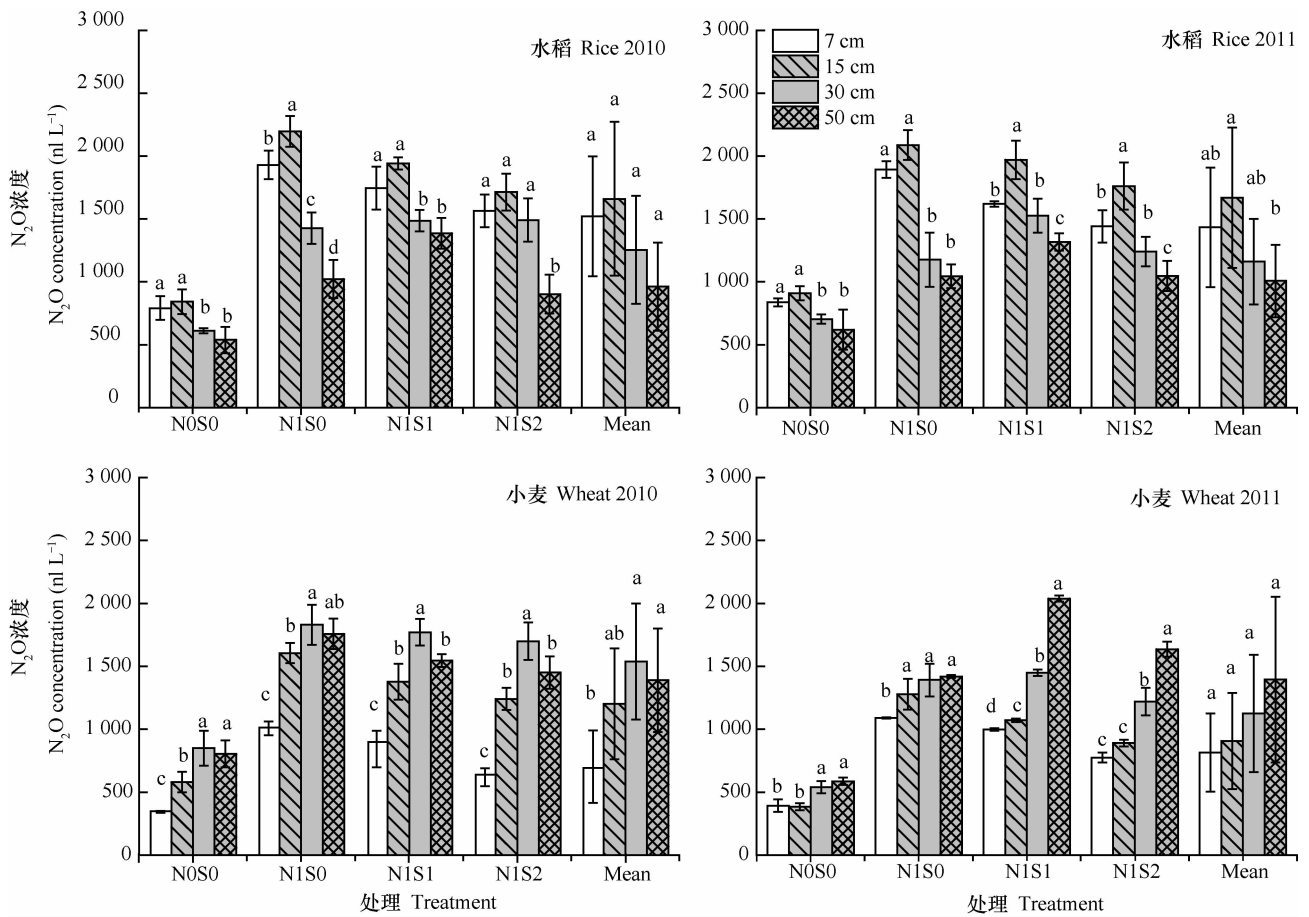
生长季,4个不同处理表层土壤 N_2O 浓度均要显著高于下层土壤 N_2O 浓度($p < 0.05$),不同土层 N_2O 浓度平均值为 $15\text{ cm} \geq 7\text{ cm} \geq 30\text{ cm} \geq 50\text{ cm}$,以15 cm土层 N_2O 平均浓度最高。这是由于在水稻生长季土壤基本均处于淹水条件下,影响了反硝化产物气体 N_2O 在土壤中的扩散和迁移,从而在土壤剖面近表层中蓄积大量的 N_2O 气体。下层土壤产生的 N_2O 则被进一步还原成 N_2 ,导致下层 N_2O 浓度相对较低。

表 1 不同处理、土层及季节对稻麦轮作体系土壤剖面 N₂O 浓度影响的三因素方差分析表

Table 1 A three-way analysis of variance (ANOVA) of effects of treatment, soil depth and crop season on mean soil N₂O concentrations (nl L⁻¹) in soil profile under rice-wheat rotation

影响因素 Factors	自由度 Degree of freedom	水稻季 N ₂ O 浓度		小麦季 N ₂ O 浓度	
		N ₂ O concentration in the rice season		N ₂ O concentration in the wheat season	
		F	p	F	p
处理	3	289.62	<0.000 1 *	376.04	<0.000 1 *
土层	3	144.49	<0.000 1 *	185.52	<0.000 1 *
季节	1	1.65	0.204 3	39.06	<0.000 1 *
处理 × 土层	9	9.4	<0.000 1 *	9.63	<0.000 1 *
处理 × 季节	3	1.32	0.275 9	8.08	0.000 1 *
土层 × 季节	3	1.93	1.134 3	29.17	<0.000 1 *
处理 × 土层 × 季节	9	1.27	0.268 6	5.31	<0.000 1 *
模型	31	46.40	<0.000 1 *	63.55	<0.000 1 *
误差	64				

注: * 表示差异显著 (p < 0.05) Note: * indicate significant difference (p < 0.05)



注: 不同字母表示同一处理内不同土层间差异显著 (p < 0.05) Note: Different letters represent significant difference between soil layers in the same treatment (p < 0.05)

图 3 氮肥与秸秆不同处理对稻麦轮作体系土壤剖面不同土层 N₂O 浓度的影响

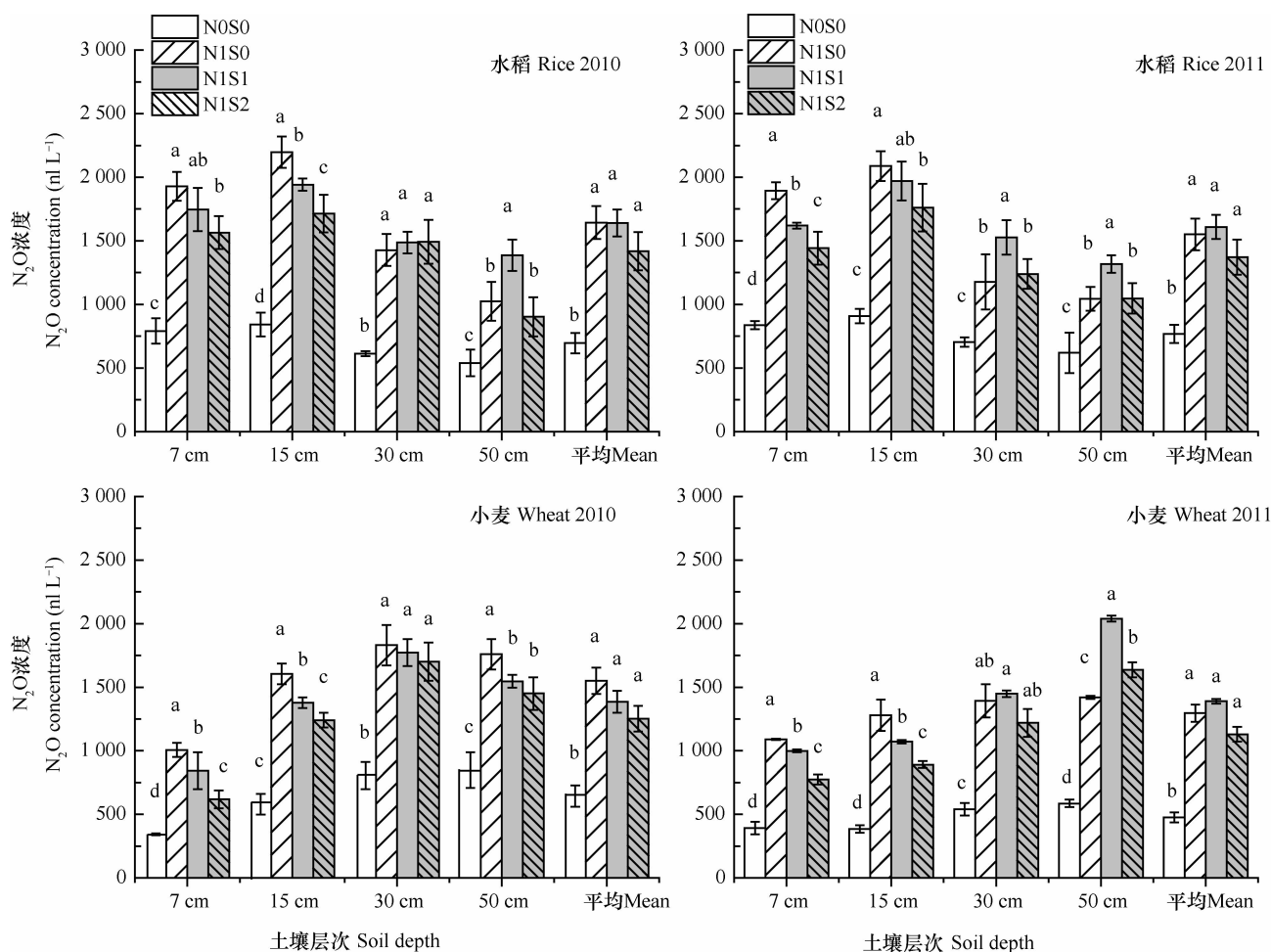
Fig. 3 N₂O concentration distribution in soil profile under rice-wheat annual rotation as affected by N and straw treatment

与水稻生长季相反,在 2 个小麦生长季则是 4 个不同处理下层土(30 cm 和 50 cm) N_2O 浓度均显著高于表层土(7 cm 和 15 cm) ($p < 0.05$) (图 3)。这与小麦生长季排水旱作的土壤环境条件有关^[3,6]。在旱作小麦生长季,土壤排水后结构疏松、通气透水性好,产生的 N_2O 容易扩散到大气中;加上作物对土壤 N 的吸收利用,导致表层土壤 N_2O 浓度低于下层土壤。不同土层 N_2O 浓度平均值排列顺序在年度间存在一定差异,2010 年为 30 cm \geq 50 cm \geq 15 cm \geq 7 cm;2011 年则为 50 cm \geq 30 cm \geq 15 cm \geq 7 cm,但是差异不显著。这是由于土壤是

一个极为复杂的多相体系,微域环境差异较大^[16],导致 N_2O 分布具有高度空间变异性。

2.3 氮肥与秸秆施用对土壤剖面 N_2O 浓度分布的影响

在等氮量条件下,3 个施氮处理(N1S0、N1S1、N1S2)各土层 N_2O 浓度均显著高于不施氮处理(N0S0),其中 N1S0 处理是 N0S0 处理相应土层的 2 倍~3 倍($p < 0.05$,图 3,图 4)。在水稻生长季和小麦生长季氮肥施用均显著增加了土壤剖面不同土层(7 cm、15 cm、30 cm、50 cm)的 N_2O 浓度。该规律与其他旱地土壤剖面 N_2O 的研究结果一致^[17-18]。



注:同一深度不同字母表示差异显著($p < 0.05$) Note: Different letters represent significant difference at the same depth ($p < 0.05$)

图 4 氮肥与秸秆不同处理对稻麦轮作体系土壤剖面各层次 N_2O 浓度的影响

Fig. 4 N_2O concentrations at different soil depths under rice-wheat annual rotations as affected by N and straw treatment

在 2 个水稻和小麦生长季,配施秸秆(N1S1、N1S2)均可以显著降低 7 cm 和 15 cm 表层土的 N_2O 浓度,尤其是配施高量秸秆处理降低显著($p < 0.05$,图 4)。配施秸秆主要是降低生长季前期的 N_2O 峰值,不影响生长后期的 N_2O 峰值大小(图 2),

这可能是由于秸秆腐解前期快,后期慢^[19]。外源有机物质 C/N 对土壤中微生物活性影响很大。当 C/N 大于 25~30 时,有机质分解慢,微生物活性弱, N_2O 产生受到抑制^[20-21];C/N 小于 25~30,微生物活性增强,促进 N_2O 的产生和排放^[22-23]。本试验中

秸秆 C/N 为 52,同时配施等量氮肥,秸秆分解较快,引起土壤微生物对无机 N 源的争夺和利用,减少 N₂O 的产生底物,因此配施秸秆可以显著降低表层土 N₂O 浓度,尤其是配施高量秸秆条件下,降低更加显著。这与前人报道关于秸秆施用增加农田 N₂O 排放的研究结果^[24-26]不一致,但是支持部分关于秸秆减少农田土壤 N₂O 排放的研究结果^[27-28]。邹建文等^[29]研究也表明在常规灌溉条件下,秸秆还田可以减少后续麦季 N₂O 的产生和排放,而在持续淹水条件下并不减少 N₂O 的排放。王改玲等^[30]认为,秸秆还田在不施氮或者低施氮下增加培养初期反硝化反应速率及 N₂O 排放,高施氮水平下降低反硝化速率及 N₂O 的排放。Millar 等^[31]研究指出添加高量秸秆减少 N 的硝化和反硝化作用,进而减少 N₂O 的产生。

在 2 个水稻生长季,配施低量秸秆(N1S1)明显促进下层土(30 cm 和 50 cm)的 N₂O 浓度,但是配施高量秸秆无影响,可能是秸秆中一定量的可溶性碳促进了淹水后下层土的反硝化作用和 N₂O 的产生^[32]。在小麦生长季,配施秸秆在一定程度上增加 2011 年下层土 N₂O 浓度,但降低 2010 年下层土 N₂O 浓度,可能与施加秸秆对小麦生长期下层土的保温作用有关^[33],对下层土 N₂O 浓度的影响及年际间变异有待进一步研究。

3 结 论

稻麦轮作体系下土壤剖面 N₂O 浓度具有显著的时空分布规律。水稻和小麦生长季前期出现明显的浓度峰值,其他生长阶段变化平缓。施氮肥显著增加 N₂O 浓度峰值,配施高量秸秆显著降低 N₂O 浓度峰值,均不影响各土层 N₂O 的季节动态变化趋势。小麦生长季土壤剖面 N₂O 浓度下层土高于表层土,水稻季则为近表层土高于下层土。施氮能够显著增加土壤剖面各土层 N₂O 浓度;配施不同量秸秆尤其是配施高量秸秆能显著减少表层土壤 N₂O 浓度。配施高量秸秆减缓稻田土壤剖面 N₂O 浓度的作用机理有待深入研究。

参 考 文 献

- [1] Ravishankara R, Daniel J S, Portmann R W. Nitrous oxide (N₂O): The dominant ozone-depleting substance emitted in the 21st century. *Science*, 2009, 326(5949): 123—125
- [2] Bouwman A F, Boumans L J M, Batjes N H. Modeling global

annual N₂O and NO emissions from fertilized field. *Global Biogeochemical Cycles*, 2002, 16(4): 1080—1088

- [3] 梁东丽,同延安, Ove Emterdy, 等. 壤土土壤剖面中 N₂O 浓度的时间和空间变异. *生态学报*, 2003, 23(4): 731—737. Liang D L, Tong Y A, Ove Emterdy, et al. Spatial and temporal variation of nitrous oxide concentrations in soil profiles of Manural Loessial Soil (In Chinese). *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(4): 731—737
- [4] 陆星,巨晓棠,张福锁,等. 硅胶管气样原位采集技术研究土壤 N₂O 浓度及其通量变化. *植物营养与肥料学报*, 2010, 16(2): 457—464. Lu X, Ju X T, Zhang F S, et al. Use of silicone tubes as a simple method to measure in situ soil gas N₂O concentrations and fluxes (In Chinese). *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2010, 16(2): 457—464
- [5] Kuse K, Sawamoto T, Hu R, et al. Comparison of N₂O and CO₂ concentrations and fluxes in the soil profile between a Gray Lowland soil and an Andosol. *Soil Science and Plant Nutrition*, 2010, 56(1): 186—199
- [6] 刘平丽,张啸林,熊正琴,等. 不同水旱轮作体系稻田土壤剖面 N₂O 的分布特征. *应用生态学报*, 2011, 22(9): 2364—2369. Liu P L, Zhang X L, Xiong Z Q, et al. Distribution characteristics of soil profile nitrous oxide concentration in paddy field with different rice-upland crop rotation system (In Chinese). *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2011, 22(9): 2364—2369
- [7] 梁东丽,吴庆强,李生秀,等. 黄土性土壤剖面不同层次 N₂O 浓度的原位监测. *生态学报*, 2009, 29(3): 1421—1427. Liang D L, Wu Q Q, Li S X, et al. In-situ measurement of N₂O concentration from profile of loess soil (In Chinese). *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(3): 1421—1427
- [8] 贾俊香,孙丽英,熊正琴. 小白菜地土壤剖面 N₂O 分布特征与土壤性质变化. *山西农业大学学报*, 2012, 32(1): 48—52. Jia J X, Sun L Y, Xiong Z Q. Distribution characteristics of nitrous oxide concentrations of soil profile and soil properties from baby bok choy field (In Chinese). *Journal of Shanxi Agricultural University*, 2012, 32(1): 48—52
- [9] 刘芳,刘丛强,朱正杰,等. 喀斯特地区土壤剖面 CO₂、CH₄ 和 N₂O 浓度的相关关系. *生态学杂志*, 2010, 29(4): 717—723. Liu F, Liu C Q, Zhu Z J, et al. Correlations among CO₂, CH₄ and N₂O concentrations in soil profiles in central Guizhou Karst area (In Chinese). *Chinese Journal of Ecology*, 2010, 29(4): 717—723
- [10] 梁东丽,同延安, Ove Emterdy, 等. 黄土性土壤剖面中 N₂O 排放的研究初报. *土壤学报*, 2002, 39(6): 803—809. Liang D L, Tong Y A, Ove Emterdy, et al. In-Situ measurement of N₂O emissions from profile of loess soil (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2002, 39(6): 803—809
- [11] 刘芳,刘丛强,王仕禄,等. 黔中喀斯特石漠化地区土壤温室气体浓度的时空分布特征. *环境科学*, 2009, 30(11): 3136—3141. Liu F, Liu C Q, Wang S L, et al. Temporal and spatial variations of greenhouse gases concentrations in soils in Karst stone desertification areas in central part of Guizhou Province (In Chinese). *Environmental Science*, 2009, 30(11):

- 3136—3141
- [12] Wang J Y, Jia J X, Xiong Z Q, et al. Water regime-nitrogen fertilizer-straw incorporation interaction: Field study on nitrous oxide emissions from a rice agroecosystem in Nanjing, China. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 2011, 141 (3): 437—446
- [13] Frolking S, Qiu J J, Boles S, et al. Combining remote sensing and ground census data to develop new maps of the distribution of rice agriculture in China. *Global Biogeochemical Cycles*, 2002, 16(4): 1091—1101
- [14] Ju X T, Xing G X, Chen X P, et al. Reducing environmental risk by improving N management in intensive Chinese agricultural systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2009, 106(9): 3041—3046
- [15] Wang J Y, Pan X J, Xiong Z Q, et al. Effects of biochar amendment in two soils on greenhouse gas emissions and crop production. *Plant and Soil*, 2012, 360(1/2): 287—298
- [16] Imer D, Merbold W, Buchmann N, et al. Temporal and spatial variations of soil CO₂, CH₄ and N₂O fluxes at three differently managed grasslands. *Biogeosciences*, 2013, 10(9): 5931—5945
- [17] Groenigen V, Willem J, Georgius P J, et al. Subsoil ¹⁵N-N₂O concentrations in a sandy soil profile after application of ¹⁵N-fertilizer. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2005, 72(1): 13—25
- [18] Li X, Inubushi K, Sakamoto 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
- [19] Denis A, Recous S. Decomposition of wheat straw and rye residues as affected by particle size. *Plant and Soil*, 1997, 189(2): 197—203
- [20] Zou J W, Huang Y, Jiang J Y. A 3-year field measurement of methane and nitrous oxide emissions from rice paddies in China: Effects of water regime, crop residue, and fertilizer application. *Global Biogeochemical Cycles*, 2005, 19(2), DOI: 10.1029/2004GB002401
- [21] 王丽媛, 孙洁梅, 徐荣, 等. 植物残体的施用对土壤 N₂O 的排放的影响. *新疆农业大学学报*, 2006, 29(3): 26—30. Wang L Y, Sun J M, Xu R, et al. Effect of plant residual application on N₂O emissions (In Chinese). *Journal of Xinjiang Agricultural University*, 2006, 29(3): 26—30
- [22] Aulakh M S, Walters D T, Doran J W, et al. Crop residue type and placement effects on denitrification and mineralization. *Soil Science Society of America Journal*, 1991, 55(4): 1020—1025
- [23] Hauggaard-Nielsen H, Ambus P, Jensen E S. Interspecific competition, N use and interference with weeds in pea-barley intercropping. *Field Crops Research*, 2001, 70(2): 101—109
- [24] Toma Y, Hatano R. Effect of crop residue C: N ratio on N₂O emissions from Gray Lowland soil in Mikasa, Hokkaido, Japan. *Soil Science and Plant Nutrition*, 2007, 53(2): 198—205
- [25] Blanco-Canqui H, Lal R. Soil structure and organic carbon relationships following 10 years of wheat straw management in no-till. *Soil & Tillage Research*, 2007, 95(1): 240—254
- [26] Yao Z, Zhou Z, Zheng X, et al. Effects of organic matter incorporation on nitrous oxide emissions from rice-wheat rotation ecosystems in China. *Plant and Soil*, 2010, 327(1/2): 315—330
- [27] 蔡祖聪. 水分类型对土壤排放的温室气体组成和综合温室效应的影响. *土壤学报*, 1999, 36(4): 484—490. Cai Z C. Effects of water regime on CO₂, CH₄ and N₂O emissions and overall potential for greenhouse effect caused by emitted gases (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 1999, 36(4): 484—490
- [28] 马静, 徐华, 蔡祖聪, 等. 焚烧麦秆对稻田 CH₄ 和 N₂O 排放的影响. *中国环境科学*, 2008, 28(2): 107—110. Ma J, Xu H, Cai Z C, et al. Influence of wheat straw burning on CH₄ and N₂O emissions from rice fields (In Chinese). *China Environmental Science*, 2008, 28(2): 107—110
- [29] 邹建文, 黄耀, 宗良纲, 等. 稻田灌溉和秸秆施用对后季麦田 N₂O 排放的影响. *中国农业科学*, 2003, 36(4): 409—414. Zou J W, Huang Y, Zong L G, et al. Effect of water regime and straw application in paddy rice season on N₂O emission from following wheat growing season (In Chinese). *Scientia Agricultura Sinica*, 2003, 36(4): 409—414
- [30] 王改玲, 郝明德, 陈德立. 秸秆还田对灌溉玉米田土壤反硝化及 N₂O 排放的影响. *植物营养与肥料学报*, 2006, 12(6): 840—844. Wang G L, Hao M D, Chen D L. Effect of stubble incorporation and nitrogen fertilization on denitrification and nitrous oxide emission in irrigated maize soil (In Chinese). *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2006, 12(6): 840—844
- [31] Millar N, Ndufa J K, Cadisch G, et al. Nitrous oxide emissions following incorporation of improved-fallow residues in the humid tropics. *Global Biogeochemical Cycles*, 2004, 18(1), DOI: 10.1029/2003GB002114
- [32] Chen S Y, Zhang X Y, Pei D, et al. Effects of straw mulching on soil temperature, evaporation and yield of winter wheat field experiments on the North China Plain. *Annals of Applied Biology*, 2007, 150(3): 261—268
- [33] 朱琳, 刘春晓, 王晓华, 等. 水稻秸秆沟埋还田对麦田土壤环境的影响. *生态与农村环境学报*, 2012, 28(4): 399—403. Zhu L, Liu C X, Wang X H, et al. Effect of burial of rice straw in furrows on soil environment of wheat field (In Chinese). *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2012, 28(4): 399—403

SPATIAL AND TEMPORAL DISTRIBUTIONS OF SOIL PROFILE N₂O AS AFFECTED BY N FERTILIZATION AND STRAW INCORPORATION IN THE RICE-WHEAT ROTATION SYSTEM

Pan Xiaojian¹ Liu Pingli^{1,2} Li Lu¹ Zhou Ziqiang¹ Xiong Zhengqin^{1†}

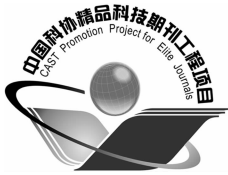
(1 *Jiangsu Key Laboratory of Low Carbon Agriculture and GHGs Mitigation, College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China*)

(2 *Hebi Academy of Agricultural Sciences, Hebi, Henan 458030, China*)

Abstract Innovative management practices are required to increase soil fertility and to reduce nitrous oxide (N₂O) emission from agricultural soils. Spatial heterogeneity of N₂O flux is attributed to various soil properties associated with different management practices. N₂O flux is the result of integration of N₂O production, consumption, and transport processes within soil profiles. N₂O production, consumption, and transport processes varied markedly with depth near the soil surface. Variations of N₂O concentration were monitored at 7 cm, 15 cm, 30 cm, and 50 cm in depth along a soil profile (each monitoring point covering a range of 5 cm of soil layer) using an in-situ gas collection system under the rice-wheat annual rotation cropping system. The experiment was designed to have 2 levels of N application and 3 levels of straw incorporation, i. e. N0 (N 0 kg hm⁻² crop⁻¹) and N1 (N 250 kg hm⁻² crop⁻¹), and S0 (straw 0 t hm⁻² crop⁻¹), S1 (straw 3 t hm⁻² rice crop⁻¹), and S2 (straw 6 t hm⁻² rice crop⁻¹), forming four treatments, i. e. N0S0, N1S0, N1S1 and N1S2, and each treatment had 3 replicates. The observations, once a week over the two cycles of rice and wheat rotations from June 2010 to May, 2012 found that N₂O concentrations in soil profiles demonstrated a significant feature of spatio-temporal distribution for all the treatments. N₂O concentration peaked during the early growth stages of both wheat and rice, and then fluctuated slightly during the rest of the growth season; N fertilization significantly boosted the peak, while incorporation of rice straw, particularly in Treatment N1S2, lowered the peak. However, neither N fertilization nor straw incorporation affected seasonal dynamics of N₂O concentrations in various soil layers of a profile. During the wheat seasons, distinct N₂O concentration distributions were observed in the soil layers at 30 cm and 50 cm in depth. During the first wheat season, N₂O concentration in soil profile displayed a decreasing order of 30 cm ≥ 50 cm ≥ 15 cm ≥ 7 cm and during the second wheat season, 50 cm ≥ 30 cm ≥ 15 cm ≥ 7 cm; But during the rice seasons, N₂O focused in the surface soil layers, at 7 cm and 15 cm, and followed an order of 15 cm ≥ 7 cm ≥ 30 cm ≥ 50 cm in both rice seasons. Soil N₂O concentrations in the three N fertilized treatments, N1S0, N1S1 and N1S2, were significantly higher than that in CK (N0S0). Particularly in Treatment N1S0, it was 2 to 3 times that in CK in all the corresponding soil layers during the two rice-wheat cycles ($p < 0.05$). To the contrary, straw incorporation at a high rate significantly reduced N₂O concentrations in the near surface soil layers ($p < 0.05$), but increased to some extent in the lower soil layers in the rice season. The findings indicate that N₂O concentrations vary markedly with depth in the soil layer between 0 and 50 cm under the annual rice and wheat rotation and that straw incorporation at a high rate markedly reduces N₂O concentration near in the surface soil layer. The underlying mechanism of straw incorporation reducing N₂O concentration in the surface soil layer requires further research.

Key words Rice-wheat rotation system; Soil gas collection system; N₂O concentration; Soil profile

(责任编辑:卢 萍)



土壤学报

(Turang Xuebao)



第 52 卷 第 2 期 2015 年 3 月

目次

综述与评论

- 理论施氮量的改进及验证——兼论确定作物氮肥推荐量的方法 巨晓棠(249)
- 森林土壤氧化亚氮排放对大气氮沉降增加的响应研究进展 方华军 程淑兰 于贵瑞等(262)

研究论文

- 商丹盆地黄土母质发育土壤的微形态特征及其诊断意义 庞奖励 黄春长 查小春等(272)
- 基于土壤氮素平衡的氮肥推荐方法——以水稻为例 宁运旺 张永春(281)
- 三峡库区紫色土的碎石分布特征 王小燕 王天魏 蔡崇法等(293)
- 黄土区坡耕地土壤结皮对入渗的影响 吴秋菊 吴佳 王林华等(303)
- 基于局部加权回归的土壤全氮含量可见-近红外光谱反演 陈颂超 冯来磊 李硕等(312)
- 五价砷在中国南方两类典型土壤中的迁移特征 李璐璐 张华 周世伟等(321)
- 柠檬酸盐对黑云母表面溶解及微结构变化的影响 李继福 张文君 鲁剑巍等(329)
- 活化过硫酸钠氧化土壤对挥发性有机污染物吸附特性的影响 丁浩然 王磊 龙涛等(336)
- 退化喀斯特森林植被自然恢复中土壤有机碳 $\delta^{13}\text{C}$ 值特征 黄宗胜 喻理飞 符裕红等(345)
- 缓释复合肥对茄子产量和不同采果期品质的影响 王菲 李银科 王正银等(355)
- 氮肥和秸秆施用对稻麦轮作体系下土壤剖面 N_2O 时空分布的影响 潘晓健 刘平丽 李露等(364)
- 应用 ^{15}N 示踪法研究咸水滴灌棉田氮肥去向 张文 周广威 闵伟等(372)
- 中国南方基础工程建设中土壤生态修复技术体系与实践 徐国钢 程睿 赖庆旺等(381)
- 黑土农田施加 AM 菌剂对大豆根际菌群结构的影响 宋福强 程蛟 常伟等(390)
- 自生固氮菌对土壤钾的活化作用 张亮 袁玲 黄建国(399)
- 长期保护性耕作对纤维素降解基因 *cbh I* 多样性的影响 陈坤 李传海 朱安宁等(406)
- 模拟条件下土壤硝化作用及硝化微生物对不同水分梯度的响应 刘若萱 张丽梅 白刃等(415)
- 水力侵蚀影响下土壤有机碳和微生物数量动态变化特征 喻为 李忠武 黄金权等(423)

研究简报

- 土壤制图中土壤类型配色模型构建与应用 徐爱国 张维理 张怀志等(431)
- 土壤专题图中采样点点位标识模型的构建 张怀志 张维理 徐爱国等(440)
- 非对称混合电解质体系中恒电荷颗粒表面与 Stern 电位的测定 樊会敏 赵艳 刘新敏等(446)
- 植被重建下露天煤矿排土场边坡土壤碳储量变化 李俊超 党廷辉 薛江等(453)
- 滨海盐渍化土壤理化性质与小麦生产间的关系 谢文军 张衍鹏 张森等(461)

信息

- 第 20 届国际土壤与耕作研究组织大会 (414)
- 《土壤学报》2014 年度审稿专家名录 (467)

封面图片: 陕西丹凤盆地土壤黏化层典型微形态(由庞奖励提供)

CONTENTS

Reviews and Comments

- Improvement and validation of theoretical N rate (TNR)—Discussing the methods for N fertilizer recommendation Ju Xiaotang(261)
- Study on the responses of nitrous oxide emission to increased nitrogen deposition in forest soils; A review Fang Huajun, Cheng Shulan, Yu Guirui, et al. (270)

Research Articles

- Micromorphological features of soils derived from loess in Shangdan Basin and their significance in soil diagnosis Pang Jiangli, Huang Chunchang, Zha Xiaochun, et al. (279)
- Soil nitrogen balance based recommendation of nitrogen fertilization; A case study of rice ... Ning Yunwang, Zhang Yongchun(292)
- Spatial distribution of rock fragments in purple soil in Three Gorges Reservoir Area Wang Xiaoyan, Wang Tianwei, Cai Chongfa, et al. (301)
- Effects of soil crusts on infiltration in slope land in the Loess Area Wu Qiuju, Wu Jia, Wang Linhua, et al. (311)
- Vis-NIR spectral inversion for prediction of soil total nitrogen content in laboratory based on locally weighted regression Chen Songchao, Feng Lailei, Li Shuo, et al. (319)
- Migration of pentavalent antimony in two types of soils typical to South China Li Lulu, Zhang Hua, Zhou Shiwei, et al. (327)
- Effects of citrate dissolving surface and altering microstructure of biotite Li Jifu, Zhang Wenjun, Lu Jianwei, et al. (335)
- Effect of soil oxidation with reactivated sodium persulfate on sorption of volatile organic contaminants Ding Haoran, Wang Lei, Long Tao, et al. (343)
- Characteristics of $\delta^{13}\text{C}$ value of soil organic carbon under naturally restoring degenerative karst forest Huang Zongsheng, Yu Lifei, Fu Yuhong, et al. (353)
- Effects of slow-release compound fertilizer on yield and quality of eggplant relative to timing of harvest Wang Fei, Li Yinke, Wang Zhengyin, et al. (362)
- Spatial and temporal distributions of soil profile N_2O as affected by N fertilization and straw incorporation in the rice-wheat rotation system Pan Xiaojian, Liu Pingli, Li Lu, et al. (371)
- Fate of fertilizer N in saline water drip-irrigated cotton field using ^{15}N tracing method Zhang Wen, Zhou Guangwei, Min Wei, et al. (379)
- Soil ecology remediation technical system and its practice in infrastructure construction in South China Xu Guogang, Cheng Rui, Lai Qingwang, et al. (389)
- Impact of inoculation with AM fungi on microbial community structure in soybean rhizosphere in farmland of black soil Song Fuqiang, Cheng Jiao, Chang Wei, et al. (397)
- Mobilization of potassium in soils by *Azotobacter* Zhang Liang, Yuan Ling, Huang Jianguo(404)
- Effects of long-term conservation tillage on diversity of cellulose degradating gene *cbh I* in Fluvo-aquic soil Chen Kun, Li Chuanhai, Zhu Anning, et al. (413)
- Response of nitrification and nitrifier to change in soil moisture content under simulated conditions Liu Ruoxuan, Zhang Limei, Bai Ren, et al. (421)
- Dynamics of soil microbial population and organic carbon under water erosion Yu Wei, Li Zhongwu, Huang Jinquan, et al. (430)

Research Notes

- Construction of a color matching model for soil types and its application to soil mapping Xu Aiguo, Zhang Weili, Zhang Huaizhi, et al. (439)
- Development of soil sampling point labeling model for the matic soil maps Zhang Huaizhi, Zhang Weili, Xu Aiguo, et al. (445)
- Principle for determination of surface potential and Stern plane potential of constant charged particles in asymmetric mixed electrolyte solutions Fan Huimin, Zhao Yan, Liu Xinmin, et al. (452)
- Variability of soil organic carbon storage in dump slope of opencast coal mine under revegetation Li Junchao, Dang Tinghui, Xue Jiang, et al. (460)
- Relationships between soil physicochemical properties and wheat production in coastal saline soil Xie Wenjun, Zhang Yanpeng, Zhang Miao, et al. (466)

Cover Picture: Typical micromorphological photos in Horizon Bt of the soil profile in Danfeng Basin, Shaanxi Province, China (by Pang Jiangli)