

doi: 10.13866/j.azr.2018.04.23

不同水肥条件对绿洲农田土壤 N₂O 排放的影响^①

王勇^{1,2}, 赵成义¹

(1. 中国科学院新疆生态与地理研究所绿洲生态与荒漠环境重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830011;

2. 中国科学院大学 北京 100049)

摘要: 研究土壤干湿变化对绿洲农田土壤氧化亚氮(N₂O)排放的影响,可优化绿洲农田灌溉施肥措施、减少绿洲农田土壤 N₂O 排放。基于室内培养试验,将 100 g 风干土置于 730 mL 马氏瓶中,放入 25 °C 培养箱内培养,采用称重法严格控制施氮量和土壤含水量,通过注射器连接三通阀抽取瓶内气体,测定不同施氮量和干湿变化下绿洲农田土壤 N₂O 排放量。结果表明:① 土壤干湿变化显著影响农田土壤 N₂O 排放,未施氮情况下,干燥处理下土壤 N₂O 累积排放量是湿润处理下土壤 N₂O 累积排放量的 1.28 倍;② 与未施氮处理相比,施氮显著促进了土壤 N₂O 排放,施肥土壤 N₂O 排放速率在施氮后 0~4 d 内出现排放高峰,随后显著降低;③ 施氮后湿润土壤 N₂O 排放速率显著高于干燥条件下的土壤 N₂O 排放速率($P < 0.05$),湿润土壤 N₂O 累积排放量为 2.07 mg·kg⁻¹,是干燥条件下土壤 N₂O 累积排放量的 1.16 倍。因此,在绿洲农田滴灌施肥期间,适当增加滴灌施肥的时间间隔调控土壤干湿状况,可有效减少绿洲农田土壤 N₂O 的排放。

关键词: 绿洲农田; 干湿变化; 施氮; N₂O 排放

农田土壤排放的 N₂O 约占全球 N₂O 总排放量的 60%,是重要的大气 N₂O 排放源⁽¹⁾。土壤 N₂O 的排放是微生物作用下的硝化和反硝化过程产生的。N₂O 在土壤中传输、还原并释放到大气中的过程。影响农田土壤 N₂O 排放的因素包括土壤温度⁽²⁾、水分条件⁽³⁾、土壤性质⁽⁴⁾和农业管理措施⁽⁵⁻⁶⁾等。其中,土壤水分条件是影响土体中气体有效性及扩散率、易溶性物质有效性以及微生物活动的关键因子,通过影响硝化及反硝化微生物的活性而控制硝化反硝化速率⁽⁷⁾。相关研究发现,当土壤充水孔隙度(WFPS)低于 60%时,土壤 N₂O 产出过程以好氧微生物的硝化作用为主,硝化作用随土壤含水量的增加呈线性增加趋势;当 WFPS 高于 60%时,土壤 N₂O 产出过程以厌氧微生物的反硝化作用为主⁽⁸⁾。不同的农田生态系统中土壤水分条件与 N₂O 产出量的关系存在较大差异:稻麦轮作系统中土壤湿度接近田间持水量时(84%~86% WFPS),土壤 N₂O 排放量达到最大值,而棉田在水分条件为 48% WFPS 时,土壤 N₂O 排放量最大⁽⁹⁻¹⁰⁾。

灌溉是干旱区农业获得高产稳产的重要手段,

该区域农田土壤 N₂O 排放受灌溉次数、灌溉方式和灌溉量的影响,农田土壤干湿状况会对土壤 N₂O 排放强度产生较大影响⁽¹¹⁻¹²⁾。研究表明,农田土壤在灌溉施肥后 10 d 左右出现 N₂O 排放高峰,该时段内土壤 N₂O 排放量约占农田生长季土壤 N₂O 排放量的 80%~95%^(11,13-14)。干旱区绿洲棉田产量高,施氮肥量大且灌溉频繁,土壤干湿变化引起的绿洲农田土壤 N₂O 排放问题不容忽视。然而,关于土壤干湿变化对绿洲农田土壤 N₂O 排放动态变化的研究仍然较少。本文以干旱区绿洲棉田为研究对象,通过室内培养试验,研究干湿变化对农田土壤 N₂O 排放的影响,为干旱区绿洲农田土壤 N₂O 排放估算和改善水分管理措施提供科学依据。

1 试验材料与方法

1.1 供试土壤

试验供试土壤采自新疆阿克苏国家水平衡试验站(40°37'N 80°45'E)。站区年平均气温 11.2 °C,多年平均降水量为 45.7 mm,年水面蒸发量为 2 500

① 收稿日期: 2017-10-03; 修订日期: 2017-12-21

基金项目: 国家自然科学基金项目(41671030, U1403281); 中国科学院重大仪器研制项目(Y52410)

作者简介: 王勇(1990-),男,硕士研究生,主要从事植物生态学研究。E-mail: 315599192@qq.com

通讯作者: 赵成义。E-mail: zcy@ms.xjbi.ac.cn

mm, 无霜期为 207 d。棉田土壤为沙质潮土。用土钻采集 0~20 cm 表层土壤, 研磨后过 2 mm 孔径的筛子去除杂质, 自然风干后保存在室温条件下供试验使用。供试土壤质地为粉砂土壤(44% 砂粒、55% 粉粒和 6% 黏粒), pH 值为 7.16; 土壤有机质为 6.96 g·kg⁻¹, 容重 1.32 g·cm⁻³, 全氮含量为 0.48 g·kg⁻¹, 土壤容积密度为 1.26 g·cm⁻³, 颗粒密度为 2.65 g·cm⁻³, 用来计算土壤 WFPS, 计算公式为:

$$\text{WFPS} = \frac{\text{土壤含水量} \times \text{容重}}{1 - (\text{容重} / \text{颗粒密度})} \times 100\%$$

1.2 试验方法

1.2.1 试验设计 试验过程中, 称取 100 g 风干土加入 730 mL 的马氏瓶中, 通过注射器加入蒸馏水使土壤水分达到 80% WFPS, 在温度为 25 °C 的培养箱中培养 8 d, 使得土壤微生物恢复活性。培育 8 d 后, 使用干燥装置将土壤含水量降至相应值。干燥装置参照 Mikha 等^[15] 使用的装置, 略微改进, 将 35 g 的硅胶干燥剂(使土壤含水量降低 20% WFPS)置于若干小孔的纸杯中, 并用大头针固定在玻璃杯盖处, 纸杯四周扎出许多小孔来吸收培育瓶中的空气水分。

试验采用双因素设计: 设置 2 个干湿变化强度, 分别为较干燥土壤水分条件(dry soil condition, DSC), 土壤含水量最高值和最低值分别为 80% 和 40% WFPS) 和较湿润土壤水分条件(wet soil condition, WSC), 土壤含水量最高值和最低值分别为 80% 和 60% WFPS); 3 个施氮量处理分别为不施氮(0 N)、低施氮量(200 N, 每 100 g 干土共添加 7.4 mg N 的尿素, 相当于田间 200 kg·hm⁻² 的施氮量) 和高施氮量(400 N, 每 100 g 干土共添加 14.8 mg 的尿素, 相当于田间 400 kg·hm⁻² 的施氮量) 共计 6 个处理, 每个处理 3 个重复。将尿素氮总量进行均分, 分别在试验开始后的第 0 d、第 16 d、第 32 d 和第 48 d 进行, 共 4 个水分变化周期, 整个培养试验共持续 64 d。

每次土壤干湿变化过程包括 4 个阶段: ① 用注射器将蒸馏水或配置的尿素溶液小心施于培养瓶中的土壤至 80% WFPS 含水量(湿润期 0~4 d); ② 使用干燥装置将土壤含水量由 80% WFPS 降至 60% WFPS(干燥期 5~8 d); ③ 置换干燥剂将 DSC 处理下的土壤含水量由 60% WFPS 降至 40% WF-

PS, 对 WSC 处理不进行土壤干燥过程, 土壤含水量保持在 60% WFPS(9~12 d); ④ 土壤含水量保持在 40% 或 60% WFPS 含水量下(干旱期, 13~16 d)。

1.2.2 气体采集与分析 试验开始后, 每隔 4 d 用 50 mL 的注射器通过瓶盖上三通阀门对供试土壤进行气体采集, 共计采集 16 次。每次采集气体前, 按压注射器 3 次, 排空注射器内气体。采气后, 打开培养瓶盖, 用小风扇在对供试土壤吹风 30 s, 之后放置约 15 min, 使瓶内 N₂O 浓度与大气一致。用注射器喷洒蒸馏水进行再湿润, 采用称重法使土壤水分含量分别恢复到各自水平, 拧紧瓶盖继续置于 25 °C 恒温培养箱中培养。抽取气体使用气相色谱仪(Agilent 7890A, Agilent, Palo Alto, CA, USA) 测定, 土壤 N₂O 排放量计算公式为:

$$F_t = (C_b - C_a) \times V$$

式中: F_t 表示土壤 N₂O 排放量(mg); C_b 表示培养瓶内 N₂O 浓度值(mg·mL⁻¹); C_a 表示空气 N₂O 浓度值(mg·mL⁻¹); V 是去除土样和干燥装置后培养瓶的实际容积(mL)。

1.2.3 数据处理 采用多因素分析方法检验土壤水分条件和施氮量的主效应及其交互作用对土壤 N₂O 排放的影响。差异显著性水平($P < 0.05$) 通过最小显著差值法(LSD) 进行检验, 并利用 Origin 8.5 软件绘图。

1.3 预试验

试验前开展预试验, 测定 3 个恒定水分梯度(40%、60% 和 80% WFPS) 对土壤 N₂O 排放的影响。其中 40% 和 80% WFPS 分别代表灌溉期棉田土壤含水量的最低值和最高值^[16], 60% WFPS 是限制土壤微生物活性的重要阈值^[17]。由表 1 可知, 60% WFPS 下的土壤 N₂O 累积排放量比 40% WFPS 下土壤 N₂O 累积排放高 0.38 mg·kg⁻¹, 比 80% WFPS 下土壤 N₂O 累积排放量低 2.42 mg·kg⁻¹。

表 1 不同施氮水平下各水分梯度对 N₂O 累积排放量的影响

水分梯度 (WFPS)	N ₂ O 累积排放量/(mg·kg ⁻¹)		
	0 N	200 N	400 N
40%	0.003 59 ± 0.00 a	0.12 ± 0.01 a	0.16 ± 0.03 a
60%	0.005 57 ± 0.00 b	0.39 ± 0.05 b	0.65 ± 0.07 b
80%	0.005 26 ± 0.00 b	2.16 ± 0.10 c	3.71 ± 0.18 c

注: 不同字母表示同一施氮水平下不同水分梯度间 5% 水平的差异显著性。

2 结果与分析

2.1 干湿变化对土壤 N₂O 排放速率的影响

对于未施氮(0 N)土壤,整个培养期每4 d土壤 N₂O 排放速率为 0.06~2.59 μg·kg⁻¹。DSC 和 WSC 处理下的 N₂O 排放速率峰值均出现在试验后的 5~8 d(图 1),分别为 2.59 μg·kg⁻¹和 2.15 μg·kg⁻¹。排放高峰期后 N₂O 排放量维持在较低水平,该时段内不同处理下的 N₂O 排放速率差异不显著($P \geq 0.05$)。在不施肥土壤,N₂O 排放速率随土壤干湿变化呈现周期性变化,在每个干湿变化循环

进行的第 5~8 d N₂O 排放速率均出现高数值(图 1)。与第 1 个循环相比,第 2、3、4 个循环中 N₂O 排放速率显著下降,且最大值与最小值较第 1 循环明显减少。N₂O 排放速率达到峰值后,DSC 处理下的土壤 N₂O 排放速率随水分含量下降(60%~40% WFPS)继续保持较高排放速率;而 WSC 处理水分含量保持在 60% WFPS,土壤 N₂O 排放迅速减少(图 1)。从土壤干湿变化阶段来看,WSC 和 DSC 处理下的土壤 N₂O 排放速率峰值均发生在干燥期,而在水分条件未发生变化的时期 N₂O 排放速率很低。

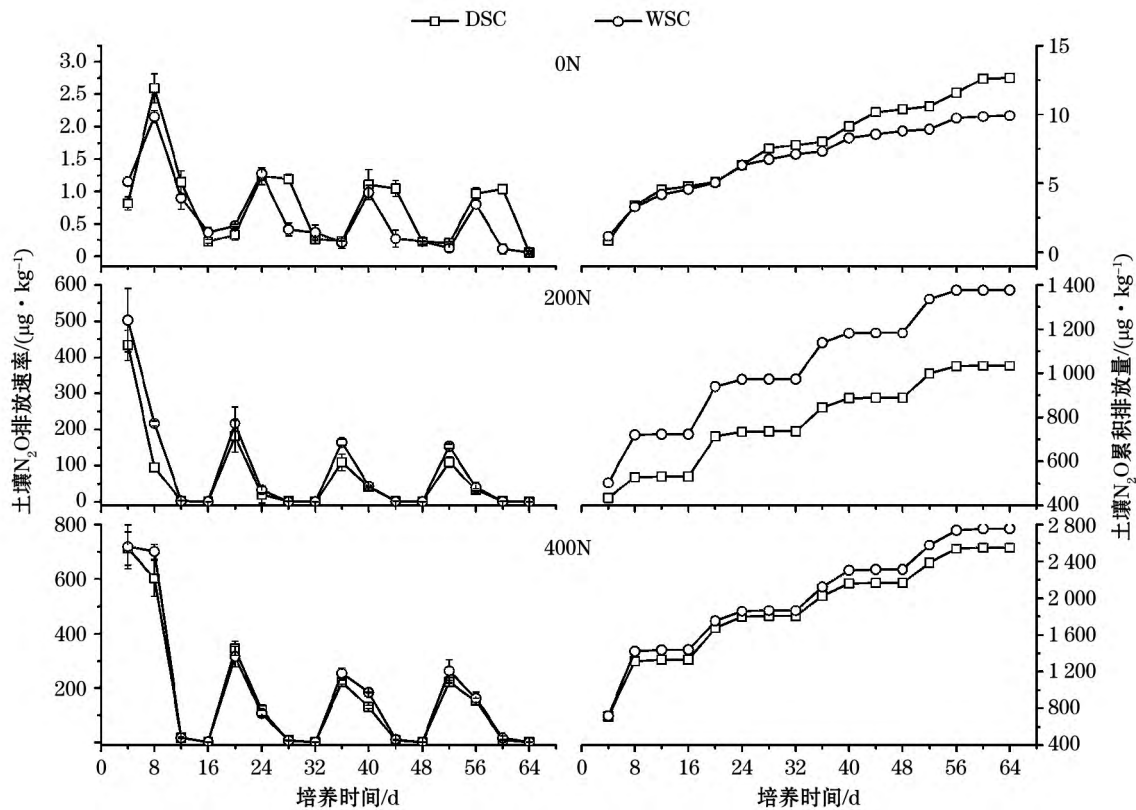


图 1 干湿变化对土壤 N₂O 排放速率(左)和累积排放量(右)的影响

Fig. 1 Effects of soil moisture content on N₂O emission rate (left) and accumulative N₂O emission (right)

对于施氮土壤,施加氮肥迅速增加了土壤 N₂O 排放,在各循环进行的第 4 d,WSC 和 DSC 处理均出现 N₂O 排放峰值,即施氮后土壤 N₂O 排放峰值发生在水分条件较好的湿润期,峰值排放速率达到整个培养期土壤 N₂O 累积排放量的 60.87%~93.93%。排放高峰期后水分含量下降,土壤 N₂O 排放速率降低并迅速恢复到较低水平。整个培养过程中,DSC 处理下的土壤 N₂O 排放速率均低于 WSC 处理(图 1),且受到施氮水平影响存在一定差异:高施氮量(400 N)下干燥土壤和湿润土壤 N₂O 排放速率峰

值分别为 221.71~712.54 μg·kg⁻¹和 254.22~719.01 μg·kg⁻¹,而低施氮量(200 N)下干燥和湿润土壤 N₂O 排放速率峰值分别为 108.76~433.78 μg·kg⁻¹和 153.63~503.08 μg·kg⁻¹。

施用氮肥使得土壤 N₂O 排放速率显著增加($P < 0.05$),峰值达到 108.79~719.01 μg·kg⁻¹。施氮量增加使得土壤 N₂O 排放速率显著增加($P < 0.05$):低施氮量下,不同水分条件土壤 N₂O 排放速率峰值为 108.76~503.08 μg·kg⁻¹;高施氮量下不同水分条件土壤 N₂O 排放速率峰值为 221.71~

719.01 $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

2.2 干湿变化对土壤 N₂O 累积排放量的影响

对于未施氮(0 N)土壤, DSC 处理下的 N₂O 累积排放量显著高于 WSC 处理下的 N₂O 累积排放量(图 1)。培养期内, DSC 处理下的土壤 N₂O 累积排放量为 $126.7 \times 10^{-4} \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 是 WSC 处理下 N₂O 累积排放量($99.1 \times 10^{-3} \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) 的 1.28 倍。培养前期(0~24 d), 不同水分条件下土壤 N₂O 累积排放量差异不大; 培养后期, DSC 处理下 N₂O 累积排放量显著高于 WSC 处理下的 N₂O 累积排放量($P < 0.05$)。

施氮处理下, 湿润土壤 N₂O 累积排放量高于干燥土壤 N₂O 累积排放量。WSC 处理下土壤 N₂O 累积排放量为 $2.07 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 是 DSC 处理下土壤 N₂O 累积排放量($1.79 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) 的 1.16 倍($P < 0.05$, 表 2)。不同施氮水平下干湿状况对土壤 N₂O 累积排放的影响不同, 200 N 水平下, 干燥土壤 N₂O 累积排放量为 $1.03 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 较湿润土壤 N₂O 累积排放量($1.38 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) 减少 25.36% ($P < 0.05$); 400 N 水平下, DSC 处理下的土壤累积 N₂O 排放量较 WSC 处理下土壤累积 N₂O 排放量减少 7.63% (图 1)。

施氮量增加显著提高了不同水分条件下土壤 N₂O 累积排放量。400 N 水平土壤 N₂O 累积排放量达到 $2.65 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 是 200 N 水平下土壤 N₂O 累

积排放量的 2.19 倍, 二者存在显著差异($P < 0.05$, 表 2)。干燥土壤和湿润土壤在 400 N 水平下 N₂O 累积排放量分别为 $2.55 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $2.76 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; 与 200 N 水平相比, 土壤 N₂O 累积排放量分别增加了 1.47 倍和 1.01 倍。

3 讨论

土壤水分变化是影响土壤氮素迁移转化的重要因素⁽¹⁸⁾, 连续的土壤干湿变化会促进土壤 N₂O 排放⁽¹⁹⁾。土壤干湿变化使得土壤中硝化作用和反硝化作用交替循环进行, 抑制 N₂O 还原成 N₂, 导致 N₂O 排放增加⁽²⁰⁾。本试验中, 受水分条件影响, 未施氮土壤 N₂O 排放速率呈现出周期性变化规律, DSC 和 WSC 处理下的土壤 N₂O 排放速率在土壤含水量降低的干燥期较高, 在水分含量保持恒定的湿润期和干旱期 N₂O 排放量较低, 该结果与梁东丽等⁽²¹⁾的研究一致。常规的水分管理措施下, 土壤 N₂O 的排放基本上来自于土壤硝化和反硝化作用都十分强烈的干湿交替阶段。本研究发现, 干燥土壤 N₂O 累积排放量是湿润土壤 N₂O 累积排放量的 1.28 倍, 表明不施氮土壤中, 干燥水分条件下更利于土壤 N₂O 排放, 可能是土壤干燥过程中会破坏土壤团聚体结构, 使有机质失去物理保护, 释放出大量的活性有机碳氮, 造成微生物更易与底物接触^(18, 22), 使得干燥处理土壤 N₂O 排放与湿润处理相比明显增加。

灌溉施肥能够迅速促进农田土壤 N₂O 排放, 施肥后数小时至 10 d 内出现土壤 N₂O 排放峰值^(13, 23)。本文试验中施肥后土壤 N₂O 排放速率迅速增加, 峰值排放速率达到整个培养期土壤 N₂O 累积排放量的 60.87%~93.93%。这主要是氮肥水解释为硝化和反硝化微生物提供了大量可利用氮源⁽²⁴⁻²⁵⁾, 促进土壤 N₂O 排放。土壤 N₂O 排放速率随土壤水分下降而减少, 土壤 N₂O 排放速率峰值出现在水分状况良好的湿润期阶段(80% WFPS)。因为, 当氮源充足时, 土壤含水量较高, 使得土壤氧气扩散性降低, 有利于土壤中的厌氧微生物进行反硝化作用, 促进了土壤 N₂O 排放。该结果与 Liu 等⁽¹⁰⁾观测到的棉田水分条件为 48% WFPS 时土壤 N₂O 排放量最大的结论不一致。因为田间 N₂O 排放是土壤中 N₂O 产出、传输和排放共同作用的结果, 过高的土壤含水量抑制了土壤 N₂O 传输, 促进了 N₂O

表 2 不同处理下土壤 N₂O 累积排放量及相关性分析

Tab. 2 Cumulative N₂O emissions under different treatments and their correlation analysis

处理	N ₂ O 累积排放量/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)
干湿变化强度	
WSC	2.07 ± 0.06 a
DSC	1.79 ± 0.08 b
施氮水平	
0 N	0.01 ± 0.00 a
200 N	1.21 ± 0.06 b
400 N	2.65 ± 0.13 c
回归分析	
	<i>p</i> -value
干湿变化	*
施氮水平	***
施氮 × 水分条件变化	NS

注: 不同字母表示不同处理间 5% 水平的差异显著性; * 表示不同要素对 N₂O 累积排放量影响的显著程度, NS 表示要素对 N₂O 累积排放量影响不显著。

通过反硝化作用还原为氮气⁽²⁰⁾,使得较低的含水量(48% WFPS)下 N₂O 释放量较高。本实验中,培育土层较薄,抑制土壤 N₂O 传输的作用较弱,观测到较高的 N₂O 排放量反映了 80% WFPS 含水量下较高的 N₂O 产出强度。

在水分条件变化干燥期(80%~60% WFPS)土壤 N₂O 排放速率不断下降。主要是土壤微生物碳氮随土壤含水量降低呈下降趋势⁽²⁶⁻²⁷⁾。施氮作用下,WSC 和 DSC 处理下的土壤 N₂O 累积排放量分别为 2.07 mg·kg⁻¹和 1.79 mg·kg⁻¹,这与 Dobbie 等、丁军军等的研究结果一致⁽²⁸⁻²⁹⁾。施氮土壤 N₂O 累积排放量随水分条件下降出现不同程度的减少。Drury 等⁽³⁰⁾认为,干旱时期通过控制灌溉量等水分管理措施,降低农田土壤水分含量能够减少土壤中氮元素的损失;武其甫等⁽³¹⁾则认为,炎热季节实行少量多次灌溉,可以减少土壤干湿变化导致的 N₂O 激增,这些研究均表明适当控制土壤水分条件能够减少土壤 N₂O 的排放。施氮量是影响土壤 N₂O 排放量的关键因素,400 N 水平土壤 N₂O 累积排放量达到 2.65 mg·kg⁻¹,是 200 N 水平下土壤 N₂O 累积排放量的 2.19 倍,该结果与 Liu 等⁽³²⁾的研究结果一致。施氮量增加会显著增加土壤 N₂O 排放($P < 0.05$)。施氮量还影响土壤 N₂O 排放对干湿变化的响应,低施氮水平下干燥土壤较湿润土壤减少的 N₂O 排放量(25.36%)高于高施氮水平(7.63%),表明低施氮水平下增加滴灌施肥的时间间隔,控制土壤水分条件能够更好的减少土壤 N₂O 排放。吴得峰等⁽³³⁾研究发现,适当减少施氮量能够有效减少土壤 N₂O 排放量且不影响雨养区玉米产量。Scheer 等⁽²³⁾对近 25 a 棉花—小麦轮作生态系统不同灌溉和施肥管理方式进行了模拟,结果表明合理的灌溉和优化施肥能够增加作物产量并有效减少土壤 N₂O 排放量。

4 结论与展望

土壤干湿变化和施氮量均显著影响农田土壤 N₂O 排放量,但二者交互作用不显著。灌溉施肥能够显著增加农田土壤的 N₂O 排放量。土壤 N₂O 累计排放量随水分条件和施氮水平增加而明显增加。较湿润土壤水分条件利于未施肥土壤减少土壤 N₂O 排放,而较干燥的土壤水分条件利于施肥土壤减少土壤 N₂O 排放。施氮水平能够影响土壤 N₂O 对水

分条件变化的响应,低施氮量下干燥土壤更有利于减少土壤 N₂O 排放。因此,合理灌溉和优化施肥,适当增加滴灌施肥的时间间隔来调控水分,能够减少绿洲农田土壤 N₂O 的排放。

本文研究了干湿变化对绿洲农田土壤 N₂O 排放特征的影响,但并未对其影响过程中的硝态氮和铵态氮排放进行深入研究。未来将重点考虑水分条件变化对硝化反硝化作用的影响机制,并结合大田试验进一步探讨干湿变化对农田土壤 N₂O 排放和对作物产量的影响。

参考文献(References):

- (1) IPCC. Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Final Draft Underlying Scientific-Technical Assessment, Stockholm, Sweden, 2013.
- (2) 刘杏认,董云社,齐玉春. 土壤 N₂O 排放研究进展(J). 地理科学进展, 2005, 24(6): 50-58. (Liu Xingren, Dong Yunshe, Qi Yuchun. Research progresses in nitrous oxide emission from soil(J). Progress in Geography, 2005, 24(6): 50-58.)
- (3) Di H J, Cameron K C, Podolyan A, et al. Effect of soil moisture status and a nitrification inhibitor, dicyandiamide, on ammonia oxidizer and denitrifier growth and nitrous oxide emissions in a grassland soil(J). Soil Biology and Biochemistry, 2014, 73(6): 59-68.
- (4) Gu J X, Zheng Y H, Ding W X, et al. Regulatory effects of soil properties on background N₂O emissions from agricultural soils in China(J). Plant and Soil, 2007, 295(2): 53-65.
- (5) Yu Y X, Tao H, Jia H T, et al. Impact of plastic mulching on nitrous oxide emissions in China's arid agricultural region under climate change conditions(J). Atmospheric Environment, 2017, 158: 76-84.
- (6) 牛百成,赵成义,俞永祥,等. 棉花秸秆和氮肥对土壤 CO₂ 和 N₂O 排放及碳氮排放系数的影响(J). 干旱区研究, 2017, 34(6): 1 323-1 330. (Niu Baicheng, Zhao Chengyi, Yu Yongxiang, et al. Effects of cotton straw and nitrogen fertilizer on soil CO₂ and N₂O emissions and their coefficients(J). Arid Zone Research, 2017, 34(6): 1 323-1 330.)
- (7) Weitz A M, Linder E, Frohling S, et al. N₂O emissions from humid tropical agricultural soils: Effects of soil moisture, texture and nitrogen availability(J). Soil Biology and Biochemistry, 2001, 33(7/8): 1 077-1 093.
- (8) Davidson E A. Fluxes of nitrous oxide and nitric oxide from terrestrial ecosystems(J). Microbial Production and Consumption of Greenhouse Gases: Methane, Nitrous Oxide, and Halomethanes, 1991: 219-235.
- (9) 郑循华,王明星,王跃思,等. 稻麦轮作生态系统中土壤湿度对 N₂O 产生与排放的影响(J). 应用生态学报, 1996, 7(3): 273-279. (Zheng Xunhua, Wang Mingxing, Wang Yuesi, et al. Impact of soil humidity on N₂O production and emission from a rice-wheat

- rotat ion ecosystem (J). Journal of Applied Ecology ,1996 ,7(3) : 273 - 279.)
- (10) Liu C ,Zheng X ,Zhou Z ,et al. Nitrous oxide and nitric oxide emissions from an irrigated cotton field in Northern China (J). Plant & Soil 2010 ,332(1/2) : 123 - 134.
- (11) Tian D ,Zhang Y ,Mu Y ,et al. The effect of drip irrigation and drip fertigation on N₂O and NO emissions ,water saving and grain yields in a maize field in the North China Plain (J). Science of the Total Environment 2017 ,575(1) : 1 034 - 1 040.
- (12) Sun H ,Zhou S ,Fu Z ,et al. A two-year field measurement of methane and nitrous oxide fluxes from rice paddies under contrasting climate conditions (J). Scientific Reports 2016 ,6: 28 255.
- (13) Scheer C ,Wassmann R ,Kienzler K ,et al. Nitrous oxide emissions from fertilized irrigated cotton (*Gossypium hirsutum* L.) in the Aral Sea Basin ,Uzbekistan: Influence of nitrogen applications and irrigation practices (J). Soil Biology and Biochemistry ,2008 ,40(2) : 290 - 301.
- (14) Kennedy T L ,Suddick E C ,Six J. Reduced nitrous oxide emissions and increased yields in California tomato cropping systems under drip irrigation and fertigation (J). Agriculture Ecosystems and Environment 2013 ,170(8) : 16 - 27.
- (15) Mikha M M ,Rice C W ,Milliken G A. Carbon and nitrogen mineralization as affected by drying and wetting cycles (J). Soil Biology and Biochemistry 2005 ,37(2) : 339 - 347.
- (16) Yu Y ,Zhao C. Modelling soil and root respiration in a cotton field using the DNDC model (J). Journal of Plant Nutrition and Soil Science 2015 ,178(5) : 787 - 791.
- (17) Menéndez S ,Barrena I ,Setien I ,et al. Efficiency of nitrification inhibitor DMPP to reduce nitrous oxide emissions under different temperature and moisture conditions (J). Soil Biology and Biochemistry 2012 ,53(10) : 82 - 89.
- (18) Fierer N ,Schimel J P. Effects of drying-rewetting frequency on soil carbon and nitrogen transformations (J). Soil Biology and Biochemistry 2002 ,34(6) : 777 - 787.
- (19) 路莉 ,白红英 ,雒新萍 ,等. 黄绵土 N₂O 排放的水分效应及动力学特征 (J). 环境科学学报 2009 ,29(3) : 569 - 576. (Lu Li ,Bai Hongying ,Luo Xinping ,et al. Moisture effect and the kinetics of N₂O flux from loessial soil (J). Acta Scientiae Circumstantiae , 2009 ,29(3) : 569 - 576.)
- (20) 朱永官 ,王晓辉 ,杨小茹 ,等. 农田土壤 N₂O 产生的关键微生物过程及减排措施 (J). 环境科学 2014 ,35(2) : 792 - 800. (Zhu Yongguan ,Wang Xiaohui ,Yang Xiaoru ,et al. Key microbial processes in nitrous oxide emissions of agricultural soil and mitigation strategies (J). Environmental Science ,2014 ,35(2) : 792 - 800.)
- (21) 梁东丽 ,同延安 ,Emteryd ,等. 干湿交替对旱地土壤 N₂O 气态损失的影响 (J). 干旱地区农业研究 2002 ,20(2) : 28 - 31. (Liang Dongli ,Tong Yan ,an ,Emteryd ,et al. The effects of wetting and drying cycles on N₂O emission in dryland (J). Agricultural Research in the Arid Areas 2002 ,20(2) : 28 - 31.)
- (22) Miller A E ,Schimel J P ,Meixner T ,et al. Episodic rewetting enhances carbon and nitrogen release from chaparral soils (J). Soil Biology and Biochemistry 2005 ,37(12) : 2 195 - 2 204.
- (23) Scheer C ,Del Grosso S J ,Parton W J ,et al. Modeling nitrous oxide emissions from irrigated agriculture: Testing DayCent with high-frequency measurements (J). Ecological Applications 2014 ,24(3) : 528 - 538.
- (24) Cannavo P ,Richaume A ,Lafolie F. Fate of nitrogen and carbon in the vadose zone: In situ and laboratory measurements of seasonal variations in aerobic respiratory and denitrifying activities (J). Soil Biology and Biochemistry 2004 ,36(3) : 463 - 478.
- (25) Kazuya Nishina ,Chisato Takenaka ,Shigehiro Ishizuka. Relationship between N₂O and NO emission potentials and soil properties in Japanese forest soils (J). Soil Science and Plant Nutrition , 2009 ,55(1) : 203 - 214.
- (26) Hamer U ,Unger M ,Makeschin F. Impact of air-drying and rewetting on PLFA profiles of soil microbial communities (J). Journal of Plant Nutrition and Soil Science 2007 ,170(2) : 259 - 264.
- (27) Gordon H ,Haygarth P M ,Bardgett R D. Drying and rewetting effects on soil microbial community composition and nutrient leaching (J). Soil Biology and Biochemistry 2008 ,40(2) : 302 - 311.
- (28) Dobbie K E ,Smith K A. The effects of temperature ,water-filled pore space and land use on N₂O emissions from an imperfectly drained gleysol (J). European Journal of Soil Science ,2001 ,52(4) : 667 - 673.
- (29) 丁军军 ,张薇 ,李玉中 ,等. 不同灌溉量对华北平原菜地 N₂O 排放及其来源的影响 (J). 应用生态学报 2017 ,28(7) : 2 269 - 2 276. (Ding Junjun ,Zhang Wei ,Li Yuzhong ,et al. Effects of soil water condition on N₂O emission and its sources in vegetable farmland of North China Plain (J). Chinese Journal of Applied Ecology 2017 ,28(7) : 2 269 - 2 276.)
- (30) Drury C F ,Tan C S ,Reynolds W D ,et al. Managing tile drainage ,subirrigation and nitrogen fertilization to enhance crop yields and reduce nitrate loss (J). Journal of Environmental Quality 2009 ,38(3) : 1 193 - 1 204.
- (31) 武其甫 ,武雪萍 ,李银坤 ,等. 保护地土壤 N₂O 排放通量特征研究 (J). 植物营养与肥料学报 2011 ,17(4) : 942 - 948. (Wu Qifu ,Wu Xueping ,Li Yinkun ,et al. Studies on the fluxes of nitrous oxide from greenhouse vegetable soil (J). Plant Nutrition and Fertilizer Science 2011 ,17(4) : 942 - 948.)
- (32) Liu L ,Greaver T L. A review of nitrogen enrichment effects on three biogenic GHGs: The CO₂ sink may be largely offset by stimulated N₂O and CH₄ emission (J). Ecology Letters 2009 ,12(10) : 1 103 - 1 117.
- (33) 吴得峰 ,姜继韶 ,高兵 ,等. 添加 DCD 对雨养区春玉米产量、氧化亚氮排放及硝态氮残留的影响 (J). 植物营养与肥料学报 , 2016 ,22(1) : 30 - 39. (Wu Defeng ,Jiang Jishao ,Gao Bing ,et al. Effects of DCD addition on grain yield ,N₂O emission and residual nitrate-N of spring maize in rain-fed agriculture (J). Plant Nutrition and Fertilizer Science 2016 ,22(1) : 30 - 39.)

Effects of Different Irrigation and Fertilization Conditions on Soil N₂O Emission from Oasis Farmland

WANG Yong^{1,2}, ZHAO Cheng-yi¹

(1. Key Laboratory of Oasis Ecology and Desert Environment, Xinjiang Institute of Ecology and Geography,

Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, Xinjiang, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: The effects of soil drying-wetting alternation on nitrous oxide (N₂O) emission from oasis farmland were analyzed, which could provide the basis for optimizing irrigation and fertilization and reducing N₂O emission of oasis farmland. A laboratory incubation experiment was performed to determine the effect of soil drying-wetting alternation on its N₂O emission from oasis farmland in arid area. The 100 g dried soil was placed in a 730 mL mason jar, then the mason jar was placed in a 25 °C incubator, and the nitrogen content and soil moisture content were strictly controlled through connecting a syringe with a three-way valve to extract gas from the mason jar. The result are as follows: ① Soil drying-wetting alternation influenced significantly the cumulative N₂O emission of oasis farmland soil. Without fertilization, the cumulative N₂O emission of dryly-treated soil was 1.28 times of that of wetly-treated soil; ② Compared with non-nitrogen treatment, fertilization promoted significantly the soil N₂O emission, the highest N₂O emission occurred after nitrogen was applied for 0-4 days, and then the soil N₂O emission was reduced obviously; ③ The N₂O emission rate of the wetted soil was significantly higher than that of the dried soil after nitrogen was applied. The cumulative N₂O emission of wetted soil was 2.07 mg · kg⁻¹, and it was 1.16 times of that of dried soil. Therefore, the soil N₂O emission from oasis farmland could be reduced by properly prolonging the time interval of drip irrigation and fertilization.

Key words: oasis farmland; soil drying-wetting alternation; nitrogen application; N₂O emission