

不同灌溉模式下寒地稻田 CH₄ 和 N₂O 排放及温室效应研究

王孟雪^{1,2}, 张忠学¹, 吕纯波³, 林彦宇¹

(1. 东北农业大学 水利与建筑学院, 农业部农业水资源高效利用重点实验室, 哈尔滨 150030;
2. 黑龙江八一农垦大学, 黑龙江 大庆 163319; 3. 黑龙江省农田水利管理中心, 哈尔滨 150001)

摘要:为了研究寒地稻田 CH₄ 和 N₂O 排放特征,选取黑龙江省寒地稻田为研究对象,采用静态箱一气相色谱法对控制灌溉、间歇灌溉、浅湿灌溉及淹灌四种水分管理模式等 4 个处理的 CH₄ 和 N₂O 排放通量进行观测。结果表明,不同灌溉模式下的 CH₄ 和 N₂O 排放高峰均出现在水稻生长旺季,而休闲期内排放较少。相对于淹灌,浅湿灌溉稻田 CH₄ 累积排放量降低了 27.2%,控制灌溉处理的降低了 34%,间歇灌溉处理的降低了 48.2%。长期淹灌稻田 N₂O 排放量比间歇灌溉稻田减少 0.41 kg/hm²,比控制灌溉稻田增加 0.38 kg/hm²,比浅湿灌溉稻田增加 0.37 kg/hm²。总体温室效应分析,节水灌溉模式能有效抑制温室气体的排放并显著地降低 CH₄ 和 N₂O 的总温室效应。水稻生育期内,CH₄ 排放量减少时期,N₂O 排放量有增加趋势,综合考虑 CH₄ 和 N₂O 排放的消长关系,才能有效减缓稻田温室气体的排放。

关键词:灌溉模式; CH₄ 排放; N₂O 排放; 排放通量; 温室效应

中图分类号: S274.3

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2016)02-0095-06

CH₄ and N₂O Emissions from Rice Paddy Field and Their GWPs Research in Different Irrigation Modes in Cold Region

WANG Mengxue^{1,2}, ZHANG Zhongxue¹, LÜ Chunbo³, LIN Yanyu¹

(1. College of Water Conservancy and Architecture, Agricultural Key Laboratory of Efficient Utilization of Water Resources of Agriculture Ministry in Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China; 2. Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing, Heilongjiang 163319, China; 3. Water Conservancy Management Center of Heilongjiang, Harbin 150001, China)

Abstract: CH₄ and N₂O emission fluxes were measured in rice paddy field of cold region in Heilongjiang under four moisture management modes by using the method of static chamber-gas chromatograph technique. Four different treatment methods including control irrigation, wet irrigation, intermittent irrigation and flood irrigation were utilized in order to study the CH₄ and N₂O emission characteristics. The results indicated that the CH₄ and N₂O emission peak appeared in the rice vigorous growth period and the emissions reduced in leisure period no matter what kind of irrigation methods were utilized. Compared with flood irrigation, the CH₄ emission of wet irrigation decreased by 27.2%, the CH₄ emission of control irrigation decreased by 34%, and intermittent irrigation model significantly decreased by 48.2%. Flood irrigation paddy N₂O emissions reduced 0.41 kg/hm² compared to the intermittent irrigation paddy fields, increased 0.38 kg/hm² compared to control irrigation and increased 0.37 kg/hm² compared to wet irrigation paddy. With respect to analyzing overall greenhouse effect, water saving irrigation mode can effectively decrease and control CH₄ and N₂O emissions. At rice growth stages, N₂O emissions increased accordingly in the period of CH₄ emissions reduction. By considering the relationship of the growth and decline between CH₄ and N₂O emissions, the paddy fields of greenhouse gas emissions can be effectively slowed down.

Keywords: irrigation mode; CH₄ emission; N₂O emission; emission flux; global warming potentials

气候变化的主要原因是由于人类活动向大气中排放过量的二氧化碳(CO₂)、甲烷(CH₄)和氧化亚氮(N₂O)等温室气体而引起的。因此解决气候变化问题的根本措施也就是减少人为温室气体排放或增加对大气中温室气体的吸收^[1]。随着农业生产规模化与机械化程度的提高,农业生产的全过程将耗用能源联系更加紧密,排放的温室气体也逐渐增加^[2]。水稻是世界三大粮食作物之一,是人类营养和热量摄入的主要来源,常年种植面积 1.5 亿 hm² 左右,约占耕地面积的 10%^[3]。稻田是大气 CH₄ 和 N₂O 的主要生物排放源之一,稻田 CH₄ 和 N₂O 的排放受气候条件、土壤特性和农业管理措施等因素的影响。全面了解 CH₄ 和 N₂O 排放规律及其相互关系是实现稻田温室气体减排的前提和客观要求。

水是影响稻田 CH₄ 和 N₂O 排放的重要环境因子^[4]。因此,在水稻种植过程中,只要措施得当,水稻田具有较大的温室效应减缓潜力,寻求最佳的水分管理方式将对减少稻田温室气体的排放起到重要作用^[5]。本研究对黑龙江省寒地稻田 CH₄ 和 N₂O 排放进行观测,从影响稻田 CH₄ 和 N₂O 排放对水分管理措施的响应进行研究,探讨不同灌溉模式下 CH₄ 和 N₂O 的排放规律,以期为寒地稻田温室效应的相关研究提供减排依据和文献参考。

1 材料与方 法

1.1 自然概况

试验在黑龙江水稻灌溉试验中心站进行,该站(东经 125°44′,北纬 45°63′)位于庆安县和平镇,是典型的寒地黑土分布区。多年平均气温为 2~3℃,多年平均降水量 500~600 mm,多年平均水面蒸发

量 700~800 mm。作物水热生长期为 156~171 d,全年无霜期 128 d。气候特征属寒温带大陆性季风气候。土壤类型为白浆土型水稻土,容重 1.01 g/cm³,孔隙度 61.8%。土壤基本理化性质为:有机质含量 41.4 g/kg,pH 值 6.40,全氮 15.06 g/kg,全磷 15.23 g/kg,全钾 20.11 g/kg,碱解氮 154.36 mg/kg,有效磷 25.33 mg/kg 和速效钾 157.25 mg/kg。

1.2 试验设计

试验采用控制灌溉(C₁)、间歇灌溉(C₂)、浅湿灌溉(C₃)及淹灌(C₄)四种水分处理管理模式,各处理均施氮肥 105 kg/hm²,五氧化二磷 45 kg/hm²,氧化钾 80 kg/hm²。P 肥作基肥一次施用,K 肥分基肥和 8.5 叶龄(幼穗分化期)两次施用,前后比例为 1:1。氮肥按照基肥:蘖肥:调节肥:穗肥比例为 5:2.5:1:1.5 分施。种植密度为 30 cm×10 cm,每穴 3 株。每个处理 3 次重复,共 12 个小区,每个小区面积 100 m²,小区四周同样种植水稻以加设保护行。水稻品种、育秧、移栽、植保及用药等技术措施以及田间管理条件相同。为减少侧向渗透对试验的影响,小区与小区之间采用隔渗处理,即小区四周用塑料板和水泥埂作为隔渗材料,埋入田间地表以下 40 cm 深。在每个小区中央距离周边 4 m 处安置正方形不锈钢底座,规格为 50 cm×50 cm×15 cm,底座埋入土壤 10 cm 深,作为固定采集气样地点,用于放置 CH₄ 和 N₂O 人工采样静态箱,观测气体通量排放情况。

供试水稻品种为龙庆稻 2 号,4 月 10 日播种育苗,5 月 3 日施基肥,5 月 20 日插秧,5 月 28 日施返青肥,6 月 15 日施分蘖肥,7 月 9 日施穗肥,9 月 20 日收获。水稻不同灌溉模式的土壤水分调节标准如表 1 所示。

表 1 不同灌溉模式水分管理方式

灌溉方式	不同生育期水层深度							
	返青期	分蘖初	分蘖盛	分蘖末	拔节孕穗	抽雄开花	乳熟	黄熟
控制灌溉	水层 0~30 mm	0.7θ _s ~0	0.7θ _s ~0	晒田	0.8θ _s ~0	0.8θ _s ~0	0.7θ _s ~0	落干
间歇灌溉	水层 0~30 mm	水层 0~40 mm	水层 0~40 mm	晒田	水层 0~30 mm	水层 0~40 mm	水层 0~40 mm	落干
浅湿灌溉	水层 0~30 mm	水层 0~30 mm	水层 0~20 mm	晒田	水层 0~10 mm	水层 0~20 mm	水层 0~20 mm	落干
淹灌	水层 0~30 mm	水层 0~40 mm	水层 0~40 mm	晒田	水层 0~40 mm	水层 0~40 mm	水层 0~40 mm	落干

注:θ_s 为根层土壤饱和含水率质量分数,85.5%。

1.3 样品的采集

分别在作物生长的各主要生育期内采集土样和气样。土壤用土钻均匀取 0—20 cm 新鲜土样,立即装入泡沫保温箱内,四周放置冰袋保鲜,带回实验室,置于冰箱中冷冻贮存,测定土壤硝态氮和铵态氮含量。试验采用密闭不透明箱法取气体样品,静态箱由 5 mm 厚的透明有机玻璃做成,包括顶箱、中间箱及

不锈钢底座三部分。不锈钢底座顶端留有宽 2 cm,深 5 cm 的密封槽,用于采集气体时与箱体密封,当田面有水层时用水封,当田面无水层时用土封。水稻生育前期箱体高度 60 cm,生育后期在箱体上放置顶箱,高度增加至 110 cm。箱内顶部安装微型电风扇一个,顶部开两个小孔,一个引入风扇电源线,另一个引入数字温度计之温度探头,用来校正取样过程中箱

内温度升高引起的气体质量计算误差。侧面打孔接入采气管,采气管进入箱内 25 cm,采气管末端连接三通阀,三通阀另外两部分分别连接采气袋与注射器(60 ml)。试验处理三次重复,每个重复均有一人同时进行平行采样。每个处理分别在第 0,10,20,30 分钟各采集 1 次,每次以连续抽取两次作为一个气体样品,全部放入气袋。气样抽取后即可旋转三通阀,封闭其与箱内通道,将气体转入采气袋内。为减小采集气体样品过程中,因太阳辐射导致的箱内气体温度变化,中间箱及顶箱外层覆盖绝热材料。气体采样时间

选择最能代表当日气体排放平均水平的时刻,将采集时间灵活安排在 10:00—14:00 之间。每次取样为水稻关键生育期,生育旺盛阶段加测。如遇强降雨天气则推迟取样时间。

1.4 样品的测定

气体浓度采用气相色谱(岛津 GC-17A,日本)手动进样测定,CH₄ 浓度检测时采用氢火焰离子检测器(FID),N₂O 气体浓度检测时采用电子捕获检测器(ECD),检测条件见表 2。标准气体由国家标准物质中心提供。

表 2 气相色谱配置和分析条件

化合物	色谱柱	柱温/℃	检测器	保留时间/min	载气	流量/(cm ³ ·min ⁻¹)
CH ₄	3 m×2.2 mm(内径)不锈钢柱,内填 50~80 目 Proapack Q	55	FID,200℃	2.85	高纯 N ₂	30
			Air 400 cm ³ ·min ⁻¹			
N ₂ O	1 m×2.2 mm(内径)不锈钢柱,内填 80~100 目 Proapack Q	55	ECD,330℃	3.53	高纯 N ₂	30

1.5 计算方法和数据分析

稻田 CH₄ 和 N₂O 排放通量采用公式(1)计算^[6]。

$$F = \rho h \cdot \frac{dC}{dt} \cdot \frac{273}{273+t} \cdot \frac{p}{p_0} \quad (1)$$

式中: F ——CH₄ 的排放通量[mg/(m²·h)]和 N₂O 的排放通量[ug/(m²·h)]; ρ ——二者在标准状态下的密度(CH₄ 为 0.714 kg/m³ 和 N₂O 为 1.964 kg/m³); h ——箱体有效高度,田面有水层时为水面到达箱顶高度,无水层时候为箱体自身高度(m); $\frac{dC}{dt}$ ——采样过程中采样箱内 CH₄ 浓度变化率[ml/(m³·h)]和 N₂O 浓度变化率[ul/(m³·h)]; t ——采样箱内的平均温度(℃); p ——采样箱内气压; p_0 ——标准大气压。该地区属于平原地区,气压影响较小, p 认为等同于标准大气压。根据气样浓度与时间的关系曲线计算气体的排放通量,季节排放量为平均通量值与整个水稻生长期总小时数的乘积^[7]。

试验数据采用 Excel 和 SPSS 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 CH₄ 排放季节变化规律

不同灌溉模式下稻田 CH₄ 排放季节变化见图 1,水分管理模式对稻田 CH₄ 排放的影响较显著。在泡田及返青阶段,各处理的 CH₄ 排放无太大差异。各处理此阶段水分管理相同,田面水层深度一致,因此各处理出现了相似的排放规律。泡田初期几乎检测不到稻田 CH₄ 排放。控制灌溉条件下,稻田 CH₄ 排放在分蘖末期达到第一次峰值,之后下降。在拔孕期开始又出现排放高峰,高排放延续时间相对较长,持续到抽开期。间歇灌溉模式有两个排放高峰,一次出现在水稻分蘖末期,另一次出现在拔孕期,之后缓慢下降。浅湿灌溉和淹灌条件下 CH₄ 排放规律较为相似,均出现了两个排放高峰,第一次出现在分蘖末期,第二次出现在晒田末期。各处理在水稻生育后期均处于较低水平,持续至水稻成熟。

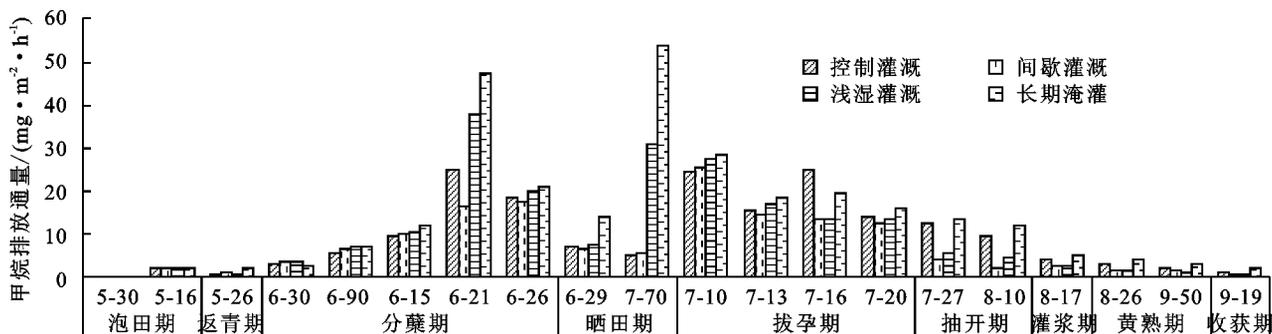


图 1 不同灌溉模式下稻田 CH₄ 排放季节变化

田间水分条件可能是造成稻田 CH_4 排放出现季节性变化的重要因素。水稻生育前期,各处理田面水层深度一致。泡田以及返青期的淹水状态,使得土壤有机质分解慢, CH_4 排放也较缓慢。从分蘖期开始,各处理间 CH_4 排放出现了较大差异。长期的淹水状态,土壤气体扩散被阻断,厌氧性产 CH_4 菌群数量增多,有利于 CH_4 的产生和释放^[8,9]。因此长期淹灌模式下 CH_4 排放在整个水稻生育期都维持相对较高水平。间歇灌溉及浅湿灌溉模式,田面水层较浅,使土壤有利于气体交换,提高 CH_4 的氧化速率,抑制产 CH_4 细菌活性,减少了 CH_4 产生和排放。控制灌溉虽田面无水层,土壤中 CH_4 细菌活性降低,减少了 CH_4 气体的产生,但同时土壤通气状况良好,促进了 CH_4 向大气中传输。从晒田期至拔孕期,各处理均再次出现了 CH_4 排放高峰,水层的落干导致了 CH_4 气体的大量释放,且此时是水稻生长旺季,导致了稻田 CH_4 排放显著增加。

2.2 N_2O 排放季节变化规律

不同灌溉模式下稻田 N_2O 排放的季节变化特征如图 2 所示。从水稻整个生育期来看,不同灌溉模式下 N_2O 排放的高峰均出现在晒田—拔节孕穗期及灌浆期两个阶段,而返青—分蘖初期及后期晒田阶段的排放量相对较低。在水稻生育阶段前期,各处理 N_2O 排放都处于较低水平,泡田期几乎无 N_2O 排放。分蘖肥后 N_2O 排放略有增加,出现了一个小的

排放高峰。

淹灌条件下,除晒田期其余阶段田面水层变化较小,土壤的通气性较差,减少了 N_2O 的排放。对照淹灌模式,间歇灌溉模式下 N_2O 排放相对较高,出现了四个排放的高峰期。从分蘖期开始,长期淹灌处理的 N_2O 排放高于其他处理,而在晒田期迅速下降,并在拔节孕穗期又迅速上升至最高峰,达到 $271.25 \mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。晒田期稻田的干湿交替改善了土壤的通气性,增加土壤中的有效氧,促进了 N_2O 的形成与产生。 N_2O 排放量从晒田期开始增加,至抽开期 N_2O 累计排放量为 $397.78 \text{ mg}/\text{hm}^2$,达到全生育期排放量的 72.8%。控制灌溉及浅湿灌溉模式条件下 N_2O 的排放特征较为相似,均从水稻分蘖后期开始缓慢上升,在晒田期达到峰值,之后开始缓慢下降,在灌浆期达到第二次排放的小高峰。

各处理在水稻泡田之前以及黄熟期后 N_2O 排放量非常微小,甚至出现负值,这和很多试验的观测结果较为一致^[10-12]。有研究认为 N_2O 气体通量出现负值一般发生在以下两种情况:一是土壤处于强还原状态时微生物吸收 N_2O 并将其反硝化还原成 N_2 ;另一种情况是有机质含量较高的土壤处于干燥条件时, N_2O 可能被土壤基质中的黏土矿物所吸附^[13]。本试验中水稻收获后,土壤处于较为干燥的状态,土壤有机质含量较高,吸附了较多的 N_2O ,造成了 N_2O 排放通量为负值。

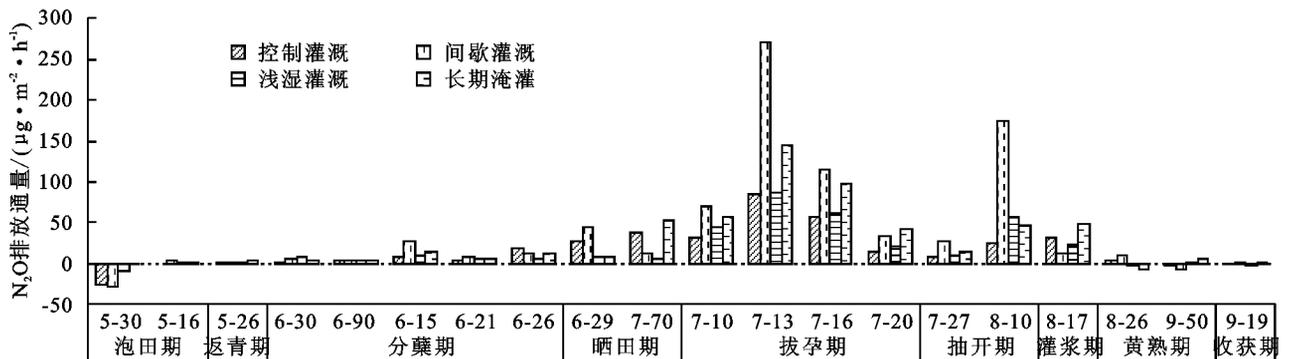


图 2 不同灌溉模式下稻田 N_2O 排放季节变化

2.3 CH_4 和 N_2O 累积排放量及温室效应

不同灌溉模式下稻田 CH_4 和 N_2O 排放量如表 3 所示。从水稻整个生育期分析,淹灌条件下 CH_4 的累积排放量明显高于其他处理。相对于淹灌,浅湿灌溉处理的 CH_4 累积排放量降低了 27.2%,控制灌溉处理的 CH_4 累积排放量降低了 34%,而间歇灌溉条件下的 CH_4 累积排放量最低,较对照降低了 48.2%。不同灌溉条件下水稻全生育期的 N_2O 累积排放量也存在较大差异。间歇灌溉条件下 N_2O 累积排放量最高,相比淹灌处理增加 $0.41 \text{ kg}/\text{hm}^2$,而控制灌溉及

浅湿灌溉条件下 N_2O 累积排放量相对于长期灌溉条件明显减少,分别降低了 41.3% 和 40.2%。

稻田生态系统 CH_4 及 N_2O 气体排放对全球变暖起到重要作用,通常用增温潜势 GWP (CO_2 的 GWP 为 1) 来表示相同质量的不同温室气体对温室效应增强的相对辐射效应。以 100 a 为时间尺度,单位质量的 CH_4 和 N_2O 气体的 GWP 分别为 CO_2 的 21,310 倍^[14]。表 4 显示了不同灌溉模式下 CH_4 和 N_2O 的温室效应。间歇灌溉条件下的温室效应总和最低,相比淹灌处理减少 $4695.34 \text{ kgCO}_2/\text{hm}^2$ 。控

灌灌溉及浅湿灌溉条件下的温室效应总和和相差较小, 长期淹灌条件下的温室效应总和最高。可见节水灌溉模式能有效抑制温室气体的排放并显著地降低 CH₄ 和 N₂O 的温室效应。

表 3 不同灌溉模式下稻田 CH₄ 和 N₂O 排放量

处理	CH ₄ 排放		N ₂ O 排放	
	平均排放通量/ (mg · m ⁻² · h ⁻¹)	CH ₄ 累积排放量/ (kg · hm ⁻²)	平均排放通量/ (μg · m ⁻² · h ⁻¹)	CH ₄ 累积排放量/ (kg · hm ⁻²)
控制灌溉	9.36 ± 0.53a	314.58	16.20 ± 1.02a	0.54
间歇灌溉	7.35 ± 0.35b	247.09	39.50 ± 0.92b	1.33
浅湿灌溉	10.33 ± 0.21c	347.10	16.42 ± 1.01a	0.55
长期淹灌	14.19 ± 0.63d	476.73	27.33 ± 1.14c	0.92

注:(1) 排放通量值均为平均值 ± 标准误差(SE);(2) 字母 a—c 表示同一指标在不同施肥处理之间 LSD 检验显著性差异分组(a=0.05)。

表 4 不同灌溉模式下稻田 CH₄ 和 N₂O 排放量的温室效应

处理	CH ₄ 累积排放量/ (kg · hm ⁻²)	N ₂ O 累积排放量/ (kg · hm ⁻²)	CH ₄ 温室效应/ (kgCO ₂ · hm ⁻²)	N ₂ O 温室效应/ (kgCO ₂ · hm ⁻²)	总温室效应/ (kgCO ₂ · hm ⁻²)
控制灌溉	314.58	0.54	6606.18	167.4	6773.58
间歇灌溉	247.09	1.33	5188.89	412.3	5601.19
浅湿灌溉	347.1	0.55	7289.10	170.5	7459.60
长期淹灌	476.73	0.92	10011.33	285.2	10296.53

3 讨论

3.1 灌溉模式对稻田 CH₄ 排放的影响

水分管理条件是影响稻田 CH₄ 排放最重要的因素^[15]。由于水稻在生长发育期间,各生育期田面水层深度不一致,稻田水分管理在很大程度上影响了 CH₄ 排放季节变化。土壤中有氧环境或无氧环境的形成受土壤水分状况的调控,而灌溉模式直接影响到土壤水分状况的调控。节水灌溉条件下,土壤通气状况得到极大改善,既促进 CH₄ 氧化又部分抑制 CH₄ 产生,特别是控制灌溉条件下,水稻植株会受到一定程度的水分胁迫可能关闭部分气孔,减少植株体途径的 CH₄ 排放^[16]。本研究表明,长期淹灌模式下稻田的甲烷排放量明显高于其他处理。稻田处于长期淹水状态,土壤气体扩散被阻断,厌氧性产 CH₄ 菌群数量增多,因此,有利于 CH₄ 的产生和释放^[17-18]。而控制灌溉、间歇性灌溉及浅湿灌溉等节水灌溉技术,使土壤有利于气体交换,提高 CH₄ 的氧化速率,抑制产 CH₄ 细菌活性,减少了 CH₄ 产生和排放。干湿交替处理因较大幅度水分变化抑制产甲烷菌活性而降低 CH₄ 排放量。间歇灌溉在水稻分蘖期后,实行浅水层管理,明显改善了稻田通气状况,破坏了 CH₄ 菌群的厌氧生存条件,显著减少了稻田 CH₄ 的排放。

3.2 灌溉模式对稻田 N₂O 排放的影响

稻田 N₂O 是土壤微生物硝化与反硝化过程的中间产物。不同的灌溉模式能够形成不同的稻田土壤水分状况,而水分状况是影响土壤硝化与反硝化过程

的最重要因素之一。稻田复杂的土壤水分变化状况影响到土壤氧化还原电位和微生物活性,从而进一步影响氮素在稻田土壤中的动态变化^[19]。一些研究表明稻田土壤 N₂O 排放主要集中在水分变化剧烈的干湿交替阶段,稻田落干和烤田期 N₂O 排放量显著增加,与本研究基本一致^[20]。

不同灌溉模式下,稻田 N₂O 排放量均在烤田后的复水期开始上升,并在之后达到峰值。在此期间 N₂O 排放量占水稻生长期 N₂O 排放总量的 54%~59%,说明水稻生长期内稻田土壤 N₂O 排放通量主要受土壤水分状况的影响。

间歇灌溉模式下的 N₂O 排放量最高,剧烈的水分变化,增加土壤通透性,为土壤提供大量的 O₂,有利于硝化及反硝化反应同时进行,促进 N₂O 产生排放;淹灌模式下的 N₂O 排放量低于间歇灌溉处理,淹水使土壤处于极端还原状态,使生成的 N₂O 进一步还原为 N₂,抑制了 N₂O 的产生及排放。

3.3 CH₄ 和 N₂O 累积排放量及温室效应

土壤水分状况是稻田 CH₄ 和 N₂O 排放季节变化的主要驱动因子。不同水分管理模式下,CH₄ 和 N₂O 排放存在着一定的消长关系。当 CH₄ 排放处于高峰时,N₂O 排放量却处于相应较低的水平;而当 N₂O 排放量增加较为明显时,CH₄ 正处于排放的低点^[21]。两种温室气体对稻田整体温室效应的贡献是不同的。所有处理中甲烷产生的温室效应占二者总 GWP 的 75%以上,是稻田的主要温室气体。甲烷排放主要集中在分蘖末期和拔节孕穗期,水稻生长中后

期的甲烷排放会显著减少,整体呈下降趋势^[22]。间歇灌溉模式会减少 CH₄ 的排放,而增加 N₂O 的排放。淹灌模式甲烷的排放量最高,而氧化亚氮的排放量相应减少。控制灌溉及浅湿灌溉模式甲烷及氧化亚氮的排放特征相似,处于中等水平。从综合效应来看,节水灌溉是减少稻田综合温室效应的有效措施。节约灌溉用水能改善稻田通透性和土壤含氧量,根系活力强,抑制 CH₄ 产生,促进 CH₄ 氧化。寻求一种既能抑制 CH₄ 产生,又能减少 N₂O 排放的水肥优化模式,将会对水稻温室气体减排起到至关重要的作用。

4 结论

节水灌溉模式下稻田 CH₄ 排放通量明显低于长期淹灌稻田。在水稻全生育期内,相对于长期淹灌,浅湿灌溉处理的 CH₄ 累积排放量降低了 27.2%,控制灌溉处理的 CH₄ 累积排放量降低了 34%,而间歇灌溉条件下的 CH₄ 累积排放量最低,较对照降低了 48.2%。与长期淹灌稻田相比,间歇灌溉明显增加了稻田 N₂O 排放量,其排放量为 1.33 kg/hm²,比长期淹灌处理增加 0.41 kg/hm²,且排放最大峰值出现在水稻拔节孕穗期。而控制灌溉和浅湿灌溉稻田 N₂O 排放量相对减少。

虽然水稻晒田期 CH₄ 排放量显著减少,但却在之后的复水期使 N₂O 的排放量显著增加,综合考虑 CH₄ 和 N₂O 排放的消长关系,才能有效减缓稻田温室气体的排放。从总体温室效应来看,间歇灌溉能有效的抑制温室气体的排放并显著地降低 CH₄ 和 N₂O 的总温室效应。

参考文献:

- [1] 章永松,柴如山,付丽丽,等. 中国主要农业源温室气体排放及减排对策[J]. 浙江大学学报:农业与生命科学版,2012,38(1):97-107.
- [2] 腾耀华,张军以,苏维词. 三峡库区低碳农业发展模式与减排对策[J]. 水土保持研究,2012,16(2):226-230.
- [3] 中华人民共和国国家统计局. 2009 中国统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社,2009.
- [4] Haque M M, Kim S Y, Ali M A, et al. Contribution of greenhouse gas emissions during cropping and fallow seasons on total global warming potential in mono-rice paddy soils [J]. *Plant and Soil*,2015,387(1/2):251-264.
- [5] 蔡祖聪,徐华,马静. 稻田生态系统 CH₄ 和 N₂O 排放[M]. 合肥:中国科学技术大学出版社,2009.
- [6] 郭小伟,杜岩功,李以康,等. 高寒草甸植被层对于草地甲烷通量的影响[J]. 水土保持研究,2015,22(1):146-151.
- [7] 刘晓雨,李志鹏,潘根兴,等. 长期不同施肥下太湖地区稻田净温室效应和温室气体排放强度的变化[J]. *农业环境科学学报*,2011,30(9):1783-1790.
- [8] 廖千家骅,颜晓元. 施用高效氮肥对农田 N₂O 的减排效果及经济效益分析[J]. *中国环境科学*,2010,30(12):1695-1701.
- [9] 蔡延江,丁维新,项剑. 土壤 N₂O 和 NO 产生机制研究进展[J]. *土壤*,2012,44(5):712-718.
- [10] Xuejun L, Fusou Z. Nitrogen fertilizer induced greenhouse gas emissions in China[J]. *Current Opinion in Environmental Sustainability*,2011,3(5):407-413.
- [11] Lindau C W. Methane emissions from Louisiana rice fields amended with nitrogen fertilizers[J]. *Soil Biology & Biochemistry*,1994,26(3):353-359.
- [12] Yang S S, Chang E H. Effect of fertilizer application on methane emission/production in the paddy soils of Taiwan [J]. *Biology and Fertility of Soils*,1997,25(3):245-251.
- [13] 王明星,上官行健,沈壬兴,等. 华中稻田甲烷排放的施肥效应及施肥策略[M]. *中国农业气象*,1995,16(2):1-5.
- [14] IPCC. Climate Change2007. The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Forth Report of the Intergovernmental Penal on Climate Change [R]. Cambridge. United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press,2007.
- [15] 张稳,黄耀,郑循华,等. 稻田甲烷排放模型研究—模型灵敏度分析[J]. *生态学报*,2006,26(5):1359-1366.
- [16] 李晶,王明星,王跃思,等. 农田生态系统温室气体排放研究进展[J]. *大气科学*,2003,27(4):740-749.
- [17] Peng S Z, Yang S H, Xu J Z, et al. Field experiments on greenhouse gas emissions and nitrogen and phosphorus losses from rice paddy with efficient irrigation and drainage management, *SCIENCE CHINA Technological Sciences*,2011,54(6):1581-1587.
- [18] 崔中利,王英,滕齐辉,等. 淹水和旱作稻田土壤中产甲烷菌的多样性分异[R]. 第四次全国土壤生物与生物化学学术研讨会,广州,2007.
- [19] 周胜,宋祥甫,颜晓元. 水稻低碳生产研究进展[J]. *中国水稻科学*,2013,27(2):213-222.
- [20] 陈书涛,黄耀,郑循华,等. 轮作制度对农田氧化亚氮排放的影响及驱动因子[J]. *中国农业科学*,2005,38(10):2053-2060.
- [21] 康新立,华银锋,田光明,等. 土壤水分管理对甲烷和氧化亚氮排放的影响[J]. *中国环境管理干部学院学报*,2013,23(2):43-46.
- [22] 彭世彰,李道西,缴锡云,等. 节水灌溉模式下稻田甲烷排放的季节变化[J]. *浙江大学学报:农业与生命科学版*,2006,32(5):546-550.