

韦至激,方泽涛,李伏生,等. 不同灌溉模式和施氮量下稻田 N_2O 排放与有机氮组分的关系[J]. 江苏农业科学,2018,46(9):246–251.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.09.059

不同灌溉模式和施氮量下稻田 N_2O 排放与有机氮组分的关系

韦至激¹, 方泽涛¹, 李伏生¹, 黄忠华², 谭文艳², 罗维钢²

(1. 广西大学农学院/广西喀斯特地区节水农业新技术院士工作站/广西高校作物栽培学与耕作学重点实验室,广西南宁 530005;

2. 南宁市灌溉试验站,广西南宁 530001)

摘要:为探讨不同灌溉模式和施氮水平下,稻田 N_2O 排放与有机氮组分的关系,通过 2 季水稻田间试验,研究了不同时期稻田 N_2O 排放通量和有机氮组分的变化。田间试验设 3 种灌溉模式(常规灌溉 CIR、“薄浅湿晒”灌溉 TIR、干湿交替灌溉 DIR)和 2 种施氮处理(N1 施氮量 120 kg/hm^2 、N2 施氮量 150 kg/hm^2)。TIR 和 DIR 模式下,稻田 N_2O 平均排放通量较 CIR 模式提高;CIR 和 DIR 模式下,N2 处理稻田整个生育期 N_2O 平均排放通量高于 N1 处理。DIR 模式土壤酸解氨态氮和氨基糖态氮含量均大于 CIR 模式,而土壤氨基酸态氮含量小于 CIR 模式;N2 处理土壤酸解氨态氮和氨基糖态氮含量较 N1 处理显著增加。稻田 N_2O 排放通量与氨基糖态氮和酸解氨态氮含量之间呈显著正相关,与氨基酸态氮含量呈显著负相关。干湿交替灌溉和增施氮肥提高稻田 N_2O 排放通量、土壤酸解氨态氮和氨基糖态氮含量。此外,稻田 N_2O 排放通量受到氨基糖态氮、酸解氨态氮和氨基酸态氮含量的综合影响。

关键词:“薄浅湿晒”灌溉;干湿交替灌溉;有机氮组分; N_2O 排放

中图分类号: S274.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)09-0246-06

稻田生态系统是大气中氧化亚氮(N_2O)的重要来源之一,土壤 N_2O 排放与水肥管理有较大关系^[1-2]。灌溉方式不同,土壤 N_2O 排放不同,长期淹水降低土壤 N_2O 的排放^[3],间歇灌溉早晚稻田 N_2O 排放通量高于淹灌稻田,其稻田 N_2O 累积排放量也显著高于淹灌稻田^[4];控制灌溉稻田 N_2O 排放通量在水稻全生育期大部分时间都要大于淹灌稻田^[5]。“薄浅湿晒”和

常规灌溉稻田 N_2O 排放通量一般低于干湿交替稻田^[6-7]。不同施氮量对土壤 N_2O 排放通量的影响结论基本一致。稻田 N_2O 排放量随氮肥用量的增加呈增加趋势^[8];就水稻生长全季而言,高施氮量下,稻田 N_2O 排放总量显著增加^[9]。

土壤中 90% 以上的氮是以有机态化合物存在的^[10]。按 Bremner 提出的划分方法,土壤有机氮可分为氨态氮、氨基酸氮、氨基糖氮、酸解未知氮等形态^[11]。土壤有机氮各组分含量受到土壤类型、土壤层次、耕作方式和氮肥管理等因素的影响^[12]。研究表明,施用无机肥和有机肥均能显著提高土壤酸解有机氮及非酸解氮含量^[13-14],施用尿素能提高土壤酸解铵态氮含量,降低土壤氨基酸态氮含量^[15-16],土壤中残留的化肥氮主要转化为酸解未知氮和氨基酸氮^[17]。施用氮肥对土壤铵态氮和土壤氨基糖氮含量的影响较小,而对土壤氨基酸

收稿日期:2017-08-28

基金项目:国家自然科学基金(编号:51469003)。

作者简介:韦至激(1993—),女,广西南宁人,硕士研究生,主要从事水土资源利用与环境方面的研究。E-mail:276872736@qq.com。
通信作者:李伏生,博士,教授,主要从事水土资源利用与环境方面的研究。E-mail:zhenz@gxu.edu.cn。

[8] 晋果果,翁海波,李萍萍,等. 高温木质素降解菌 *Geobacillus caldxylosilyticus* J16 的筛选及其产酶发酵性质研究[J]. 中国农学通报,2011,27(8):334–339.

[9] 姜明国,黎海非,陆冠颖,等. 木质素降解菌 Bax 的筛选及特性研究[J]. 生物技术通报,2011(3):200–203.

[10] 王茂成. 木质素降解真菌的筛选鉴定及相关酶活性研究[D]. 重庆:西南大学,2013:1–9.

[11] Ming T, Kirk T K. Lignin peroxidase of *Phanerochaete chrysosporium* [J]. *Methods in Enzymology*, 1988, 161(1):238–249.

[12] 谢君,任路,李维,等. 白腐菌液体培养产木质纤维素降解酶的研究[J]. 四川大学学报(自然科学版),2000,37(期缺失):161–166.

[13] 崔艳红,张海棠,孟庆辉,等. 白腐真菌产木质素降解酶的条件及酶学性质的研究[J]. 吉林农业科学,2008,33(2):43–47.

[14] 陈坚,刘和,李秀芬. 环境微生物实验技术[M]. 北京:化学工业出版社,2008:19–59.

[15] 黎满香,林荣高,薛立群,等. 湖南猪源粪肠球菌的分离鉴定及 16S rDNA 系统进化分析[J]. 中国兽医学报,2011,31(9):1290–1294.

[16] Rainey F A, Wardrainey N, Kroppenstedt R M, et al. The genus *Nocardiopsis* represents a phylogenetically coherent taxon and a distinct actinomycete lineage: proposal of *Nocardiopsaceae* fam nov [J]. *International Journal of Systematic Bacteriology*, 1996, 46(4):1088–1092.

[17] Tamura K, Stecher G, Peterson D, et al. MEGA6: molecular evolutionary genetics analysis version 6.0 [J]. *Molecular Biology and Evolution*, 2013, 30(12):2725–2729.

[18] 杨苏声. 细菌分类学[M]. 北京:中国农业出版社,1997:1–7.

态氮和酸解未知态氮含量的影响较大^[18]。不同灌溉方式也对土壤有机氮组分有影响,如姬景红等研究指出,除个别层次外,滴灌和渗灌土壤氨基酸态氮、氨基糖态氮及氨态氮占全氮的比例高于沟灌土壤,而酸解未知态氮和非酸解氮占全氮的比例则低于沟灌土壤^[19]。“薄浅湿晒”和干湿交替灌溉模式是我国南方应用较为广泛的稻田节水灌溉模式。“薄、浅、湿、晒”模式的控水要点为:薄水插秧、浅水返青、分蘖前期湿润、分蘖后期晒田;拔节孕穗、抽穗扬花期薄水、乳熟期湿润、黄熟期先湿润后落干、水稻穗部勾头前湿润、勾头后自然落干^[20]。干湿交替灌溉模式是在水稻生育过程中,在一段时间里保持水层,田间水自然落干至土壤不严重干裂再灌水,再落干,如此循环等^[21]。然而对于这 2 种灌溉模式如何影响稻田土壤有机态氮组分以及有机氮组分对土壤 N₂O 排放的影响研究较少,所以须进一步研究来加以阐明。

因此,本研究通过 2 季水稻田间试验,测定不同时期稻田 N₂O 排放通量,并用 Bremner 提出的酸解法测定土壤不同有机氮组分含量,探讨不同灌溉模式和施氮量下不同时期稻田 N₂O 排放通量和有机氮组分含量的变化规律,并分析采土当天稻田 N₂O 排放通量与各有机氮组分含量之间的关系,以揭示土壤有机氮组分对稻田 N₂O 排放通量的影响机制。

1 材料与方法

1.1 供试材料

试验于 2015 年 7 月至 2016 年 7 月在广西壮族自治区南宁市灌溉试验站(22°52′58.33″N、108°17′38.86″E)进行,该站年平均日照时数为 1 827 h,年平均气温 21.6℃,年降水量为 1 304.2 mm。试验期间 2015 年 8—11 月降水量分别为 194.2、198.2、30.5、93.3 mm,2016 年 4—7 月降水量分别为 37.1、153.5、334.1、75.5 mm。试验土壤为第四纪红色黏土发育的水稻土,试验前 0~20 cm 耕层土壤基本理化性质分别为:pH 值 7.0、有机碳含量 17.3 g/kg、全氮含量 1.4 g/kg、碱解氮含量 111.7 mg/kg、速效磷含量 48.9 mg/kg 和速效钾含量 88.0 mg/kg。试验灌溉用水 pH 值为 7.6。晚稻和早稻品种均为内 5 优 8015,属籼型三系杂交水稻。氮肥用尿素(含 N 46%),磷肥用过磷酸钙(含 P₂O₅ 14%),钾肥用氯化钾(含 K₂O 60%)。

1.2 试验方法

2 季水稻田间试验设常规灌溉(CIR)、“薄浅湿晒”灌溉(TIR)和干湿交替灌溉(DIR)3 种灌溉模式,它们的水分控制标准见笔者所在课题组刘靖雯等的研究^[7];2 种施氮处理:N1(施氮量 120 kg/hm²)和 N2(施氮量 150 kg/hm²)的 P₂O₅ 和 K₂O 用量分别为 60、120 kg/hm²。N1 处理尿素用量为 260.9 kg/hm²,N2 处理尿素用量为 326.1 kg/hm²,各处理过磷酸钙和氯化钾用量分别为 429、200 kg/hm²。所有处理尿素和氯化钾均按基肥:分蘖肥:穗肥=2:1:1 施入土壤,而全部过磷酸钙作基肥。试验共设 6 个处理,每个处理重复 3 次,每个小区面积为 25 m²。小区之间用 25~26 cm 厚水泥红砖墙分开,以防不同小区之间水分相互侧渗,并在降雨过多时独立排水。

1.3 土壤样品采集与测定

试验分 4 次采集土样,即在分蘖期、孕穗期、乳熟期和成

熟期采集耕作层土壤样品,每次采样时间为灌水日后 1 d 的上午,每小区用土钻按 S 形散点采样法采集 0~20 cm 土层土壤,剔除土壤中作物根系、杂草和石子并混匀,放入编号过的自封袋中,带回实验室将土壤样品放入风干室内进行自然风干,风干后过 1 mm 筛,保存在阴凉处。

土壤有机氮组分用 Bremner 酸解法测定^[22],分别测定土壤酸解总氮、氨基酸态氮、酸解氨态氮和氨基糖氮含量。土壤酸解未知态氮含量=酸解总氮含量-氨基酸态氮含量-酸解氨态氮含量-氨基糖氮含量。土壤非酸解性氮含量=土壤全氮含量-酸解总氮含量。

1.4 N₂O 采集与测定

田间 N₂O 的采集用静态封闭箱法,参考笔者所在课题组刘靖雯等的研究^[7]。水稻返青后开始采样,采样时底座与箱体的连接处加水密封,每次采样时间在 09:00—11:00 进行,分别在盖箱后 0、5、10、15、20、25、30 min 用 50 mL 的注射器连续采样 7 次,同时记录采样时电子温度计的读数。由于与另一试验同时进行,限于实验室条件和人力限制,每周仅采样 1 次,晚稻和早稻生育期内稻田 N₂O 分别采集 10、12 次。N₂O 浓度用 Agilent 7890A GC 气相色谱仪测定,N₂O 排放通量计算方法参考笔者所在课题组刘靖雯等的研究^[7]。

1.5 统计分析

试验数据统计分析用 SPSS 20.0 和 Microsoft Excel 2007 分析软件,多重比较用 Duncan's 法,差异显著性水平为 0.05。用采土当天稻田 N₂O 排放通量与各有机氮组分含量进行相关性分析。

2 结果与分析

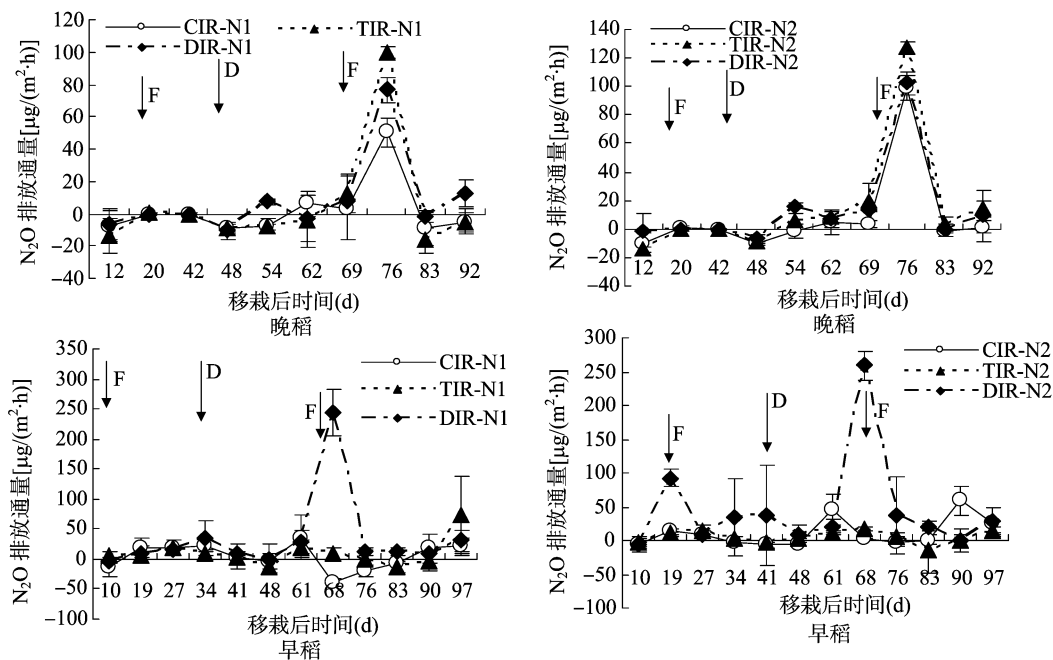
2.1 稻田 N₂O 排放通量

从图 1 可以看出,种植晚稻时,N1 处理下 3 种灌溉模式在施肥后出现 1 次较大的 N₂O 排放峰,在移栽后 76 d 出现较大的排放峰,CIR 模式稻田 N₂O 排放通量比 TIR 和 DIR 模式低。晚稻整个生育期稻田 N₂O 平均排放通量总体表现为 CIR 模式小于 TIR 和 DIR 模式。而种植早稻时,N1 处理下,只有 DIR 模式稻田 N₂O 排放通量有 1 次较大的排放峰,排放峰出现在移栽后 68 d,CIR 和 TIR 模式稻田 N₂O 排放通量没有出现明显的 N₂O 排放峰。早稻整个生育期中 N₂O 平均排放通量总体表现为 CIR 模式小于 TIR 和 DIR 模式。

提高施氮量为土壤提供了更高的氮素养分,从而影响土壤硝化作用和反硝化作用反应底物浓度,增加土壤 N₂O 的排放通量。与 N1 处理相比,N2 处理晚稻整个生育期 N₂O 平均排放通量有显著提高。在 CIR 和 DIR 模式下,N2 处理早稻整个生育期稻田 N₂O 平均排放通量较 N1 处理有显著提高。

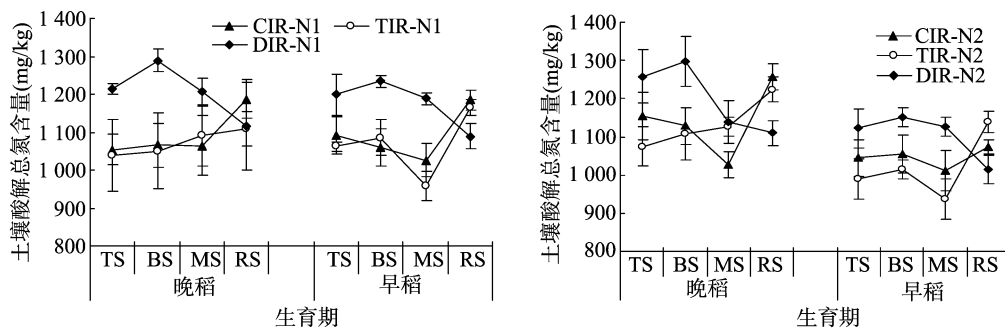
2.2 有机氮组分含量

2.2.1 酸解总氮 从图 2 可以看出,土壤酸解总氮含量随着水稻生育期的变化而表现出不同的规律。N1 处理下,2 季水稻 DIR 模式土壤酸解总氮含量在分蘖期到乳熟期均显著高于 CIR 和 TIR 模式,但是在成熟期含量急速下降,而 CIR 和 TIR 模式土壤酸解总氮含量之间没有显著差异。DIR 模式土壤酸解总氮含量在分蘖期到孕穗期先有所增加,然后在孕穗期到成熟期持续下降至小于分蘖期,而 CIR 和 TIR 模式土壤酸解总氮含量均表现为成熟期显著大于分蘖期。N2 处理下,



CIR—常规灌溉; TIR—“薄-浅-湿-晒”灌溉; DIR—干湿交替灌溉; N1—施氮量 $120 \text{ kg}/\text{hm}^2$; N2—施氮量 $150 \text{ kg}/\text{hm}^2$; F—追肥; D—晒田期。下图同

图1 不同灌溉模式和氮肥量稻田 N_2O 排放通量



TS—分蘖期; BS—孕穗期; MS—乳熟期; RS—成熟期。下图同

图2 不同灌溉模式和氮肥量下土壤酸解总氮含量

2 季水稻 DIR 模式土壤酸解总氮含量变化规律为先上升后下降, CIR 模式为先下降后上升, TIR 模式早稻晚稻变化规律不一致, 晚稻为先上升后下降, 早稻为先上升后下降最后又上升。早稻前 3 个时期中, 土壤酸解总氮含量一直表现为 $DIR > CIR > TIR$ 。因此, DIR 模式提高了土壤酸解总氮含量, 但施氮量对土壤酸解总氮含量的影响不显著。

2.2.2 非酸解性氮 从图 3 可以看出, 土壤非酸解性氮含量在水稻不同生育期中变化较大。N1 处理下, 晚稻 CIR 模式土壤非酸解性氮含量除在乳熟期小于 TIR 模式外, 其余时期土壤非酸解性氮含量均显著大于 TIR 和 DIR 模式; TIR 和 DIR 模式土壤非酸解性氮含量均表现为持续下降的趋势; 早稻 3 种灌溉模式土壤非酸解性氮含量之间的差异不显著; 晚稻土壤非酸解性氮含量在各生育期普遍大于早稻土壤。N2 处理下, 早稻 3 种灌溉模式土壤非酸解性氮含量均在分蘖期到乳熟期不断下降, 在乳熟期到成熟期有显著的增加; 晚稻 3 种灌溉模式土壤非酸解性氮含量均表现为生育末期大幅度下降的趋势, 其中以 TIR 模式变化最剧烈。此外, 增加施氮量能在一

定程度上降低土壤非酸解性氮含量。

2.2.3 氨基酸态氮 不同水稻生育期土壤氨基酸态氮含量差异显著 (图 4)。N1 和 N2 处理下, 2 季水稻 3 种灌溉模式土壤氨基酸态氮含量在分蘖期最高, 然后持续下降。土壤氨基酸态氮含量在水稻各生育时期中多表现为 $CIR > TIR > DIR$, 其中, 晚稻 TIR 和 CIR 模式多数时期土壤氨基酸态氮含量差异不显著, 而 DIR 模式多数时期土壤氨基酸态氮含量显著小于另外 2 种灌溉模式。因此, DIR 模式降低土壤氨基酸态氮含量, 而施氮量对土壤酸解总氮含量的影响不显著。

2.2.4 酸解氨态氮 从图 5 可以看出, 不同灌溉模式对土壤酸解氨态氮含量有显著的影响, N1 和 N2 处理下, 2 季水稻 DIR 模式土壤酸解氨态氮含量显著大于 CIR 和 TIR 模式, 其中以孕穗期的差异最明显。晚稻 TIR 模式土壤酸解氨态氮含量显著大于 CIR 模式, 而早稻两者之间无差异。3 种灌溉模式下, 土壤酸解氨态氮含量随着氮肥量而增加。因此, DIR 模式有利于提高土壤酸解氨态氮含量, 增加施氮量也提高土壤酸解氨态氮含量。

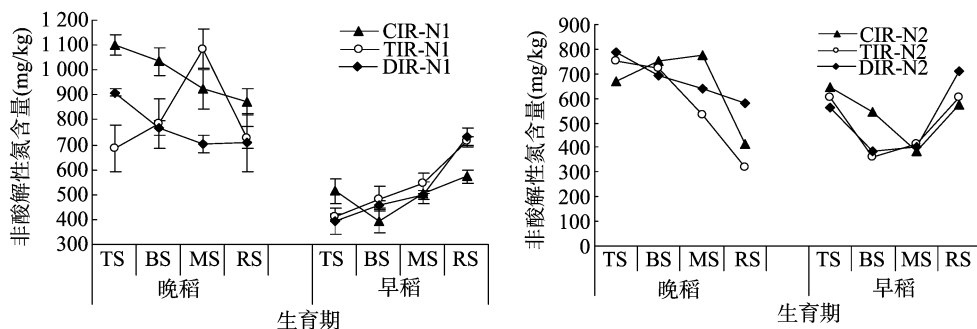


图3 不同灌溉模式和施氮量下土壤非酸解性氮含量

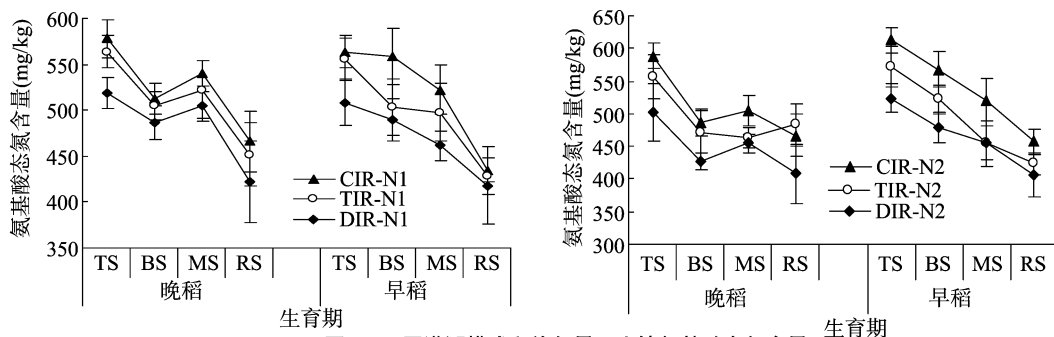


图4 不同灌溉模式和施氮量下土壤氨基酸态氮含量

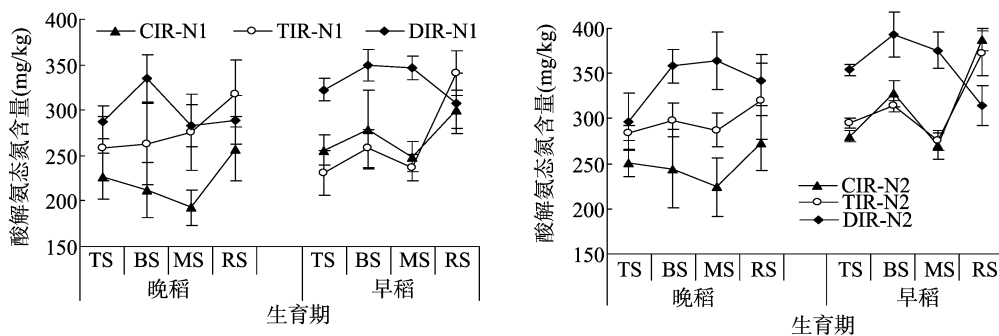


图5 不同灌溉模式和施氮量下土壤酸解态氮含量

2.2.5 氨基糖态氮 不同生育期差异土壤氨基糖态氮含量比较显著(图6)。N1 和 N2 处理下,在 2 季水稻分蘖期到乳熟期,CIR 和 TIR 模式土壤氨基糖态氮含量变化不显著,而到成熟期显著增加,DIR 模式土壤氨基糖态氮含量总体表现为下降趋势。DIR 模式土壤氨基糖态氮含量在分蘖期到乳熟期显著大于 CIR 和 TIR 模式。DIR 模式下,除晚稻成熟期以外,N2 处理 2 季水稻其他时期土壤氨基糖态氮较 N1 处理均有所

提高。因此,不同灌溉模式对土壤氨基糖态氮含量有显著影响,DIR 模式有利于土壤氨基糖态氮含量的增加,提高氮肥施用量也增加土壤氨基糖态氮含量。

2.2.6 酸解未知态氮 不同灌溉模式和氮肥量对土壤酸解未知态氮含量有一定的影响(图7)。N1 和 N2 处理下,2 季水稻 DIR 模式土壤酸解未知态氮含量在分蘖期到乳熟期大多显著大于 CIR 和 TIR 模式。早稻 3 种灌溉模式下,N1 处理

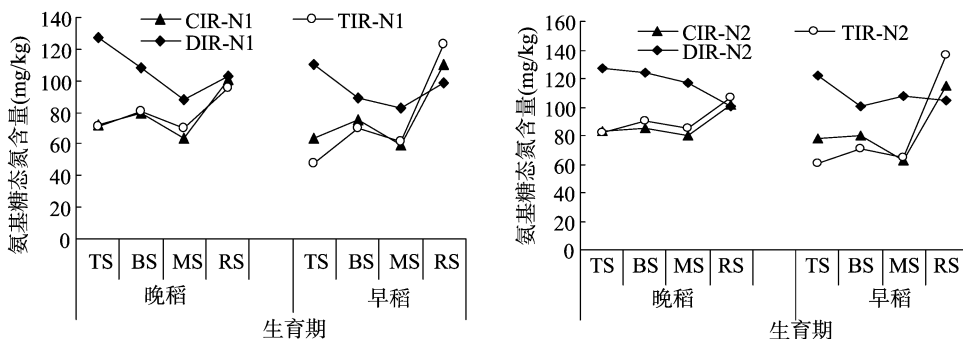


图6 不同灌溉模式和氮肥量下土壤氨基糖态氮含量

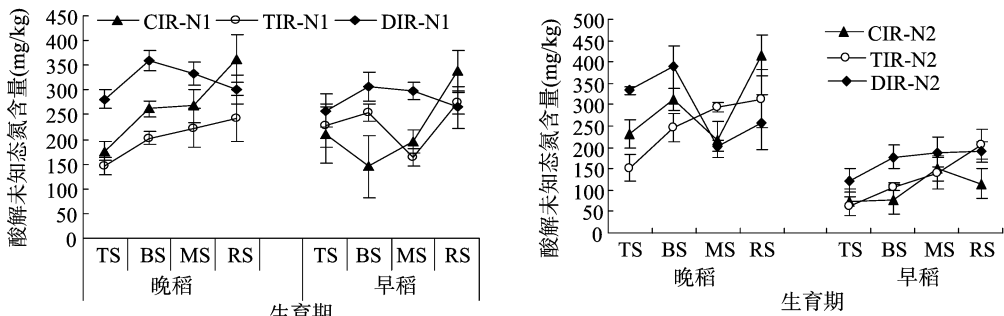


图7 不同灌溉模式和施氮量土壤酸解未知态氮

下土壤酸解未知态氮含量在水稻各生育期均大于 N2 处理,而晚稻 3 种灌溉模式下,N1 和 N2 土壤酸解未知态氮含量之间的差异不显著。因此,DIR 模式提高土壤酸解氨态氮含量,而增加施氮量则降低早稻土壤酸解氨态氮含量。

2.3 相关性分析

对 2 季水稻各生育期稻田 N₂O 排放通量与有机氮组分之间进行相关性分析,如表 1 所示。稻田 N₂O 排放通量与氨基糖态氮含量之间呈极显著正相关,相关系数为 0.410;与酸解氨态氮含量之间呈显著正相关,相关系数为 0.331;但与土壤氨基酸态氮含量之间呈显著负相关,相关系数为 -0.326。此外,稻田 N₂O 排放通量与其他有机氮组分之间的关系不显著。因此,稻田 N₂O 排放通量会受到土壤氨基糖态氮含量、酸解氨态氮含量和氨基酸态氮含量的综合影响。

表 1 不同灌溉模式和施氮量下稻田 N₂O 排放与有机氮组分的关系

有机氮组分含量	与 N ₂ O 排放通量的相关系数
ASN	0.410 **
AN	0.331 *
AAN	-0.326 *
THAN	0.171
HUN	0.078
NHN	-0.031

注: * 表示差异显著, $r_{0.05} = 0.285$; ** 表示差异极显著 $r_{0.01} = 0.368, n = 48$; ASN 为氨基糖态氮; AN 为酸解氨态氮; AAN 为氨基酸态氮; THAN 为酸解总氮; HUN 为酸解未知态氮; NHN 为非酸解性氮。

3 讨论

灌溉模式影响稻田土壤水分状况,从而影响水稻不同生长阶段 N₂O 向大气的排放通量。节水灌溉方式,特别是干湿交替灌溉对稻田 N₂O 排放通量有显著影响^[23]。本研究表明,与 CIR 模式相比,TIR 和 DIR 模式促进 2 季水稻 N₂O 平均排放通量的提高。原因可能是:一方面节水灌溉相对常规淹水灌溉具有更好的通气性,提高土壤氧化还原电位,促进硝化反应和反硝化反应中 N₂O 的产生;另一方面节灌土壤中产生的 N₂O 容易通过土壤孔隙内气体介质扩散排放,而淹水灌溉稻田由于水层较厚,未能及时排放到大气中的 N₂O 在厌氧条件下发生进一步还原作用,最终以分子态(N₂)的形式释放,从而降低 N₂O 的排放量。

水稻追施氮肥、晒田等田间管理措施通过提高土壤有效氮量、降低土壤含水量或提高田间氧化还原电位来促进稻田

N₂O 的排放通量。提高施氮量可以增加土壤中氮素养分含量,在土壤微生物作用下促进土壤中氮素发生硝化作用,从而提高稻田 N₂O 排放通量。农田氮素的输入增强了稻田 N₂O 排放,梁国庆等指出,N₂O 排放所损失的氮素占肥料氮的 0.39% ~ 0.47%^[24];张惠等指出,化肥施用量的增加是引起 N₂O 排放量增加的主要原因^[25]。本试验 N2 处理下,DIR 模式稻田 N₂O 排放通量的 3 次排放峰以及 CIR 和 TIR 模式的 2 次排放峰都出现在施肥或晒田之后,这与彭世彰等的研究节灌稻田 N₂O 排放通量的 2 次较大排放峰值主要出现在施肥 1 周后,晒田和土壤水分落干都会引起土壤 N₂O 的大量排放相一致^[26]。

田冬等发现,实现土壤有机氮向无机氮的转化,充分发挥土壤氮素养分的有效性以及氮素地球生物化学循环,须要经过土壤氮素矿化过程^[27]。土壤含水量对有机氮的矿化有重要影响。土壤水分管理通过改变土壤通气性、微生物数量与活性,从而影响土壤有机氮的矿化作用。胡晓航等指出,土壤氮矿化的最佳土水势在 0.01 ~ 0.03 MPa 之间,表明本试验中土壤水分长期处于 0 ~ 0.015 MPa 的 DIR 模式,有利于土壤氮素的矿化^[28]。张威等通过综述干湿交替条件下土壤氮素转化及其影响的研究进展,表明干湿交替模式显著影响土壤有机氮的矿化^[29]。不同有机氮组分在土壤中的矿化分解难易程度也有所差异。李菊梅等指出,土壤可矿化氮主要来自土壤酸解有机氮,而非酸解有机氮则相对稳定,有利于有机氮的保存^[30]。本试验表明,与 CIR 和 TIR 模式相比,通气良好的 DIR 模式有利于提高土壤酸解氨态氮和氨基糖态氮含量,降低氨基酸态氮含量,可能原因是 DIR 模式通气性较好,影响土壤有机质腐殖化过程,致使土壤有机质品质产生差异,促进土壤结构复杂的未知态氮、非酸解态氮向结构相对简单的酸解氨态氮和氨基糖态氮转化。

土壤肥料被施入土壤后经过土壤生物和植物的吸收同化以有机氮形态残留在土壤中,残留在土壤中的部分有机氮又经过微生物作用转化形成土壤中较为稳定的有机氮。与低氮处理相比,高氮处理主要通过增加土壤中 NH₄⁺ 的含量,降低土壤 pH 值和刺激微生物生长等途径影响土壤氮素转化,有研究表明,土壤有机氮矿化速度随施氮量的增加而提高,徐阳春等指出,化学氮肥显著增加土壤相对易水解的酸解氨态氮含量^[31],而本试验表明,N2 处理显著增加土壤酸解氨态氮和氨基糖态氮含量。

本研究相关性分析结果表明,稻田 N₂O 排放通量与土壤氨基糖态氮含量和酸解氨态氮含量之间呈显著正相关,而与

土壤氨基酸态氮含量之间呈负相关,因此土壤氨基糖态氮、酸解氨态氮和氨基酸态氮含量对稻田 N_2O 排放有直接影响。

4 结论

N_1 和 N_2 处理下,TIR 和 DIR 模式稻田 N_2O 平均排放通量较 CIR 模式高。CIR 和 DIR 模式下, N_2 处理整个生育期 N_2O 平均排放通量较 N_1 处理高。

与 CIR 模式相比,DIR 模式能提高土壤酸解氨态氮和氨基糖态氮含量,降低土壤氨基酸态氮含量; N_2 处理土壤酸解氨态氮和氨基糖态氮含量较 N_1 有显著增加。

稻田 N_2O 排放通量与土壤氨基糖态氮和酸解氨态氮含量之间呈显著正相关,但与土壤氨基酸态氮含量呈显著负相关,这表明稻田 N_2O 排放通量受土壤氨基糖态氮、酸解氨态氮和氨基酸态氮含量的综合影响。

致谢:感谢广西大学农田水肥高效利用与环境生态 2017 年毕业生和南宁灌水试验站全体工作人员的积极配合!

参考文献:

- [1] 侯会静,杨士红,徐俊增,等. 水稻控制灌溉对稻田 N_2O 排放的影响机理研究[J]. 中国科学(技术科学),2015,45(4):443-448.
- [2] 耿春伟,傅志强. 稻田水肥组合模式的 CH_4 和 N_2O 排放特征及其差异比较[J]. 作物研究,2012,26(7):9-13.
- [3] 颜晓元,施书莲,杜丽娟,等. 水分状况对水田土壤 N_2O 排放的影响[J]. 土壤学报,2000,37(4):482-489.
- [4] 袁伟玲,曹凑贵,程建平,等. 间歇灌溉模式下稻田 CH_4 和 N_2O 排放及温室效应评估[J]. 中国农业科学,2008,41(12):4294-4300.
- [5] 彭世彰,杨士红,徐俊增. 控制灌溉对稻田 CH_4 和 N_2O 综合排放及温室效应的影响[J]. 水科学进展,2010,21(2):235-240.
- [6] 董艳芳,黄景,李伏生,等. 不同灌溉模式和施氮处理下稻田 CH_4 和 N_2O 排放[J]. 植物营养与肥料学报,2017,23(3):578-588.
- [7] 刘靖雯,李伏生,董艳芳,等. 不同灌溉模式和施氮处理下稻田氨氧化细菌及无机氮对 N_2O 排放的影响[J]. 华中农业大学学报,2017,36(4):7-14.
- [8] 易琼,逢玉万,杨少海,等. 施肥对稻田甲烷与氧化亚氮排放的影响[J]. 生态环境学报,2013,22(8):1432-1437.
- [9] 马艳芹,钱晨晨,孙丹平,等. 施氮水平对稻田土壤温室气体排放的影响[J]. 农业工程学报,2016,32(增刊2):128-134.
- [10] Stevenson F J. Organic forms of soil nitrogen[M]. Madison: American Society of Agronomy,1982:67-122.
- [11] Bremner J M. Organic forms of soil nitrogen[M]//Black C A. Methods of soil analysis. Madison: American Society of Agronomy Incorporation,1965:1148-1178.
- [12] 马玉华. 耕作方式与氮肥管理对稻田土壤有机氮组分及 NH_3 挥发的影响[D]. 武汉:华中农业大学,2013.

- [13] 李世清,李生秀,邵明安,等. 半干旱农田生态系统长期施肥对土壤有机氮组分和微生物体氮的影响[J]. 中国农业科学,2004,37(6):859-864.
- [14] 杨志谦,王维敏. 秸秆还田后碳氮在土壤中的积累与释放[J]. 土壤肥料,1991(5):43-46.
- [15] 任金凤,周桦,马强,等. 长期施肥对潮棕壤有机氮组分的影响[J]. 应用生态学报,2017(5):1661-1667.
- [16] 许春霞,吴守仁. 壤土有机氮的构成及其在施肥条件下的变化[J]. 土壤通报,1991,22(2):54-56.
- [17] 王岩,蔡大同,史瑞和. 肥料残留氮的有效性及其与形态分布的关系[J]. 土壤学报,1993,30(1):19-25.
- [18] 彭令发,郝明德,来璐. 长期施肥对土壤有机氮影响研究 I 氮肥及其配施下土壤有机氮组分变化[J]. 水土保持研究,2003,10(1):53-54.
- [19] 姬景红,张玉龙,黄毅,等. 灌溉方法对保护地土壤有机氮组分及剖面分布的影响[J]. 水土保持学报,2007,21(6):99-104.
- [20] 梁燕菲,张潇潇,李伏生. “薄浅湿晒”灌溉稻田土壤微生物量碳、氮和酶活性研究[J]. 植物营养与肥料学报,2013,19(6):1403-1410.
- [21] 张自常,李鸿伟,陈婷婷,等. 畦沟灌溉和干湿交替灌溉对水稻产量与品质的影响[J]. 中国农业科学,2011,44(24):4988-4998.
- [22] 鲁如坤,时正元,施建平. 我国南方 6 省农田养分平衡现状评价和动态变化研究[J]. 中国农业科学,2000,33(2):63-67.
- [23] 李香兰,徐华,曹金留,等. 水分管理对水稻生长期 N_2O 排放的影响[J]. 土壤,2006,38(6):703-707.
- [24] 梁国庆,周卫,夏文建,等. 优化施氮下稻——麦轮作体系土壤 N_2O 排放研究[J]. 植物营养与肥料学报,2010,16(2):304-311.
- [25] 张惠,杨正礼,罗良国,等. 黄河上游灌区稻田 N_2O 排放特征[J]. 生态学报,2011,31(21):6606-6615.
- [26] 彭世彰,侯会静,徐俊增,等. 节水灌溉对稻田 N_2O 季节排放特征的影响[J]. 农业工程学报,2011,27(8):14-18.
- [27] 田冬,高明,徐畅. 土壤水分和氮添加对 3 种质地紫色土氮矿化及土壤 pH 的影响[J]. 水土保持学报,2016,30(1):255-261.
- [28] 胡晓航,周建朝,王秋红,等. 温度、水分和施肥对甜菜黑土氮素迁移转化的影响[J]. 水土保持学报,2015,29(5):82-88.
- [29] 张威,张旭东,何红波,等. 干湿交替条件下土壤氮素转化及其影响研究进展[J]. 生态学杂志,2010,29(4):783-789.
- [30] 李菊梅,王朝辉,李生秀. 有机质、全氮和可矿化氮在反映土壤供氮能力方面的意义[J]. 土壤学报,2003,40(2):232-238.
- [31] 徐阳春,沈其荣,郭泽圣. 长期施用有机肥对土壤及不同粒级中酸解有机氮含量与分配的影响[J]. 中国农业科学,2002,35(4):403-409.