

钱栋¹ 胡明成¹ 申卫收¹ 林先贵² 钟振芳³ 邱崇文⁴

不同类型有机肥对珠三角水稻产量和温室气体排放的影响

摘要

水稻田是甲烷(CH₄)和氧化亚氮(N₂O)的重要排放源。以珠三角地区典型双季稻为研究对象,设置了无肥(CK)、化肥(CF)、条垛有机肥(SOF)、促腐有机肥(COF)、新鲜有机肥(FOF)和灭菌有机肥(STOF)共6种处理,采用静态暗箱-气相色谱法,研究等氮量施用不同类型有机肥对水稻产量以及温室气体CH₄和N₂O排放的影响。结果如下:1)水稻产量依次为STOF>FOF>COF>CF>SOF>CK,STOF、FOF和COF处理相对于化肥处理增加了水稻产量,分别为19.3%、17.1%和15.5%($P<0.05$);FOF、STOF和COF处理相对于化肥处理增加了水稻田的经济效益,分别为69.4%、41.2%和24.2%。2)早稻和晚稻CH₄累积排放量依次为COF>FOF>SOF>STOF>CF>CK,COF、FOF、SOF和STOF处理相对于化肥处理增加了早稻和晚稻CH₄的累积排放量,分别为333.5%、261.3%、154.1%和128.6% ($P<0.05$)。3)水稻生长期各施肥处理N₂O的排放量均处于较低水平,该地区水稻田主要的温室气体仍然为CH₄。4)4种类型有机肥处理相对于化肥处理均显著增加了水稻田的全球增温潜势和温室气体排放强度。从全生命周期来看,COF由于堆肥时间较短,温室气体排放最少,在实际应用中不仅可以提高经济效益,同时也可以兼顾生态环境效益。

关键词

温室气体; 水稻田; 有机肥; 产量; 全球增温潜势

中图分类号 X511

文献标志码 A

收稿日期 2021-04-19

资助项目 国家自然科学基金(41771291)

作者简介

钱栋,男,硕士生,研究方向为农业温室气体排放高效控制,1679851541@qq.com

申卫收(通信作者),男,博士,教授,博士生导师,研究方向为土壤氮循环关键微生物过程、农畜牧业氨气与氧化亚氮排放控制机理、农牧废弃物资源化, wsshshen@nuist.edu.cn

1 南京信息工程大学 环境科学与工程学院/江苏省大气环境监测与污染控制高新技术重点实验室/大气环境与装备技术协同创新中心,南京 210044

2 中国科学院南京土壤研究所,南京 210008

3 广东海纳农业有限公司,惠州 516000

4 广东海纳农业研究院,惠州 516000

0 引言

我国是水稻种植大国,栽培面积达到2 900万hm²[1]。同时,我国也是化学肥料消耗大国,统计数据显示,2019年我国化肥施用量达5 404×10⁴t[2]。施用化肥能够增加水稻产量,但长期大量施用化肥也会带来许多负面问题,例如土壤酸化、有机质含量下降、氮肥利用效率降低和氮环境负效应[3]。2015年,农业农村部制定了《到2020年化肥使用量零增长行动方案》,提出了到2020年主要农作物化肥使用量实现零增长的目标任务,而有机肥替代化肥便是实现这一目标的关键路径之一[4]。有机肥的主要原料有畜禽粪便、农作物秸秆和菇渣等,可通过不同工艺加工成商品有机肥。施用有机肥不仅能够提升土壤肥力、改善土壤结构,还能增加作物产量和提高农产品品质等[5]。

全球气候变暖是当今世界面临的重大环境问题,CH₄和N₂O是大气中仅次于CO₂的两大重要温室气体[6]。在100年尺度上,单位质量的CH₄和N₂O对温室效应的贡献分别相当于CO₂的25和298倍[7]。稻田是CH₄和N₂O的重要排放源[8-9]。全球水稻田年均CH₄排放量占到排放到大气中CH₄总量的10%~20%[10-11]。水稻田干湿交替也会造成N₂O大量排放[12]。研究表明,我国水稻田CH₄年排放量达到6~10Tg[13]。到21世纪末,我国大陆气温将升高约2.5~4.9℃,高于全球平均值[14]。水稻田温室气体排放高效控制对于实现碳中和目标和农业绿色发展至关重要。

目前,已有大量关于有机肥替代化肥对水稻田温室气体排放影响的研究。苗茜等[15]在研究城市污泥堆肥和猪粪堆肥配施化肥对宁波地区水稻田CH₄和N₂O排放的影响时发现,有机肥等氮替代化肥增加了稻田CH₄排放量和水稻产量,减少了N₂O排放量。李桂花等[16]在探究秸秆还田条件下有机肥部分替代尿素对江西双季水稻田温室气体排放的影响试验时也发现类似现象。

珠江三角洲地区经济发达,是我国重要的双季稻种植区。受限于高温、降雨、台风等客观条件,该区域田间试验开展程度远不及华东地区、华北地区等。目前,有关珠三角地区水稻田有机肥施用的研究较少,尤其是施用不同有机肥对珠三角地区典型双季稻产量及水稻田N₂O和CH₄排放的影响尚不清楚。因此,本研究以我国珠三角地区典型水稻田为研究对象,设置了无肥对照、化肥、条垛有机肥、促腐有机

肥、新鲜有机肥和灭菌有机肥 6 种处理, 在等氮量施肥条件下, 研究不同类型有机肥对水稻产量及温室气体排放的影响, 为水稻田地力提升和农业绿色发展提供关键科学数据.

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验地位于广东省惠州市惠城区水口街道下源村(114°5′ E, 23°1′ N). 该地区属亚热带季风气候, 水热资源丰富, 多年平均气温 22 °C, 降水量 2 200 mm. 双季稻是该地区典型的稻作模式. 试验地土壤为华南地区典型赤红壤, 土壤 pH 为 5.8, 有机质质量分数为 18.60 g·kg⁻¹, 全氮质量分数为 1.10 g·kg⁻¹, 全磷质量分数为 0.88 g·kg⁻¹, 全钾质量分数为 18.90 g·kg⁻¹. 试验期间降雨量和气温变化情况如图 1 所示.

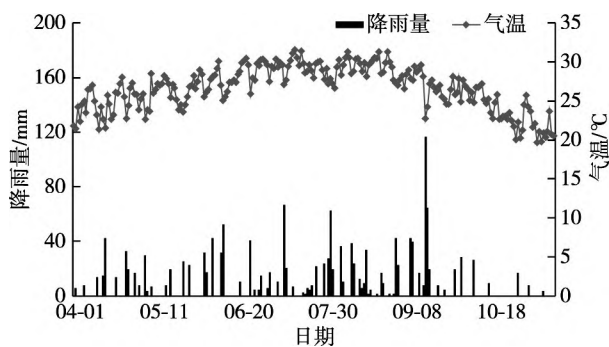


图 1 2018 年早、晚稻生长季内气温和降雨量的动态变化

Fig. 1 Dynamics of temperature and rainfall during the early and late rice growing seasons in 2018

1.2 试验设计

田间试验于 2018 年开始. 试验共设置无肥对照 (CK)、化肥 (CF)、条垛有机肥 (SOF)、促腐有机肥 (COF)、新鲜有机肥 (FOF) 和灭菌有机肥 (STOF) 6 个处理, 每个处理 4 个重复, 共 24 个小区. 随机区组排列, 每个小区面积为 42.75 m² (7.5 m×5.7 m). 4 种有机肥生产工艺各不相同.

传统工厂生产的商品有机肥多为条垛有机肥, 其采用条垛堆肥工艺生产, 具体生产过程为: 首先将鸡粪与秸秆按一定比例堆成长约 20 m, 宽约 2.5 m, 高约 1 m 的条垛状, 然后每隔几天利用翻堆机进行翻堆, 使鸡粪和秸秆混合均匀并呈好氧状态, 约 20 d 后停止翻堆, 使有机物料进入后期腐熟阶段, 约 30 d 后可得到条垛有机肥成品. 堆肥过程中的高温会杀死有机物料中的病原微生物, 实现有机肥的无害化.

然而, 条垛有机肥生产时间较长, 且堆肥过程中往往会散发出大量臭气, 影响环境质量. 同时, 鸡粪中的养分含量也因堆肥过程中 NH₃、N₂O 和 CH₄ 等气体的排放而大打折扣. 促腐有机肥采用新型物理化学促腐工艺生产, 具体生产过程为: 人为外加 100 °C 左右高温杀灭鸡粪中的病原微生物, 这一过程约 5 h 左右, 以达到无害化目的, 同时向鸡粪中添加促腐剂来快速降解其中的纤维素、木质素等难降解物质, 使鸡粪腐熟时间缩短到 1 星期以内, 达到快速腐熟的目的. 灭菌有机肥经过高温灭菌处理后制成, 人为外加高温使鸡粪快速无害化, 但其未经腐熟处理. 新鲜有机肥为未经高温灭菌和腐熟处理制成的有机肥.

各施肥处理均为等氮量施肥, 用量为 105 kg·hm⁻² (以 N 计), 具体施肥情况如表 1 所示. 化肥处理所用肥料包括尿素和复合肥 (N、P₂O₅、K₂O 的质量分数均为 15%), 其中尿素用量为 150 kg·hm⁻², 复合肥用量为 240 kg·hm⁻². 条垛有机肥、促腐有机肥、新鲜有机肥和灭菌有机肥的原料均为鸡粪. 其中: 条垛有机肥的氮质量分数为 1.63%, 纯干基用量为 6 441.75 kg·hm⁻²; 促腐有机肥的氮质量分数为 2.35%, 纯干基用量为 4 468.05 kg·hm⁻²; 新鲜有机肥的氮质量分数为 4.43%, 纯干基用量为 2 370.15 kg·hm⁻²; 灭菌有机肥的氮质量分数为 3.23%, 纯干基用量为 3 250.81 kg·hm⁻². 4 种有机肥处理采用表面撒施并结合耙田的施肥方式, 肥料作基肥一次施用, 后期不再追肥; 化肥处理包括基肥和分蘖肥 2 次施肥.

表 1 不同处理施肥情况

Table 1 Fertilization of different treatments

处理	kg·hm ⁻² , 以 N 计	
	基肥用量	分蘖肥用量
无肥	0	0
化肥	78	27
条垛有机肥	105	0
促腐有机肥	105	0
新鲜有机肥	105	0
灭菌有机肥	105	0

田间原位试验所用水稻栽培品种为美香占 2 号. 早稻于 2018 年 4 月 6 日施基肥, 4 月 9 日插秧, 4 月 30 日施分蘖肥 (化肥处理), 7 月 20 日早稻收割, 收割后秸秆不还田. 晚稻于 2018 年 8 月 8 日施基肥, 8 月 11 日插秧, 9 月 1 日施分蘖肥 (化肥处理), 11 月 15 日收割, 其中插秧、收割方式及田间管理方式

等同早稻一致.田间管理参照当地农民的传统做法:在试验开始之前进行淹水灌溉、耕田,然后施肥、插秧;插秧后田面保持淹水状态1个月左右,期间淹水深度维持在5~10 cm;之后为中期烤田,持续约2个星期;烤田后田面复水灌溉,至水稻黄熟期排水晒田,最后收割.

1.3 样品采集与分析

1) CH₄ 和 N₂O 采集.使用静态暗箱-气相色谱法.暗箱尺寸为0.5 m×0.5 m×0.6 m,箱体侧面留有采样口,上面留有圆形小孔,用于电子温度计测定箱中的温度.底座尺寸为0.6 m×0.6 m×0.3 m,采样前将底座下部埋入土中,并保持水平,底座上部有凹槽.采样时将箱体置于底座上,在底座凹槽里注入水,使得底座和箱体之间密封,在第0、15、30 min时使用50 mL注射器缓慢抽取箱中气体30 mL,注入15 mL真空玻璃瓶中,并记录此刻箱中温度.采样时间为早上08:00—12:00,水稻生长期前2个月每5 d采样1次,之后每7 d采样1次.样品寄回实验室后使用气相色谱仪(Agilent 7890B)测定样品中CH₄和N₂O的含量.气相色谱仪相关参数:前检测器为火焰离子化检测器(FID),可测定CH₄含量,工作温度250℃,高纯H₂流量为60 mL·min⁻¹,高纯空气流量为400 mL·min⁻¹;后检测器为微池电子捕获检测器(ECD),可测定N₂O含量,工作温度为300℃,含5%甲烷的氩气流量为2 mL·min⁻¹.

2) 水稻产量测定.水稻成熟后,人工收割并使用脱粒机对每个小区的水稻进行脱粒,晒干称质量,获得各试验处理的产量.

1.4 温室气体排放计算方法

CH₄和N₂O排放通量^[17]计算公式为

$$F = (M/V_0) \cdot H \cdot (P/P_0) \cdot (T/T_0) \cdot (dc/dt) \quad (1)$$

式中: F 为CH₄排放通量(mg·m⁻²·h⁻¹)或N₂O排放通量(μg·m⁻²·h⁻¹,以N计); M 为气体摩尔质量(g·mol⁻¹); V_0 为标准状况下的摩尔体积(L·mol⁻¹); H 为静态暗箱的有效高度(m); P_0 为标准状况下的大气压力(101.3 kPa); P 为箱内气压,采样时箱内外气压几乎不变,对CH₄和N₂O的影响可以忽略,故取与 P_0 相同的值; T 为气体样品采集时静态暗箱内的气温(K); T_0 为标准状况下的大气温度(273 K); dc/dt 为气体排放速率(μL·L⁻¹·min⁻¹).

CH₄和N₂O累积排放量计算方法:将相邻两次

采样日期的温室气体排放通量取平均值,与相邻两次采样日期间隔天数相乘,所得即为这一阶段温室气体的排放量.

单位产量水稻引起的CH₄和N₂O排放量(吸收量)计算方法:气体排放量/水稻产量,单位分别为g·kg⁻¹和mg·kg⁻¹(以N计).

温室气体综合温室效应(全球增温潜势,Global Warming Potential,GWP)计算方法:25×CH₄排放量+298×N₂O排放量^[7],单位为kg·hm⁻²,以CO₂计.

单位产量的水稻产生的温室效应(温室气体排放强度,Greenhouse Gas Emission Intensity,GHGI)计算方法:全球增温潜势/水稻产量^[18],单位为kg·kg⁻¹,以CO₂计.

1.5 数据分析

使用IBM SPSS Statistics 21.0软件及Microsoft Excel 2010软件对相关数据进行统计分析和显著性检验.

2 结果与分析

2.1 水稻产量

全年水稻产量依次为灭菌有机肥>新鲜有机肥>促腐有机肥>化肥>条垛有机肥>无肥对照(表2).与无肥对照相比,早、晚稻施用化肥和有机肥均显著增加了水稻产量($P<0.05$).灭菌有机肥、新鲜有机肥和促腐有机肥处理相对于化肥处理增加了早稻产量,分别增加了25.6%、25.3%和18.1%($P<0.05$);灭菌有机肥、促腐有机肥和新鲜有机肥处理也增加了晚稻产量,分别增加了11.5%、12.2%和7.1%($P>0.05$).从全年水稻产量来看,灭菌有机肥、新鲜有机肥和促腐有机肥处理相对于化肥处理增加了水稻产量,分别为19.3%、17.1%和15.5%($P<0.05$);条垛有机肥处理水稻产量略有减少($P>0.05$).

表2 不同处理水稻产量

Table 2 Rice yield of different fertilizer treatments

处理	kg·hm ⁻²		
	早稻	晚稻	总计
无肥	3 943.8±232.5c	3 129.5±636.5b	7 073.3±401.3c
化肥	5 049.2±155.9b	4 078.2±318.8a	9 127.4±275.6b
条垛有机肥	4 900.5±198.5b	4 061.1±171.5a	8 961.5±454.4b
促腐有机肥	5 961.8±303.9a	4 577.6±139.8a	10 539.3±353.4a
新鲜有机肥	6 326.6±245.3a	4 365.9±168.8a	10 692.6±228.3a
灭菌有机肥	6 340.2±141.2a	4 549.1±289.7a	10 889.4±323.3a

注:同一列标注不同字母的处理间差异显著($P<0.05$).

2.2 水稻田经济效益分析

水稻田的经济效益由其生产总成本和产值决定. 本研究中, 尿素、复合肥的价格分别为 2 500 元·t⁻¹、2 800 元·t⁻¹, 条垛有机肥、促腐有机肥、新鲜有机肥、灭菌有机肥的生产成本分别为 800 元·t⁻¹、600 元·t⁻¹、150 元·t⁻¹、700 元·t⁻¹. 早稻和晚稻的种子费均为 1 125 元·hm⁻², 无肥和化肥处理的人工费用分别为 5 250 元·hm⁻²和 6 750 元·hm⁻², 4 种有机肥处理的人工费均为 6 000 元·hm⁻². 稻谷价格为 3.2 元·

kg⁻¹. 从表 3 可以看到, 条垛有机肥、促腐有机肥和灭菌有机肥处理相对于化肥处理均增加了水稻田的生产总成本, 增幅分别为 37.6%、9.9%和 5.4%. 从产值来看, 促腐有机肥处理、新鲜有机肥处理和灭菌有机肥处理比化肥处理分别增加了 15.5%、17.1%和 19.3%. 促腐有机肥、灭菌有机肥和新鲜有机肥处理相对于化肥处理均增加了纯利润, 增幅分别为 24.2%、41.2%和 69.4%.

表 3 不同处理下水稻田的年经济效益

Table 3 Annual economic benefits of paddy rice fields under different treatments

元·hm⁻²

处理	肥料费	种子费	人工费	总成本	产值	纯利润
无肥	0	2 250	10 500	12 750	22 634±1 284c	9 884±1 284c
化肥	2 094	2 250	13 500	17 844	29 207±882b	11 363±882 bc
条垛有机肥	10 306	2 250	12 000	24 556	28 678±1 454b	4 122±1 454d
促腐有机肥	5 362	2 250	12 000	19 612	33 726±1 131a	14 114±1 131b
新鲜有机肥	712	2 250	12 000	14 962	34 216±731a	19 254±731a
灭菌有机肥	4 552	2 250	12 000	18 802	34 846±1 034a	16 044±1 034 ab

注: 总成本=肥料费+种子费+人工费, 产值=产量×稻谷价格, 纯利润=产值-总成本. 同一列标注不同字母的处理间差异显著 ($P<0.05$).

2.3 水稻田 CH₄ 排放特征

早、晚稻水稻田 CH₄ 排放通量动态变化如图 2 所示. 早稻田 CH₄ 排放通量变化范围为 0.04 ~ 263.51 mg·m⁻²·h⁻¹. CH₄ 排放主要集中在插秧后 1 个月内, 之后除促腐有机肥处理有较明显的 CH₄ 排放外 (42.97 mg·m⁻²·h⁻¹), 其余处理 CH₄ 排放通量接近于零. 早稻田 CH₄ 排放通量先升高后降低, CH₄ 排放通量峰值出现在插秧后 20 d 左右. 烤田开始后田面水迅速落干, 各处理 CH₄ 排放通量迅速降低; 烤田结束后田间复水灌溉, CH₄ 排放通量并没有出现回升, 而是进一步下降至接近于零. 不同类型有机肥处理下早稻田 CH₄ 排放通量高于化肥和无肥对照处理. 晚稻田 CH₄ 的排放通量变化范围为 0 ~ 180.08 mg·m⁻²·h⁻¹, 在插秧后即出现 CH₄ 排放高峰, 且在插秧后 1 个月左右的淹水期内变化幅度较小. 晚稻烤田于 9 月 10 日开始, 此后田面水因高温快速落干, 各处理稻田 CH₄ 排放通量迅速下降至接近于零; 烤田于 10 月 10 日结束, 之后田间复水灌溉, 晚稻田 CH₄ 排放通量同样未出现明显上升趋势, 至水稻收割各处理稻田 CH₄ 排放通量均维持在很低水平.

水稻田 CH₄ 累积排放量如表 4 所示. 早稻田 CH₄ 累积排放量依次为促腐有机肥>新鲜有机肥>条垛有机肥>灭菌有机肥>化肥>无肥. 相比于无肥对照, 施用有机肥和化肥均显著增加了稻田 CH₄ 排放

($P<0.05$). 促腐有机肥、新鲜有机肥、条垛有机肥和灭菌有机肥处理相对于化肥处理, CH₄ 累积排放量分别增加了 498.6%、339.2%、235.4%和 213.7% ($P<0.05$). 晚稻田 CH₄ 累积排放量依次为促腐有机肥>新鲜有机肥>条垛有机肥>灭菌有机肥>化肥>无肥, 总体趋势和早稻田一致, 但晚稻田 CH₄ 累积排放量相对于早稻田有所增加. 与无肥对照相比, 有机肥和化肥处理均显著增加晚稻田 CH₄ 排放 ($P<0.05$). 促腐有机肥、新鲜有机肥、条垛有机肥和灭菌有机肥处理相对于化肥处理, CH₄ 累积排放量分别增加了 239.5%、208.2%、107.8%和 80.2% ($P<0.05$).

表 4 2018 年早、晚稻不同处理 CH₄ 累积排放量

Table 4 Cumulative CH₄ emissions from paddy rice fields under different fertilizer treatments in 2018

kg·hm⁻²

处理	早稻	晚稻	总计
无肥	69.0±8.5d	203.7±25.4d	272.7±31.3d
化肥	197.7±23.9c	346.7±43.6c	544.4±65.4c
条垛有机肥	663.0±75.9b	720.5±95.4b	1 383.5±125.8b
促腐有机肥	1 183.2±159.4a	1 177.0±138.4a	2 360.2±261.6a
新鲜有机肥	868.2±103.3 ab	1 098.7±142.8a	1 966.9±237.6 ab
灭菌有机肥	620.0±87.5b	624.6±85.3b	1 244.6±155.9b

注: 同一列标注不同字母的处理间差异显著 ($P<0.05$).

2.4 水稻田 N₂O 排放特征

水稻田 N₂O 排放通量动态变化如图 3 所示. 早

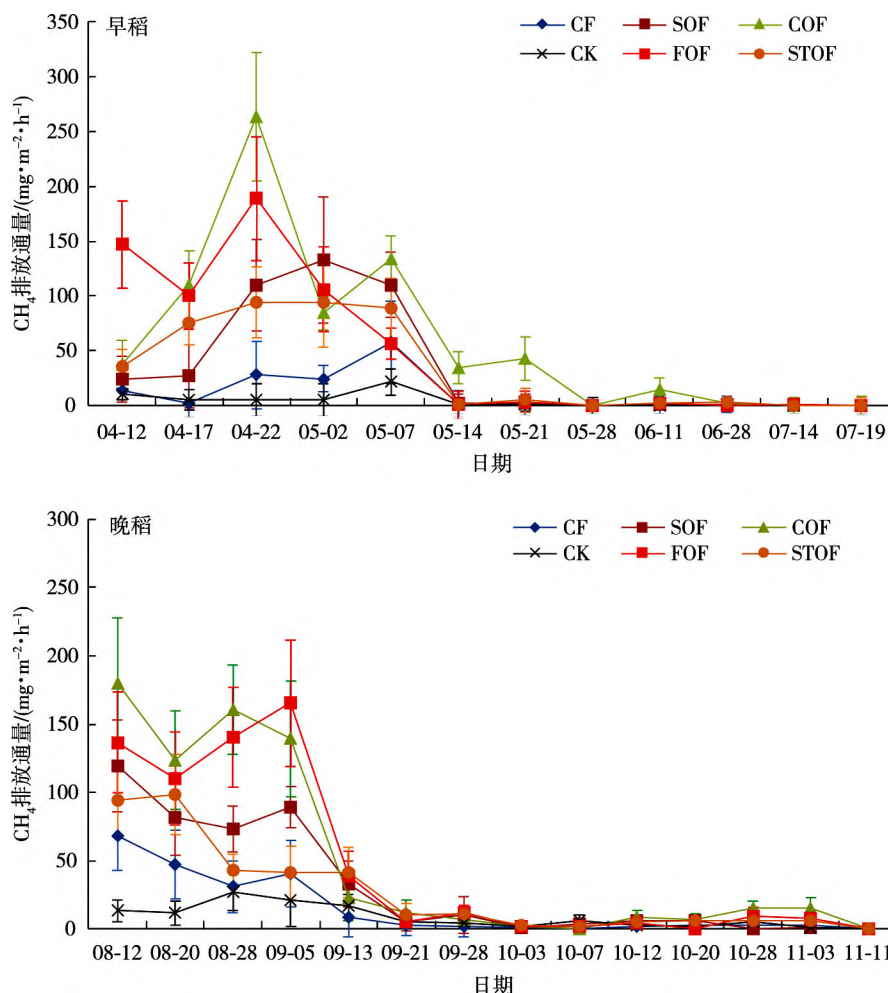


图2 2018年早、晚稻不同处理CH₄排放通量动态变化

Fig. 2 Dynamics of methane fluxes from paddy rice fields under different fertilizer treatments during early rice (up) and late rice (down) growth period in 2018

稻田 N₂O 排放主要集中在烤田中期和后期,淹水期 N₂O 排放通量多为负值.早稻生长期各处理 N₂O 排放通量最大值为 35.59 μg·m⁻²·h⁻¹(以 N 计)(5月7日化肥处理),最小值为-40.49 μg·m⁻²·h⁻¹(以 N 计)(6月11日化肥处理).总体来看,早稻田 N₂O 排放通量变化幅度较小,没有出现脉冲式的排放峰.晚稻田 N₂O 排放主要集中在生长中期,淹水期和烤田后期各处理 N₂O 排放通量多为负值.晚稻田 N₂O 排放通量最大值为 69.23 μg·m⁻²·h⁻¹(以 N 计)(9月28日条垛有机肥处理),最小值为-36.69 μg·m⁻²·h⁻¹(以 N 计)(8月20日灭菌有机肥处理).晚稻田 N₂O 排放通量变化幅度略大于早稻田,出现了较为明显的 N₂O 排放峰.从早、晚稻田 N₂O 排放特征来看,N₂O 排放同田间水分条件变化趋势密切相关,N₂O 排放主要集中在烤田期,淹水期 N₂O 排放通量

多为负值.

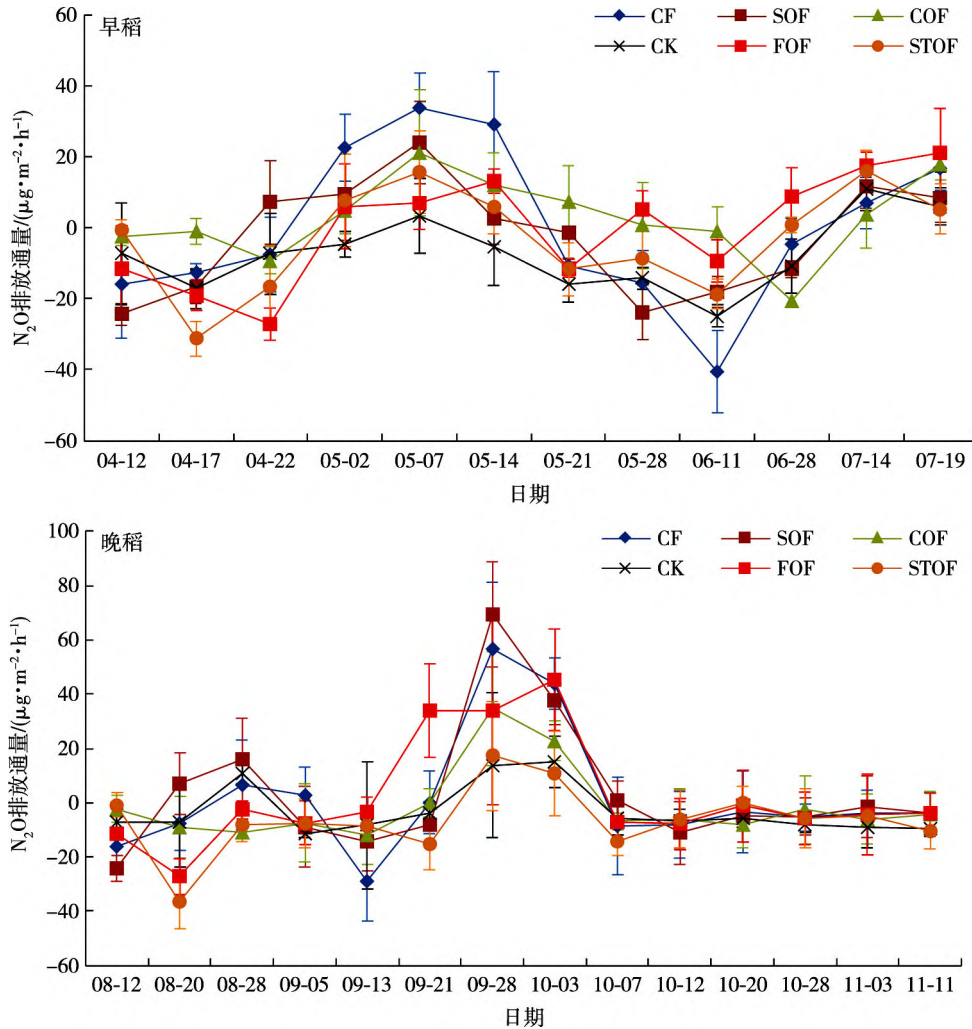
水稻田 N₂O 累积排放量如表 5 所示.早稻田 N₂O 累积排放量依次为新鲜有机肥>促腐有机肥>灭菌有机肥>化肥>条垛有机肥>无肥.除新鲜有机肥外

表5 2018年早、晚稻不同处理 N₂O 累积排放量

Table 5 Cumulative N₂O emissions from paddy rice fields under different fertilizer treatments in 2018

	g·hm ⁻² ,以 N 计		
处理	早稻	晚稻	总计
无肥	-219.8±35.2d	-76.4±9.7c	-296.2±35.9c
化肥	-103.8±17.6c	10.8±2.3b	-93.0±19.2b
条垛有机肥	-111.6±15.8c	59.5±8.7a	-52.1±7.2b
促腐有机肥	-11.9±2.7b	-56.3±6.6c	-68.2±6.9b
新鲜有机肥	10.4±2.0a	22.2±3.1b	32.6±3.8a
灭菌有机肥	-91.2±12.3c	-165.8±21.9d	-257.0±34.2c

注:同一列标注不同字母的处理间差异显著(P<0.05).

图3 2018年早、晚稻不同处理N₂O排放通量动态变化Fig. 3 Dynamics of N₂O fluxes from paddy rice fields under different fertilizer treatments during early rice (up) and late rice (down) growth period in 2018

各处理的N₂O累积排放量均为负值.晚稻田N₂O累积排放量依次为条垛有机肥>新鲜有机肥>化肥>促腐有机肥>无肥>灭菌有机肥.相比于早稻,晚稻季N₂O排放更为明显,其中条垛有机肥、新鲜有机肥和化肥处理均出现了明显的N₂O排放.该地区水稻田N₂O排放水平较低,且各处理水稻田N₂O累积排放量以负值居多.

2.5 水稻田CH₄和N₂O综合温室效应及排放强度

为了综合评价水稻产量和水稻田CH₄、N₂O排放量的关系,计算了各处理单位粮食产量下早、晚稻田CH₄和N₂O的排放量(表6).从各处理单位粮食产量CH₄的排放量上来看,促腐有机肥处理最高(224.0 g·kg⁻¹),无肥处理最低(38.6 g·kg⁻¹).相比

于无肥和化肥处理,有机肥处理单位产量CH₄的排放量均出现了明显增加($P < 0.05$).从单位产量N₂O的排放量上来看,早、晚稻新鲜有机肥处理均为正值,其余处理则为负值.不同类型有机肥中灭菌有机肥处理早、晚稻单位产量N₂O的排放量最低(-23.6 mg·kg⁻¹,以N计).

为了综合评价水稻田排放的CH₄和N₂O对温室效应的贡献,计算了各处理水稻田排放的CH₄和N₂O的GWP(表7).除新鲜有机肥外,早、晚稻田排放的N₂O的GWP均为负值.水稻田排放的CH₄的GWP远大于N₂O,对温室效应的贡献几乎全部来自CH₄.无肥对照的总GWP最低,有机肥和化肥处理均高于无肥处理.促腐有机肥、新鲜有机肥、条垛有机肥、灭菌有机肥处理相对于化肥处理,早、晚稻总GWP分别增加334.2%、262.1%、154.5%和

128.5%($P<0.05$).有机肥处理中,总GWP最高的处理是促腐有机肥处理,最低的是灭菌有机肥处理.

水稻田温室气体排放强度(GHGI)是指生产出单位质量的粮食造成的温室效应,可以很好地将水稻生产效益和环境效益结合起来.除新鲜有机肥处理外,早、晚稻田排放的 N_2O 总GHGI均为负值(表8).其中,化肥处理GHGI最低,水稻田每生产1 kg水稻吸收的 N_2O 相当于从大气中吸收12.3 g CO_2 .早、晚稻田排放的 CH_4 总GHGI远大于 N_2O ,其中促腐有机肥处理最高,每生产1 kg水稻排放的 CH_4 相当于向大气中排放6.3 kg CO_2 .总GHGI最高的是促腐有机肥处理,最低的是化肥处理.相比于化肥处

理,促腐有机肥、新鲜有机肥、条垛有机肥和灭菌有机肥处理总GHGI分别增加了273.8%、206.5%、157.1%和90.5%($P<0.05$).

3 讨论

施用促腐有机肥、新鲜有机肥和灭菌有机肥相对于化肥均显著增加了水稻产量,而施用条垛有机肥后水稻产量略有下降.这与周贝贝^[19]的研究结果一致,其在水稻盆栽试验中发现,利用鲜粪、快腐粪肥完全替代单施化肥促进了水稻分蘖,提高了干物质在籽粒中的分配比例,增加了水稻产量,而条垛堆肥并没有明显增产.不同肥料进入土壤后速效氮释

表6 不同处理单位粮食产量 CH_4 和 N_2O 排放量

Table 6 CH_4 and N_2O emissions per unit of grain production for different fertilizer treatments

处理	单位粮食产量 CH_4 排放量/($g \cdot kg^{-1}$)			单位粮食产量 N_2O 排放量/($mg \cdot kg^{-1}$,以N计)		
	早稻	晚稻	总计	早稻	晚稻	总计
无肥	17.5±5.3d	65.1±10.3c	38.6±6.8c	-55.7±19.2d	-24.4±7.3c	-41.9±8.4d
化肥	39.2±7.6c	85.0±10.8c	59.7±9.6c	-20.6±4.4c	2.6±0.7b	-10.2±3.3bc
条垛有机肥	135.3±21.6ab	177.4±29.4ab	154.4±30.1ab	-22.8±4.3c	14.7±3.8a	-5.8±1.9b
促腐有机肥	198.5±35.9a	257.1±35.0a	224.0±40.2a	-2.0±0.5b	-12.3±4.2c	-6.5±1.7b
新鲜有机肥	137.2±21.9ab	251.7±43.8a	184.0±34.2ab	1.6±0.5a	5.1±2.0b	3.1±0.8a
灭菌有机肥	97.8±15.9b	137.3±21.3b	114.3±17.8b	-14.4±4.9c	36.4±9.4d	-23.6±7.3c

注:同一列标注不同字母的处理间差异显著($P<0.05$).

表7 不同处理温室气体全球增温潜势(GWP)

Table 7 Global warming potential (GWP) for different fertilizer treatments $kg \cdot hm^{-2}$,以 CO_2 计

处理	CH_4 -GWP			N_2O -GWP			总GWP		
	早稻	晚稻	总计	早稻	晚稻	总计	早稻	晚稻	总计
无肥	1 932±319d	5 702±783d	7 634±1 023d	-65±11d	-22±6c	-87±14c	1 867±293d	5 679±982d	7 546±1 203d
化肥	5 534±882c	9 708±1 543c	15 242±2 398c	-30±7c	3±1b	-27±5b	5 503±901c	9 711±1 489c	15 214±2 243c
条垛有机肥	18 563±2 598b	20 173±3 034b	38 736±5 091b	-33±4c	17±4a	-16±5b	18 530±2 986b	20 191±3 142b	38 721±5 349b
促腐有机肥	33 129±4 099a	32 956±4 572a	66 085±8 903a	-3±1b	-16±4c	-19±7b	33 126±4 501a	32 939±4 778a	66 065±9 033a
新鲜有机肥	24 310±3 559ab	30 763±4 493a	55 073±6 981ab	3±1a	6±1b	9±2a	24 313±3 387ab	30 770±4 829a	55 083±6 731ab
灭菌有机肥	17 360±2 330b	17 487±3 103b	34 847±5 128b	-27±4c	-49±9d	-76±13c	17 333±2 409b	17 438±3 301b	34 771±5 028b

注:同一列标注不同字母的处理间差异显著($P<0.05$).

表8 不同处理温室气体排放强度(GHGI)

Table 8 Greenhouse gas emission intensity (GHGI) for different fertilizer treatments

处理	CH_4 -GHGI/($kg \cdot kg^{-1}$,以 CO_2 计)			N_2O -GHGI/($g \cdot kg^{-1}$,以 CO_2 计)			总GHGI/($kg \cdot kg^{-1}$,以 CO_2 计)		
	早稻	晚稻	总计	早稻	晚稻	总计	早稻	晚稻	总计
无肥	0.5±0.1d	1.8±0.2d	1.1±0.2c	-16.5±4.5d	-7.0±1.1d	-12.3±3.3d	0.5±0.1d	1.8±0.2c	1.1±0.2c
化肥	1.1±0.2c	2.4±0.3c	1.7±0.3c	-5.9±1.2c	0.7±0.2b	-3.0±0.7b	1.1±0.2c	2.4±0.3bc	1.7±0.3c
条垛有机肥	3.8±0.5ab	5.0±0.6b	4.3±0.5b	-6.7±1.8c	4.2±0.7a	-1.8±0.4b	3.8±0.5b	5.0±0.6b	4.3±0.5b
促腐有机肥	5.6±0.8a	7.3±0.9a	6.3±0.8a	-0.5±0.1b	-3.5±0.5c	-1.8±0.3b	5.6±0.8a	7.2±0.9a	6.3±0.8a
新鲜有机肥	3.9±0.5ab	7.1±0.9a	5.2±0.7ab	0.5±0.1a	1.4±0.2b	0.8±0.1a	3.9±0.6ab	7.1±0.9a	5.2±0.7ab
灭菌有机肥	2.8±0.4b	3.9±0.5b	3.2±0.4b	-4.3±0.9c	-10.8±1.6d	-7.0±1.1c	2.7±0.4b	3.8±0.5b	3.2±0.4b

注:同一列标注不同字母的处理间差异显著($P<0.05$).

放速率的不同也会造成水稻产量出现差异^[20-22].虽然各施肥处理施氮量相同,但化肥进入土壤后快速增加了土壤中速效氮的含量,这些氮素容易以 NH_3 挥发、硝酸盐淋溶等形式损失,水稻可吸收利用的氮素含量降低,而有机肥中有机氮矿化需要一定的时间,水稻对矿质氮的利用效果也更好,由此水稻产量也更高.此外,Yang等^[23]研究发现有机肥替代化肥有利于水稻根系的生长,促进了根系对氮素的吸收,并增加了养分向稻穗输送的比例.大部分研究表明,有机肥部分替代化肥会增加水稻产量,而有机肥完全替代化肥则会使水稻减产^[24].由于大部分研究者使用的有机肥为商品有机肥,其生产工艺多为条垛式堆肥,所以本研究中条垛有机肥替代化肥造成水稻产量略微下降与大部分研究者的结果一致.施用条垛有机肥相对于化肥导致水稻产量略微下降的原因可能是条垛有机肥在好氧堆肥的生产过程中往往会排放大量 NH_3 ,造成肥料中的铵态氮含量降低,施入稻田后可供水稻利用的矿质氮含量大打折扣^[25];同时,条垛有机肥中的有机氮矿化速率较慢,速效氮释放速率与水稻养分吸收不匹配,导致水稻不能及时吸收利用氮素.

水稻田是 CH_4 重要的排放源,是土壤 CH_4 产生过程、氧化过程和传输扩散过程综合作用的结果^[26].本研究发现,不同施肥处理下,水稻田 CH_4 排放通量变化特征基本一致, CH_4 的排放集中在淹水时期,这表明田间水分条件是稻田 CH_4 排放的主要影响因素^[27].田间水分条件影响土壤的通气性和氧化还原电位,从而对土壤中产甲烷古菌和甲烷氧化细菌群落组成和丰度产生影响,进而影响 CH_4 的净排放.与无肥对照相比,施肥显著增加了水稻田 CH_4 的排放,这可能是施肥促进了水稻的生长发育,水稻根系分泌物显著增加,为土壤中产甲烷古菌提供了大量营养物质^[28].与化肥处理相比,施用有机肥均显著增加了稻田 CH_4 的排放.有机肥中有机质含量较高,为土壤产甲烷古菌提供了丰富的代谢前体,同时有机质的降解还会造成土壤氧化还原电位的下降,有利于产甲烷古菌的生长和繁殖^[29-30].不同类型有机肥处理下水稻田 CH_4 排放量也表现出明显不同,促腐有机肥处理 CH_4 累积排放量最高,灭菌有机肥处理 CH_4 累积排放量最低,不同的有机肥生产工艺可能导致其有机质含量不同,影响土壤中产甲烷古菌的群落组成和丰度,从而导致 CH_4 排放量出现差异^[31].

水稻田 N_2O 排放是土壤 N_2O 产生和还原综合作用的结果,其受施肥、田间水分和温度等因素影响较大.本研究发现,无论是早稻还是晚稻,不同施肥处理下 N_2O 排放通量变化趋势大致相同.整个水稻生育期 N_2O 的排放通量较低,累积排放量为负值或接近零,仅在移栽20~30 d后的烤田期间出现排放峰,最高也仅有 $69.23 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ (以N计),普遍低于已报道的水稻田 N_2O 的排放通量.烤田期间较低的排放通量也导致整个水稻生育期 N_2O 累积排放量较低,甚至出现了负值.易琼等^[32]在研究不同施肥模式对华南水稻田 CH_4 和 N_2O 排放影响时也发现类似现象.田间水分条件显著影响了水稻田 N_2O 的排放^[33].水稻种植使田间水位较深且珠三角地区降水充沛,土壤长期处于淹水还原状态下,严格厌氧条件促使反硝化过程进行剧烈,土壤产生和大气扩散进入土壤的 N_2O 进一步被还原为 N_2 ^[34].此外,本研究中氮肥用量为 $105 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (以N计),与已报道的氮肥用量相比偏低^[35-36],也减少了水稻田 N_2O 排放.施用不同类型有机肥对水稻田 N_2O 排放的影响知之甚少,相关研究表明其主要受有机肥的种类、碳氮比、微生物和植物对氮素的利用争夺等因素的影响^[37],将来可从土壤微生物角度探索其机理.

有机肥替代化肥在农业碳中和目标的实现、地力提升和农业绿色发展中具有重要作用.4种不同类型有机肥相对于化肥均显著增加了 CH_4 排放量,同时水稻田 N_2O 的排放水平较低,GWP和GHGI显著升高主要归因于 CH_4 排放.通常有机肥堆肥过程中会排放大量 CH_4 和 N_2O .由于促腐有机肥堆制时间较短、腐熟程度较高,因而从全生命周期来看,促腐有机肥生产和使用过程中排放的温室气体相对于其他类型有机肥明显较低.因而,促腐有机肥不仅具有较好的农学和经济效益,同时兼顾了生态环境效益,将为有机肥替代化肥提供科学依据和实际指导.

4 结论

施用促腐有机肥、新鲜有机肥和灭菌有机肥相对于化肥增加了水稻产量,增幅分别为15.5%、17.1%和19.3%($P < 0.05$),但施用条垛有机肥后水稻产量略有下降($P > 0.05$).水稻田 CH_4 排放集中在水稻移栽后一个月内.施用不同类型有机肥相对于化肥促进了双季水稻田 CH_4 的排放.水稻生育期内 N_2O 排放集中在烤田期,但其排放水平较低. CH_4 是珠三角地区双季水稻田的主要温室气体,全球增温

潜势主要来自 CH_4 的贡献.从全生命周期来看,促腐有机肥替代化肥不仅可以增加水稻产量和水稻田的经济效益,还可以兼顾生态环境效益.

参考文献

References

- [1] 国家统计局.中国统计年鉴 2020[M].北京:中国统计出版社,2020
- [2] 国家统计局农村社会经济调查司.中国农村统计年鉴 2020[M].北京:中国统计出版社,2020
- [3] 李东坡,武志杰.化学肥料的土壤生态环境效应[J].应用生态学报,2008,19(5):1158-1165
LI Dongpo,WU Zhijie.Impact of chemical fertilizers application on soil ecological environment[J].Chinese Journal of Applied Ecology,2008,19(5):1158-1165
- [4] 方克明,沈慧芳,双巧云,等.水稻化肥使用量增长问题与零增长对策[J].中国农学通报,2016,32(27):200-204
FANG Keming,SHEN Huifang,SHUANG Qiaoyun,et al.Problem of fertilizer application increase in rice and countermeasures of “zero increase”[J].Chinese Agricultural Science Bulletin,2016,32(27):200-204
- [5] 董文,张青,罗涛,等.不同有机肥连续施用对土壤质量的影响[J].中国农学通报,2020,36(28):106-110
DONG Wen,ZHANG Qing,LUO Tao,et al.Effects of continuous application of different organic fertilizers on soil quality[J].Chinese Agricultural Science Bulletin,2020,36(28):106-110
- [6] Stocker T F,Qin D,Plattner G K,et al.Climate change 2013:the physical science basis.Contribution of working group I to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change[M].Cambridge:Cambridge University Press,2014. DOI:10.1017/CBO9781107415324
- [7] Kajiura M,Minamikawa K,Tokida T,et al.Methane and nitrous oxide emissions from paddy fields in Japan:an assessment of controlling factor using an intensive regional data set[J].Agriculture,Ecosystems & Environment,2018,252:51-60
- [8] Carlson K M,Gerber J S,Mueller N D,et al.Greenhouse gas emissions intensity of global croplands[J].Nature Climate Change,2017,7(1):63-68
- [9] Kritee K,Nair D,Zavala-Araiza D,et al.High nitrous oxide fluxes from rice indicate the need to manage water for both long-and short-term climate impacts[J].PNAS,2018,115(39):9720-9725
- [10] Wassmann R,Aulakh M S.The role of rice plants in regulating mechanisms of methane emissions[J].Biology and Fertility of Soils,2000,31(1):20-29
- [11] Zou J W,Huang Y,Jiang J Y,et al.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[J].Global Biogeochemical Cycles,2005,19(2):GB2021
- [12] Kudo Y,Noborio K,Shimoozono N,et al.The effective water management practice for mitigating greenhouse gas emissions and maintaining rice yield in central Japan[J].Agriculture,Ecosystems & Environment,2014,186:77-85
- [13] Chen Z D,Zhang H L,Xue J F,et al.A nine-year study on the effects of tillage on net annual global warming potential in double rice-cropping systems in Southern China[J].Soil and Tillage Research,2021,206:104797
- [14] 闫冠华,李巧萍,邢超.不同温室气体排放情景下未来中国地面气温变化特征[J].南京信息工程大学学报(自然科学版),2011,3(1):36-46
YAN Guanhua,LI Qiaoping,XING Chao.Future surface air temperature changes in China under different greenhouse gas emission scenarios[J].Journal of Nanjing University of Information Science & Technology(Natural Science Edition),2011,3(1):36-46
- [15] 苗茜,黄琼,朱小莉,等.有机肥等氮替代化肥对稻田 CH_4 和 N_2O 排放的影响[J].生态环境学报,2020,29(4):740-747
MIAO Xi,HUANG Qiong,ZHU Xiaoli,et al.Effects of partial organic substitution for chemical fertilizer on CH_4 and N_2O emissions in paddy field[J].Ecology and Environmental Sciences,2020,29(4):740-747
- [16] 李桂花,周吉祥,张建峰,等.有机肥和缓控肥替代部分化肥降低双季稻田综合净温室效应[J].植物营养与肥料学报,2020,26(6):1017-1024
LI Guihua,ZHOU Jixiang,ZHANG Jianfeng,et al.Decreasing net global warming potential through partial substitution of urea with manure and slow-release fertilizer in a double-rice system[J].Plant Nutrition and Fertilizer Science,2020,26(6):1017-1024
- [17] 王书伟,吴正贵,孙永泉,等.太湖地区典型轮作与休耕方式对稻田水稻季 N_2O 和 CH_4 排放量的影响[J].生态环境学报,2021,30(1):63-71
WANG Shuwei,WU Zhenggui,SUN Yongquan,et al.Effects of typical crop rotation systems and land fallow on paddy soil N_2O and CH_4 emissions in Taihu Lake region of China[J].Ecology and Environmental Sciences,2021,30(1):63-71
- [18] 周贝贝,王一明,林先贵.不同处理方式的粪肥对水稻生长和温室气体排放的影响[J].应用与环境生物学报,2016,22(3):430-436
ZHOU Beibei,WANG Yiming,LIN Xiangui.Effects of differently treated manures on rice growth and greenhouse gas emission[J].Chinese Journal of Applied & Environmental Biology,2016,22(3):430-436
- [19] 周贝贝.稻麦轮作下施用快腐粪肥的增产减排效应及微生物学机制[D].北京:中国科学院大学,2016
ZHOU Beibei.Microbial mechanisms of productivity improvement and greenhouse gas mitigation by rapidly composted manure from rice-wheat rotations[D].Beijing:University of Chinese Academy of Sciences,2016
- [20] 杨旭,林清火,史东梅,等.有机无机复混肥在热带地区双季稻上化肥减施的应用效果[J].热带作物学报,2021,42(1):85-91
YANG Xu,LIN Qinghuo,SHI Dongmei,et al.Application effect of organic-inorganic compound fertilizer on the reduction of fertilizer application on double cropping rice in tropical regions[J].Chinese Journal of Tropical Crops,

- 2021 ,42(1) : 85-91
- [21] 陈贵,赵国华,张红梅,等.长期施用有机肥对水稻产量和氮磷养分利用效率的影响[J].中国土壤与肥料,2017(1) : 92-97
CHEN Gui ,ZHAO Guohua ,ZHANG Hongmei ,et al. Effect of long-term organic fertilizers application on rice yield ,nitrogen and phosphorus use efficiency [J]. Soils and Fertilizers Sciences in China 2017(1) : 92-97
- [22] 陈香碧,胡亚军,秦红灵,等.稻作系统有机肥替代部分化肥的土壤氮循环特征及增产机制[J].应用生态学报,2020 ,31(3) : 1033-1042
CHEN Xiangbi ,HU Yajun ,QIN Hongling ,et al. Characteristics of soil nitrogen cycle and mechanisms underlying the increase in rice yield with partial substitution of mineral fertilizers with organic manure in a paddy ecosystem: a review [J]. Chinese Journal of Applied Ecology ,2020 , 31(3) : 1033-1042
- [23] Yang C M ,Yang L Z ,Yang Y X ,et al. Rice root growth and nutrient uptake as influenced by organic manure in continuously and alternately flooded paddy soils [J]. Agricultural Water Management ,2004 ,70(1) : 67-81
- [24] 魏文良,刘路,仇恒浩.有机无机肥配施对我国主要粮食作物产量和氮肥利用效率的影响[J].植物营养与肥料学报,2020 ,26(8) : 1384-1394
WEI Wenliang ,LIU Lu ,QIU Henghao. Effects of different organic resources application combined with chemical fertilizer on yield and nitrogen use efficiency of main grain crops in China [J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers 2020 ,26(8) : 1384-1394
- [25] 余鑫.腐熟堆肥基料生物滤池对猪粪沼渣堆肥过程氨气减排效果研究[D].北京:中国农业科学院,2020
YU Xin. Study on ammonia removal from swine manure biogas residue composting using biofilter packed with mature compost [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences 2020
- [26] 尉海东.稻田甲烷排放研究进展[J].中国农学通报,2013 ,29(18) : 6-10
WEI Haidong. Research progress about methane emission from paddy fields [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin 2013 29(18) : 6-10
- [27] 李香兰,徐华,李小平,等.水分管理影响稻田甲烷排放研究进展[J].农业环境科学学报,2009 ,28(2) : 221-227
LI Xianglan ,XU Hua ,LI Xiaoping ,et al. Water regime management affects methane emission from rice paddy field: a review [J]. Journal of Agro-Environment Science , 2009 ,28(2) : 221-227
- [28] 袁婧.有机肥对稻田甲烷排放的影响及其机理研究[D].上海:上海交通大学,2018
YUAN Jing. Effects of organic fertilizer on the methane emission mechanism in rice soil [D]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University 2018
- [29] 谢义琴,张建峰,姜慧敏,等.不同施肥措施对稻田土壤温室气体排放的影响[J].农业环境科学学报,2015 ,34(3) : 578-584
XIE Yiqin ,ZHANG Jianfeng ,JIANG Huimin ,et al. Effects of different fertilization practices on greenhouse gas emissions from paddy soil [J]. Journal of Agro-Environment Science ,2015 ,34(3) : 578-584
- [30] 李波,荣湘民,谢桂先,等.不同有机无机肥配施对双季稻田CH₄排放的影响[J].生态环境学报,2013 ,22(2) : 276-282
LI Bo ,RONG Xiangmin ,XIE Guixian ,et al. Effect of combined application with organic and inorganic fertilizers on methane emission in double-cropping paddy fields [J]. Ecology and Environmental Sciences ,2013 ,22(2) : 276-282
- [31] Chen R R ,Wang Y M ,Wei S P ,et al. Windrow composting mitigated CH₄ emissions: characterization of methanogenic and methanotrophic communities in manure management [J]. FEMS Microbiology Ecology ,2014 ,90(3) : 575-586
- [32] 易琼,唐控虎,逢玉万,等.华南稻区不同施肥模式下土壤CH₄和N₂O排放特征[J].农业环境科学学报,2014 ,33(12) : 2478-2484
YI Qiong ,TANG Shuanhu ,PANG Yuwan ,et al. Emissions of CH₄ and N₂O from paddy soil in South China under different fertilization patterns [J]. Journal of Agro-Environment Science ,2014 ,33(12) : 2478-2484
- [33] 徐华,邢光熹,蔡祖聪,等.土壤水分状况和质地对稻田N₂O排放的影响[J].土壤学报,2000 ,37(4) : 499-515
XU Hua ,XING Guangxi ,CAI Zucong ,et al. Effect of soil water regime and soil texture on N₂O emission from rice paddy field [J]. Acta Pedologica Sinica ,2000 ,37(4) : 499-515
- [34] Oertel C ,Matschullat J ,Zurba K ,et al. Greenhouse gas emissions from soils: a review [J]. Geochemistry 2016 ,76(3) : 327-352
- [35] 石生伟,李玉娥,李明德,等.不同施肥处理下双季稻田CH₄和N₂O排放的全年观测研究[J].大气科学,2011 ,35(4) : 707-720
SHI Shengwei ,LI Yu'e ,LI Mingde ,et al. Annual CH₄ and N₂O emissions from double rice cropping systems under various fertilizer regimes in Hunan province ,China [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences ,2011 ,35(4) : 707-720
- [36] 石生伟,李玉娥,万运帆,等.不同氮、磷肥用量下双季稻田的CH₄和N₂O排放[J].环境科学,2011 ,32(7) : 1899-1907
SHI Shengwei ,LI Yu'e ,WAN Yunfan ,et al. Observation for CH₄ and N₂O emissions under different rates of nitrogen and phosphate fertilization in double rice fields [J]. Environmental Science 2011 32(7) : 1899-1907
- [37] 沈仕洲,王凤,薛长亮,等.施用有机肥对农田温室气体排放影响研究进展[J].中国土壤与肥料,2015(6) : 1-8
SHEN Shizhou ,WANG Feng ,XUE Changliang ,et al. Research advances on effect of organic fertilizer on farmland greenhouse gas emissions [J]. Soils and Fertilizers Sciences in China ,2015(6) : 1-8

Effects of organic manures on rice yield and greenhouse gas emissions from double-cropping rice fields in the Pearl River Delta

QIAN Dong¹ HU Mingcheng¹ SHEN Weishou¹ LIN Xiangui² ZHONG Zhenfang³ QIU Chongwen⁴

1 School of Environmental Science and Engineering/Jiangsu Key Laboratory of Atmospheric Environment Monitoring and Pollution Control/Collaborative Innovation Center of Atmospheric Environment and Equipment Technology ,Nanjing University of Information Science & Technology ,Nanjing 210044

2 Institute of Soil Science ,Chinese Academy of Sciences ,Nanjing 210008

3 Guangdong Haina Agricultural Co. ,Ltd. ,Huizhou 516000

4 Guangdong Haina Agricultural Research Institute ,Huizhou 516000

Abstract Paddy fields are an important source of methane (CH_4) and nitrous oxide (N_2O) emissions. In this study, an in-situ rice field experiment was carried out to investigate the influence of different organic manures on rice yield and greenhouse gas emissions in a typical double-cropping rice field in the Pearl River Delta region. The treatments included no fertilizer (CK), chemical fertilizer (CF), stack organic fertilizer (SOF), rapidly composted organic fertilizer (COF), fresh organic fertilizer (FOF), and sterilized organic fertilizer (STOF). The five fertilization treatments were applied equally at nitrogen level. The static chamber-gas chromatography was used to measure greenhouse gas fluxes in this study. The results are as follows: 1) The order of rice yields was $\text{STOF} > \text{FOF} > \text{COF} > \text{CF} > \text{SOF} > \text{CK}$. Compared with chemical fertilizer treatment, the rice yields under STOF, FOF, and COF increased by 19.3%, 17.1%, and 15.5% ($P < 0.05$), respectively, and their economic benefits increased by 41.2%, 69.4%, and 24.2%, respectively. 2) The total emissions of CH_4 in the double-cropping rice seasons were in the order of $\text{COF} > \text{FOF} > \text{SOF} > \text{STOF} > \text{CF} > \text{CK}$. Compared with chemical fertilizer treatments, the total emissions of CH_4 increased by 333.5%, 261.3%, 154.1%, and 128.6% under the treatments of COF, FOF, SOF, and STOF, respectively ($P < 0.05$). 3) During the rice growing period, the CH_4 was still the main greenhouse gas in this region since the N_2O emissions of various fertilizer treatments were at a low level. 4) Compared with chemical fertilizer, the four organic fertilizers significantly increased the global warming potential and greenhouse gas intensity of rice fields. From the perspective of the whole life cycle, the COF has shorter composting time and less greenhouse gas emission, and thus is more economical and environment friendly.

Key words greenhouse gas; paddy field; organic fertilizer; yield; global warming potential (GWP)