

臧 英, 罗锡文, 张国忠, 等. 开沟起垄穴直播方式对水稻分蘖前期甲烷排放的影响[J]. 华南农业大学学报, 2014, 35(2): 96-100.

开沟起垄穴直播方式对水稻分蘖前期 甲烷排放的影响

臧 英¹, 罗锡文¹, 张国忠², 曾 山¹, 汪 沛¹, 张明华¹, 陈雄飞¹

(1 华南农业大学 工程学院/南方农业机械与装备关键技术教育部重点实验室, 广东 广州 510642;

2 华中农业大学 工学院, 湖北 武汉 430070)

摘要:【目的】研究开沟起垄式水稻精量穴直播技术对甲烷气体排放的影响.【方法】选取同步深施肥精量穴直播(30 cm)、宽窄行(35 cm+15 cm)精量穴直播和25cm 固定行距精量穴直播 3 种直播方式,以人工撒直播、机插秧、手抛秧和人工移栽为对照,利用静态箱法测定水稻分蘖前期甲烷的排放通量.【结果和结论】对 2010 和 2011 年 2 年采集的数据分析结果显示,与非精量直播对照组相比,精量穴直播可以降低田间 54.55% 甲烷气体排放($P=0.011$);不同栽种方式的甲烷平均排放通量顺序为:深施肥精量穴直播 $[(1.48 \pm 0.44) \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}] < \text{宽窄行精量穴直播}[(1.65 \pm 0.30) \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}] < \text{固定行距精量穴直播}[(2.57 \pm 0.56) \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}] < \text{人工撒直播}[(2.89 \pm 0.61) \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}] < \text{机插秧}[(3.77 \pm 0.64) \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}] < \text{人工移栽}[(4.76 \pm 0.90) \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}] < \text{手抛秧}[(5.33 \pm 0.84) \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}]$. 研究结果表明开沟起垄穴直播技术可以有效降低水稻分蘖前期甲烷气体的排放.

关键词:开沟起垄; 穴直播; 甲烷排放通量; 水稻分蘖前期

中图分类号:S23

文献标志码:A

文章编号:1001-411X(2014)02-0096-05

Effects on methane emission in the precision rice hill-drop drilled field during the early tillering stage

ZANG Ying¹, LUO Xiwen¹, ZHANG Guozhong², ZENG Shan¹, WANG Pei¹,
ZHANG Minghua¹, CHEN Xiongfei¹

(1 College of Engineering/Key Laboratory of Key Technology on Agricultural Machine and Equipment Ministry of Education, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China;

2 College of Engineering, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

Abstract:【Objective】To study the effects in the precision rice hill-drop drilled field on methane emission.【Method】Seven treatments were designed, including three precision rice hill-drop drilling types: the first precision rice hill-drop drilling with deep fertilization(30 cm), the second with the alternate line(35 cm + 15 cm) and the third with fixed line(25 cm), using mechanical transplanting, manual seedling broadcasting and manual transplanting as the control groups. Methane samples emitted from paddy field in 2010 and 2011 were collected using a closed-chamber technique.【Result and conclusion】The results showed that CH₄ flux was reduced significantly in paddy fields treated by the precision rice hill-drop drilling compared

收稿日期:2013-10-06 优先出版时间:2014-01-03

优先出版网址:<http://www.cnki.net/kcms/detail/44.1110.S.20140103.0829.019.html>

作者简介:臧 英(1973—),女,副教授,博士,E-mail:yingzang@scau.edu.cn;通信作者:罗锡文(1945—),男,教授,中国工程院院士,E-mail:xwluo@scau.edu.cn

基金项目:863 计划项目(2011AA100704);国家自然科学基金(51105147,U0931001);广东省自然科学基金(S2011010001948)

<http://xuebao.scau.edu.cn>

with the non-precision rice field control within three weeks on the rice early tillering stage (reduced by 54.55%, $P=0.011$). Their flux order of CH_4 emission were as follows, the first precision rice hill-drop drilling with deep fertilization type [$(1.48 \pm 0.44) \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$] < the second with the alternate line [$(1.65 \pm 0.30) \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$] < the third with fixed line [$(2.57 \pm 0.56) \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$] < manual seedling broadcasting [$(2.89 \pm 0.61) \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$] < mechanical transplanting [$(3.77 \pm 0.64) \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$] < manual transplanting [$(4.76 \pm 0.90) \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$] < manual broadcasting [$(5.33 \pm 0.84) \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$]. The present study results showed that the precision rice hill-drop drilling technology can reduce the emission of CH_4 in the pre-tillering paddy field effectively.

Key words: furrow and ridge; hill-drop drilling; methane emission flux; the rice early tillering stage

自2005年《京都议定书》生效以来,为了抑制全球气候变暖,人类对温室气体的排放开始予以高度重视.大气中温室气体浓度增加是温室效应产生的原因,甲烷(CH_4)是重要的温室气体之一,对温室效应的作用在温室气体中排第2位(15%~20%),仅次于二氧化碳(55%~60%)^[1].据文献[2-6]报道,大气中的部分甲烷产生于缺少氧气的淹水土壤中.稻田因其缺氧的土壤环境成为重要的甲烷排放源,甲烷从土壤经水稻根系气腔逃逸到大气中,或以气泡从土壤中溢出,平均每年甲烷的排放量为 $6.0 \times 10^{13} \text{ g}$,占甲烷总排放量的17%左右^[7].耕作制度、施肥制度、水分管理、温度、质地、氧化还原状况等都会影响稻田甲烷的排放^[8-11].

水稻是我国主要的粮食作物之一,种植面积居世界第二,产量居世界第一.国际组织政府间气候变化委员会(Intergovernmental panel on climate change, IPCC)指出,中国水稻田释放的甲烷对气候变暖有很大影响.因此,在水稻生产过程中,关注温室气体的排放,对于我国政府在《联合国气候变化框架公约》谈判和履行公约中争取主动并维护我国的粮食生产安全具有重要的意义^[2].

据 Maclean 等^[12]报道,直播、间歇灌溉是减少甲烷释放而不牺牲水稻产量的有效途径之一.华南农业大学研究成功的开沟起垄式水稻精量穴直播技术将稻种播在垄面上的播种沟内,垄间的蓄水沟提供水稻生产期间所需的水分,只需保持垄面土壤湿润,无需整个田面灌水,节省了水稻生产用水.该技术作为一种先进的轻简播种方式,近年来在中国的广东、广西、湖南、湖北、江西、安徽、云南、四川、江苏、浙江、海南、新疆、黑龙江等省(区)以及缅甸、老挝、泰国等地进行了示范推广.为了研究该技术在水稻生长过程中对甲烷排放的影响,本文设计了开沟起垄

穴同步深施肥精量穴直播(30 cm)、宽窄行精量穴直播(35 cm + 15 cm)、固定行距精量穴直播(25 cm)、人工撒直播、机插秧、手抛秧和人工移栽7种水稻种植方式进行水稻分蘖前期甲烷排放的对比试验,评价了水稻精量穴直播技术的生态与环境效应,探索既可减少甲烷释放、节约灌溉用水,又不牺牲水稻产量的轻简化水稻栽培模式.

1 材料与方法

1.1 试验地概况

2010年8月在华南农业大学宁西试验基地进行试验,试验土壤为赤红壤,土壤基本肥力性状如下: pH 5.23,有机质为 $15.97 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全 N 为 $0.81 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全 P 为 $0.55 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全 K 为 $16.15 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,碱解 N 为 $83.20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,有效 P 为 $44.98 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效 K 为 $78.22 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$.

2011年8月在华南农业大学岑村试验基地进行试验,试验土壤为沙壤土,土壤基本肥力性状如下: pH 5.44,有机质为 $19.65 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全 N 为 $0.97 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全 P 为 $0.82 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全 K 为 $25.50 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,碱解 N 为 $106.55 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,有效 P 为 $31.74 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效 K 为 $189.48 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$.

试验地前茬作物均为早稻.

1.2 试验设计

试验设计7个处理,如图1所示,包括3种精量穴直播:同步深施肥精量穴直播(30 cm)、宽窄行距(35 cm + 15 cm)精量穴直播、固定行距(25 cm)精量穴直播和4种非精量穴直播:人工撒直播、机插秧(30 cm)、手抛秧和人工移栽(20 cm).随机区组设计,每个处理小区设置3个采样点.每个小区面积约为 666.7 m^2 .供试晚稻品种为超级稻玉香油占.

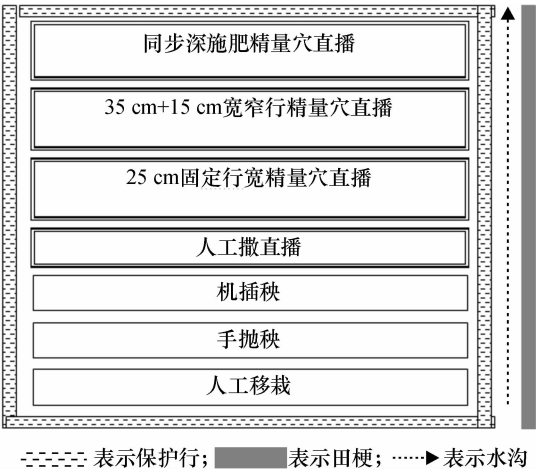


图 1 不同种植方式田间布置图

Fig. 1 Field layout of different planting ways

表 1 移栽所用秧苗素质情况
Tab. 1 Quality of the seedlings of transplanting

处理	株高/cm	叶龄/d	绿叶数/片	茎基宽/mm	地上部干质量/mg	苗高干质量 ¹⁾ /(mg·cm ⁻¹)	总根数/条	白根数/条
手工移栽	23.5	4.1	3.0	4.8	41.6	1.77	15	5
机插秧	21.9	4.0	3.0	4.4	36.6	1.67	16	9
抛秧	22.5	4.0	3.6	4.3	38.8	1.72	13	9

1.4 数据获取

采用密闭静态箱法定位测量甲烷的气体通量. 箱体用厚 5 cm 的透明有机玻璃制成, 采样箱长宽高为 50 cm×60 cm×110 cm, 底面开口, 顶部和四周密封, 箱盖顶部开一半径 2.5 cm 的圆孔, 并用橡胶密封, 作为采样孔. 水稻播种或移栽后即在各试验小区安装不锈钢静态箱底座, 入土 5 cm, 整个晚稻生育期底座不再移动. 采样时, 将采样箱放入回型底座的凹槽中并用水密封, 保证箱内气体与大气不进行气体交换. 采样时将箱内风扇开通, 使箱内气体混合均匀. 09: 00 对 7 个处理共计 21 个采样点同时采样. 在盖箱 30 min 后每隔 10 min 取样 1 次, 共取 4 次, 每次用注射器抽样 25 mL 转入到密封抽真空的玻璃瓶中.

气体测定在华中农业大学植物科学技术学院进行. 甲烷的检测条件为: 色谱柱温度为 75 ℃; 检测器 (FID) 温度 180 ℃; 载气 N₂ (φ > 99.999%), 流速 2 mL·min⁻¹; 燃气 H₂ (φ > 99.99%), 流速 30 mL·min⁻¹; 助燃气为空气, 流速 300 mL·min⁻¹; 进样量 1 mL, 流速为 50 mL·min⁻¹.

1.5 通量计算

甲烷流通量根据下面方程计算^[13]:

$$F = \rho \times h \times dC/dt \times 273 / (273 + \theta),$$

http://xuebao.scau.edu.cn

1.3 田间管理

2010 年 7 月 21 日育秧, 8 月 1 日进行水稻精量穴直播及人工撒直播, 8 月 6 日进行机插秧、手抛秧和人工移栽; 2011 年 7 月 21 日育秧, 8 月 1 日进行水稻精量穴直播及人工撒直播, 8 月 7 日进行机插秧、手抛秧和人工移栽 (秧苗素质情况如表 1 所示). 每公顷稻田施 1 500 kg 专用肥, 基肥按 80% 和 20% 施用, 该专用肥中含有以下质量分数的有效成分: w(N) 12.5%、w(P₂O₅) 6.0%、w(K₂O) 10.0%、w(有机质) 15.0%. 小区间用泥巴砌成田埂, 以防止肥水串流. 各小区晚稻栽培管理依照相关栽培技术规程进行.

式中, F 为气体流通量 (mg·m⁻²·h⁻¹), ρ 是标准状态下气体密度 (kg·m⁻³); h 是箱高 (m); dC/dt 为采样箱内气体的浓度变化率 (%), θ 为采样过程中采样箱内的平均温度 (℃). 根据气样浓度与时间的关系曲线计算气体的排放通量.

1.6 数据分析方法

使用 SPSS v11.5 对试验数据进行统计分析, 并以 LSD (最小显著差数法) 法进行处理间差异显著性分析, 试验结果均以 3 次重复的平均值 ± 标准误表示.

2 结果与分析

2.1 水稻分蘖前期不同播种方式甲烷排放通量

对 2010 和 2011 年 2 年试验的水稻分蘖前期的甲烷排放通量进行了测定和分析, 从 8 月 6 日开始到秧苗分蘖期 9 月 4 日, 分别于 8 月 14、21、28 日进行采样, 3 次采样的甲烷排放通量平均值如表 2 所示. 从表 2 中可以看出, 无论是 2010 年还是 2011 年, 与非精量栽种方式 (手抛秧、人工移栽、人工撒直播和机插秧) 相比, 精量穴直播方式 (深施肥精量穴直播、宽窄行精量穴直播和固定行距精量穴直播) 均显著地降低了水稻的分蘖前期营养生长期 (8 月 14—28 日) 的甲烷平均排放通量 (降低了 54.55%, $P =$

表2 不同栽植方式稻田甲烷排放通量¹⁾

Tab.2 CH₄ emission influx from rice field with different planting ways

mg · m⁻² · h⁻¹

年份	精量穴直播			非精量栽种			
	深施肥	宽窄行	固定行距	手抛秧	人工移栽	人工撒直播	机插秧
2010 年	1.64 ± 0.77	2.28 ± 0.49	3.18 ± 0.91	6.02 ± 1.73	5.66 ± 2.00	4.07 ± 1.28	3.36 ± 0.55
2011 年	1.12 ± 0.28	1.02 ± 0.20	1.90 ± 0.56	4.81 ± 0.73	4.10 ± 0.63	2.00 ± 0.33	4.10 ± 1.08
均值	1.48 ± 0.44	1.65 ± 0.30	2.57 ± 0.56	5.33 ± 0.84	4.76 ± 0.90	2.89 ± 0.61	3.77 ± 0.64

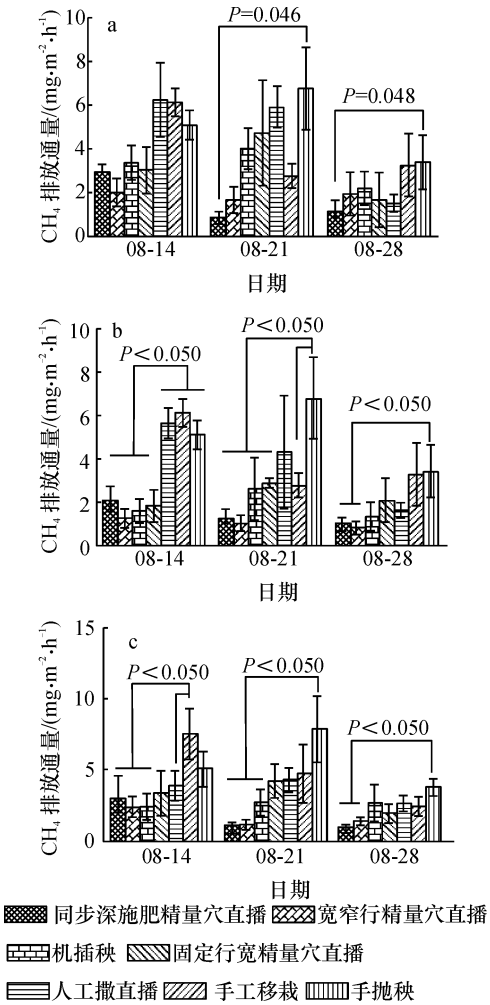
1) 表格中数据均为平均值±SD,精量穴直播2年稻田甲烷排放的均值为1.91±0.26 mg·m⁻²·h⁻¹,非精量栽种2年稻田甲烷排放的均值为4.17±0.38 mg·m⁻²·h⁻¹.

0.001);其中,2010 年降低了 48.21% ($P=0.038$), 2011 年降低了 64.17% ($P<0.001$).7 种栽种方式的甲烷平均排放通量依次为(2010 和 2011 年 2 年均值):深施肥精量穴直播($1.48 \pm 0.44 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$) < 宽窄行精量穴直播($1.65 \pm 0.30 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$) < 固定行距精量穴直播($2.57 \pm 0.56 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$) < 人工撒直播($2.89 \pm 0.61 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$) < 机插秧($3.77 \pm 0.64 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$) < 人工移栽($4.76 \pm 0.90 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$) < 手抛秧($5.33 \pm 0.84 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$);2010 和 2011 年 2 年平均数据结果显示 3 种精量穴直播(同步深施肥、宽窄行和固定行距)之间甲烷平均排放量无显著差异,但深施肥精量穴直播和宽窄行穴直播栽种方式的甲烷排放通量均显著低于机插秧、人工移栽和手抛秧栽种方式的排放量,固定行距穴直播和人工撒直播栽种方式也显著低于人工移栽和手抛秧栽种方式的排放量.

2.2 水稻分蘖前期甲烷排放通量的动态变化

不同栽种方式稻田甲烷排放通量随时间呈递减趋势(图 2). 2010 年的数据测到深施肥穴直播方式甲烷排放量显著低于手抛秧的排放量(图 2a). 2011 年的数据结果显示,4 种直播方式(深施肥穴直播、宽窄行直播、固定行距直播和人工撒直播)的甲烷排放量显著低于机插秧、人工移栽和手抛秧的排放量(图 2b,8 月 14 日);随着植株的生长,8 月 21 日的采集结果显示上述 4 种直播方式的甲烷排放量仍然显著低于手抛秧的排放量;而到了营养生长后期(8 月 28 日),仅观察到深施肥穴直播和宽窄行直播方式甲烷排放量显著低于手抛秧的排放量. 2010 和 2011 年 2 年甲烷平均排放通量显示:在营养生长期的首个采样时间点(8 月 14 日),深施肥穴直播、宽窄行直播、固定行距直播和机插秧的甲烷排放通量显著低于人工移栽的排放量($P<0.05$);深施肥穴直播和宽窄行直播在 8 月 21 日和 28 日测得的甲烷排放量显著低于手抛秧的排放量;固定行距直播 8 月 28 日测得的甲烷排放量显著低于手抛

秧的排放量(图 2c).



a、b、c 分别表示 2010、2011 年不同种植方式甲烷排放通量和 2 年的平均动态变化.

图2 不同种植方式稻田甲烷排放量的动态变化

Fig.2 Dynamic changes of CH₄ influx from rice field with different planting ways

3 讨论与结论

据文献[12]报道,在水稻生产中,水稻栽培措施对甲烷排放影响较大,通过调整耕作模式,采用合适的种植模式可实现既减少甲烷排放又不降低水稻产量的目标,其中,直播是一种较合适的方式,既可减

<http://xuebao.scau.edu.cn>

少劳动力和水分的投入,保证产量,同时又可减少甲烷的释放. 本试验研究结果进一步证明了采用以“开沟起垄”和“成行成穴”的水稻精量穴直播方式可以显著减少分蘖前期稻田甲烷的排放. 采用移栽方式时,水稻秧苗需要带水移栽,秧苗从移栽完成到分蘖前的整个秧苗生长期,稻田需要淹水灌溉. 长时间淹水灌溉使稻田土壤中的氧气更加匮乏,大部分甲烷气体从土壤经水稻根系气腔逃逸到大气中,其余部分以气泡从土壤中溢出,或缓慢地经土壤和水散发出来^[12].

采用开沟起垄穴水稻精量穴直播技术时,其滑板可将田面拖平,用蓄水沟开沟器开出蓄水沟,2 蓄水沟之间形成一定高度的垄台,然后在垄台上开出播种沟,垄沟截面均为梯形^[14]. 垄台面宽和蓄水沟面上宽的比例视不同行距而定,一般取 2:1 左右. 垄沟深以不妨碍水稻根系正常生长和保证水稻生产期间所需用水为原则. 以 25 cm 行距为例,垄沟面上宽 9 cm,沟深 6 cm,实现了“沟中有水,水不上畦”的湿润灌溉直播方式. 以“开沟起垄”和“成行成穴”为主要特点的精量穴直播的水稻长势较好. 采用该方式进行水稻种植,在水稻分蘖前期,由于垄面不淹水,提高了土壤氧化还原电位,增加了根系活力,促进了水稻生长,保持或增加了水稻的产量,同时大幅减少了稻田温室效应气体——甲烷的释放,实现了水稻增产与生态环境保护的统一.

本研究 2 年田间对比试验结果均表明采用开沟起垄式水稻精量穴直播技术可以显著降低分蘖前期水稻田的甲烷排放(达 50%),由于此结果仅为 2 年田间试验所得,水稻精量穴直播技术减少稻田甲烷的排放程度还有待于进一步验证.

参考文献:

[1] 《广东气象》编辑部. 气候变化 2007:气候变化影响、适应和脆弱性:PCC 第二工作组第四次评估报告主要结

论介绍[J]. 广东气象, 2007, 29 (2): 1-4.
[2] 张剑波, 邵可声, 李智, 等. 北京地区春季稻稻田甲烷排放的研究[J]. 环境科学, 1994, 15(5): 23-26.
[3] 陈宗良, 邵可声, 李德波, 等. 控制稻田甲烷排放的农业管理措施研究[J]. 农村生态环境, 1993, 7(1): 19-22.
[4] 闫敏华, 华润葵, 王德宣, 等. 长春地区稻田甲烷排放量的估算研究[J]. 地理科学, 2000(4): 386-390.
[5] 郝晓晖, 苏以荣, 胡荣桂. 土壤利用管理对土壤甲烷氧化的影响[J]. 云南农业大学学报, 2005, 20(3): 369-374.
[6] 李道西. 控制灌溉稻田甲烷排放规律及其影响机理研究[D]. 南京:河海大学, 2007.
[7] WUEBBLES D J, HAYHOE K. Atmospheric methane and global change[J]. Earth-Sci Rev, 2002, 57(3/4): 177-210.
[8] 魏朝富, 高明, 黄勤, 等. 耕种制度对西南地区冬水田甲烷排放的影响[J]. 土壤学报, 2000, 37(2): 157-164.
[9] WANG Z P, DELAUNE R D, MASSCHELEYN P H, et al. Soil redox and pH effects on methane reduction in a flooded rice soil[J]. Soil Sci Soc Am J, 1993, 57(2): 382-385.
[10] CAI Zucong, XIANG Guangxi, YAN Xiaoyuan, et al. Methane and nitrous oxide evolution from rice paddy fields as affected by nitrogen fertilizer and water management [J]. Plant Soil, 1997, 196(1): 7-14.
[11] 徐华, 蔡祖聪, 李小平. 烤田对种稻土壤甲烷排放的影响[J]. 土壤学报, 2000, 37(1): 69-76.
[12] MACLEAN J L, DARE D C, HARDY B, et al. 水稻知识大全[M]. 3 版. 杨仁崔, 汤圣详, 译. 福州:福建科学技术出版社, 2003.
[13] 秦晓波, 李玉娥, 刘克樱. 不同施肥处理稻田甲烷和氧化亚氮排放特征[J]. 农业工程学报, 2006, 22(7): 143-14.
[14] 王在满, 罗锡文, 唐湘如, 等. 基于农机与农艺相结合的水稻精量穴直播技术及机具[J], 华南农业大学学报, 2010, 31(1): 91-95.

【责任编辑 霍 欢】