

稻田甲烷排放机理和调控技术

唐建阳^① 翁伯奇 黄毅斌 钟红梅 何萍 陈炳焕
(福建省农科院土肥所) (福建省农科院红萍中心)
欧阳华明
(中国农业大学土壤与资源环境学院)

摘要 分别在温室和田间进行甲烷排放测定。结果表明:稻田土壤氧化还原电位低于 -180 mV 时,甲烷排放量明显上升;稻田甲烷排放途径:3/4从水稻排出,1/4从土壤排出;宽窄行“双龙出海”插秧+养萍、垄畦栽水稻+养萍可分别比常规稻作减少甲烷排放量21.8%和42.3%;稻田放养一定量的革胡子鲶能提高土壤氧化还原电位,减少甲烷排放,放养量以 $2\ 250\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 为宜。放养量过大会增加甲烷排放;稻田放养鱼、萍,“双龙出海”插秧方式,通过人工调控技术,使稻田系统内部形成有利于甲烷排放的稻田持续农业模式,结果甲烷排放量比常规稻作减少34.6%。

关键词 稻田; 甲烷排放; 调控技术

中图分类号 X322

The Mechanism of Methane Release in Paddy Field and Technique for Control

Tang Jianyang

(Soil and Fertilizer Institute, Fujian Academy of Agricultural Sciences)

Wong Boqi Huang Yibin Zhong Hongmei He Ping Chen Binghuan

(Azolla Research Center, FAAS)

O'yang Huaming

(College of Resources and Environment, CAU)

Abstract The methane release was tested in green house and paddy field respectively. The results showed that when oxidation - reduction potential in paddy soil is lower than -180 mV , the methane - releasing amount being increased significantly. The methane releasing amount in paddy field were consist of 3/4 from rice plants and 1/4 from soil. In the fields where plant rice seedlings in double wide-narrow rows spacing method plus growing azolla, mound planting plus growing azolla methane-releasing amounts was reduced by 21.8% and 42.3% respectively compared with traditional rice cultivation method. Raising certain amount of carfish in paddy field can increase oxidation reduction potential of paddy soil thus decrease the methane-releasing amount. The artificial control-

收稿日期: 1997-10-14

①唐建阳,福建省农科院土肥所,350013

ling technique that raising fish, growing azolla in paddy field, plus using alternative wide narrow row spacing made it possible to depress the methane releasing amount in paddy field ecosystem. To compare with the traditional cropping system, the methane release was decreased by 34.6%.

Key words paddy field; methane release; controlling technique

甲烷是造成全球气候变暖的主要因素之一^[1],稻田是甲烷的重要排放源,约占全球甲烷排放量的20%~25%^[2,3]。随着开采石油、天然气等所泄露的甲烷得到控制,稻田排放甲烷的比例有增加的趋势,因此研究稻田甲烷排放机理及控制甲烷排放的技术措施已引起各国农业环保专家的极大重视。有关稻田甲烷排放的技术措施,如沼渣代替农家肥作基肥、科学灌溉技术、改进氮肥施用种类及水稻半旱式栽培技术等对减少稻田甲烷排放有一定的作用^[2,4~7]。但上述技术措施未能结合提高农户的经济收入,因此难以大面积推广应用。我们自1991年以来进行稻田甲烷排放的研究,并采用稻田高效、低耗、低污染持续农业模式(简称稻田持续农业模式),即在稻田中放养鱼萍,通过人工调控技术,促进稻田系统内部物质的良性循环,以达到既能有效减少稻田甲烷排放又能使农户的经济收入大幅度提高的目的。

1 材料与方方法

1.1 供试材料

水稻品种:早季为闽科早77号,晚季为仙优63,室内试验水稻品种为仙优63;红萍品种:回交萍3号;鱼种:革胡子鲶、尼罗罗非鱼、淡水白鲢。

1.2 试验设计

试验分别在温室和田间进行。温室试验用直径为4.5 cm的双头磨口玻璃圆筒与同样口径的圆杯(二个抽气口)对接而成的密闭装置,装置中种植水稻,在离水稻根部5 cm处用吹塑板把稻株和根部土壤完全隔开,各连接处涂上凡士林,以防漏气。田间试验在福州市郊基点进行。水稻栽培方式对稻田甲烷的排放设四个处理:①常规稻种(CK)施N 254, P₂O₅ 230, K₂O 225 kg·hm⁻²。插秧方式:20 cm×20 cm;②双龙出海(SH)施肥量同CK,插秧方式:(43+17)cm/2×13.3 cm;③双龙出海+养萍(SA)施肥量、插秧方式同处理②;插秧后放萍4 500 kg·hm⁻²;④垄畦栽培+养萍(RA)宽行做畦,窄行作垄,其他处理同③。稻田放养不同量的革胡子鲶对甲烷的排放的影响设六个处理,分别于晚季插秧一个月后放养(规格为0.25 kg的革胡子鲶)0, 750, 1 500, 2 250, 3 750, 5 625 kg·hm⁻²。以上各处理面积为20 m²,三次重复。稻田持续农业模式设二个处理:①常规稻作(CK),施N 254, P₂O₅ 230, K₂O 255 kg·hm⁻²;②稻田持续农业模式(RM)稻田挖T形沟坑,沟坑面积占12%,放养鱼苗量:革胡子鲶9 000尾·hm⁻²,罗非鱼9 000尾·hm⁻²,淡水白鲢3 000尾·hm⁻²,施N 89, P₂O₅ 75, K₂O 64 kg·hm⁻²,早稻插秧前压施4 500 kg·hm⁻²鲜萍作基肥。

1.3 测定方法

温室试验是每隔2 h用注射器从装置中取样并即送气相色谱仪测定。在取样前要先用键式泵抽气,使系统内气体均匀分布。田间稻田甲烷收集用漂浮式塑料罩(直径为20 cm,高

10 cm,用于收集沟坑甲烷气体)和固定式塑料罩(40 cm×60 cm×70 cm,用于收集稻田田面甲烷气体)二种装置,每隔12 h取一次样,取好的气样注入已抽真空的血清瓶中,当日送气相色谱仪测定。甲烷峰值用SP3400气相色谱仪、氢焰检测器测定,用甲烷标样校正计算其含量。土壤氧化还原电位用毫伏计白金电极测定。

2 结果与分析

2.1 稻田土壤氧化还原电位与甲烷排放的关系

在不同的淹水条件下测定甲烷排放量,同时取0~10 cm土层测定土壤氧化还原电位(EH)。测定结果表明(图1):稻田水层高度低于1 cm时,EH一般高于-155 mV,甲烷排放量接近于零;水层高度在1~5 cm之间,EH一般在-155~-180 mV范围内,甲烷排放量随EH降低而较缓慢上升;水层高度高于5 cm时,EH一般低于-180 mV,此时甲烷排放量随EH下降而迅速上升。

2.2 稻田甲烷排放途径

在密闭的玻璃器皿中,测定从稻株、土壤排放出的甲烷量,结果表明(表1):从稻株排放出的甲烷量占全部甲烷排放量的3/4,而土壤排放出的甲烷只占1/4。表1还表明,白天甲烷从稻株排放的比率比夜间低,这可能与白天水层和土壤温度比夜间高,使甲烷在白天比夜间更容易从土壤排放出有关。

2.3 水稻栽培方式对稻田甲烷排放量的影响

水稻不同栽培方式对稻田甲烷排放量影响很大。表2表明:双龙出海+养萍处理(SA)对提高稻田土壤氧化还原电位有一定的作用;与对照相比差异达极显著。双龙出海、双龙出海+养萍和垄畦栽+养萍三种处理甲烷排放量分别为6.2,5.55,4.1 mg·m⁻²·h⁻¹,与对照相比分别减少12.7%,21.8%和42.3%。差异均达极显著。垄畦栽水稻,其根部土壤长期处于干湿状态,故土壤氧化还原电位较高,水沟养萍虽增加了水层溶氧量,但因其水层较深,这二方面的共同作用使土壤氧化还原电位变化很小。稻田甲烷排放有3/4是从水稻排出,双龙出海插秧方式使不插秧的田面明显增加,那些远离水稻根部的土壤所产生的甲烷不易通过稻株排放出而大部分被氧化掉,因而双龙出海的插秧方式有减少甲烷排放的作用。养萍增加了水层溶氧量,同时降低了水层和土壤的温度,因而对抑制甲烷排放有利。

2.4 稻田放养革胡子鲶对甲烷排放量的影响

表3表明:稻田放养一定的革胡子鲶能提高土壤氧化还原电位,减少甲烷排放。放养量在750~3750 kg·hm⁻²,土壤氧化还原电位和甲烷排放量与不养鱼的对照相比,差异均达

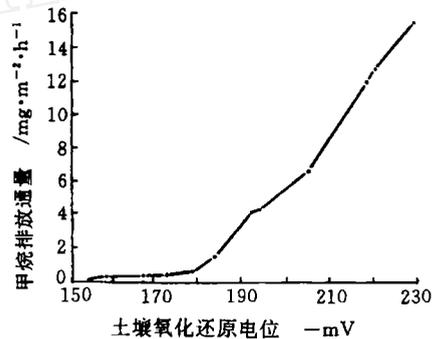


图1 稻田甲烷排放量与土壤氧化还原电位的关系

表1 水稻、土壤排放出甲烷比率

时 间	水 稻	土 壤
白 天	71.3±2.3	28.7±1.4
夜 间	81.8±1.2	18.2±1.4
X	75.6±1.6	24.5±1.2

极显著,其中又以放养量 $2\ 250\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 效果最好,放养量 $5\ 625\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 反而会增加甲烷排放量。与对照相比增加了 19.9%。稻田放养一定量的革胡子鲶,鱼在田面游动、搅动,使土壤透气性得到改善,因此对抑制甲烷排放有利。但放养鱼的密度过大,会使水层溶氧量大大下降,同时鱼排泄物积累过多,土壤有机物增多,从而造成甲烷排放量增大。

表 2 水稻栽培方式对稻田甲烷排放的影响

处 理	CK	SH	SA	RA	
				莖	畦
土壤氧化还原电位/mV	-210.2 ± 2.5	-208.1 ± 1.9	$-198.8\pm 3.0^{**}$	34.0 ± 3.4	-208.5 ± 1.0
甲烷排放通量/ $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$	7.1 ± 0.3	$6.2\pm 0.4^{**}$	$5.55\pm 0.3^{**}$	$4.1\pm 0.15^{**}$	
±%	—	-12.7	-21.8	-42.3	

表 3 稻田放养革胡子鲶对甲烷排放的影响

处 理	革胡子鲶放养量 / $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$					
	0	750	1 500	2 250	3 750	5 625
土壤氧化还原电位/mV	-214.6 ± 3.0	$-191.1\pm 2.7^{**}$	$-185.2\pm 2.15^{**}$	$-178.1\pm 3.1^{**}$	$-202.1\pm 4.9^{**}$	$-221.0\pm 2.8^{**}$
±%	—	11.0	13.7	17.0	5.8	-3.0
甲烷排放通量 (CH_4) $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$	8.23 ± 0.10	$6.92\pm 0.18^{**}$	$6.40\pm 0.11^{**}$	$6.15\pm 0.24^{**}$	$7.74\pm 0.16^{**}$	$9.86\pm 0.51^{**}$
±%	—	-15.9	-22.2	-25.3	-5.95	19.86

2.5 稻田甲烷排放随时间变化情况

在早、晚季每隔 5 d 测一次甲烷排放量,然后计算出每月平均的甲烷排放量。结果表明(图 2):7 月份和 9 月份是甲烷排放高峰期;除 10 月份稻田持续农业模式比常规稻作高外,其余 5 个月均是常规稻作高。

2.6 稻田持续农业模式对减少稻田甲烷排放的作用

结合以上研究结果和其他因素,我们设计建立了稻田持续农业模式,即在稻田中放养鱼、萍,结合双龙出海插秧、稻田养鱼配套工程,通过人工调控技术,促进了稻田系统内部物质的良性循环。1992~1994 年水稻生长期间的连续田间测定结果表明(表 4):稻田持续农业模式甲烷排放通量三年平均值为 $3.08\ \text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$,比常规稻作减少甲烷排放 34.6%,说明通过采取综合调控技术,可有效控制稻田甲烷的排放。表 4 还表明:稻田持续农业沟坑甲烷排放通量较大,为田面的 5~10 倍、常规稻作田的 2~3 倍,其原因可能是沟坑是鱼类的主要活动场所,鱼类排泄物主要集中于沟坑,又由于沟坑水

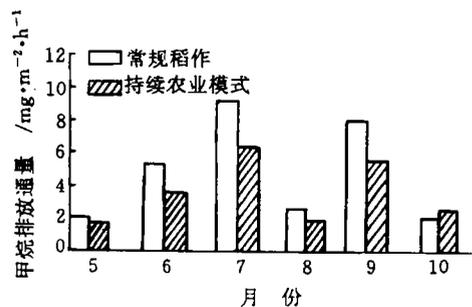


图 2 稻田甲烷排放随时间的变化

层深,使沟坑土壤氧化还原电位一般在 -230 mV 以下,而沟坑底部产生的甲烷又由于鱼的搅动而易被排出。

表4 稻田持续农业模式(RM)与常规稻作甲烷排放量比较 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$

处理年份	CK	RM			±%
		田面(A)	沟坑(B)	总量*	
1992	5.43 ± 0.32	1.55 ± 0.15	16.98 ± 3.12	3.4 ± 0.32	-37.4
1993	3.95 ± 0.28	1.85 ± 0.21	8.65 ± 0.96	2.68 ± 0.21	-32.4
1994	4.81 ± 0.34	1.74 ± 0.12	13.68 ± 2.25	3.17 ± 0.17	-34.1
X	4.73 ± 0.74	1.71 ± 0.15	13.10 ± 4.20	3.08 ± 0.37	-34.6

* 沟坑占稻田面积12%,总量= $0.88A+0.12B$

3 结论

稻田土壤氧化还原电位(EH)低于 -180 mV 时,甲烷排放量随EH降低而明显上升。稻田甲烷主要是通过稻株排放出的,约占稻田甲烷总排放量的3/4。水稻采用宽窄行双龙出海插秧方式和茭畦栽均能显著减少甲烷排放,稻田放养一定密度的红萍能抑制甲烷的排放,放养一定量的革胡子鲶能提高土壤氧化还原电位,减少甲烷排放,放养量保持在 $2\ 250\sim 4\ 500\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 较适宜。稻田采用持续农业模式,在稻谷产量保持稳定鲜鱼单产 $2\ 250\sim 4\ 500\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (增收 $7\ 500\text{ 元}\cdot\text{hm}^{-2}$ 以上)、及节省化肥和农药的情况下,减少了稻田甲烷排放1/3左右。

本研究在刘中柱研究员指导下进行。

参 考 文 献

- 1 Rasmussen R A, Khalil M A K. Atmospheric methane (CH_4): trends and season alcycles. *J Geophys Res*, 1981, 86:883~886
- 2 谢小立等. 施肥对稻田甲烷排放的影响. *农村生态环境*, 1995, 1(1):10~14
- 3 林而达等. 稻田甲烷排放量估算和减缓技术选择. *农村生态环境*, 1994, 10(4):55~88
- 4 李德波等. 不同农业措施对甲烷排放通量的影响. *农村生态环境*, 1993, (增刊):13~18
- 5 周毅等. 控制稻田甲烷排放的农业技术选择. *农村生态环境*, 1994, 10(3):6~8
- 6 陶战等. 稻田施用沼渣对甲烷排放通量的影响. *农村生态环境*, 1994, 10(3):1~5
- 7 陶战等. 美国稻田和反刍动物的甲烷排放. *国外农业环境保护*, 1993, (2):2~7