文章编号:1674-7054(2022)05-0496-06



施铁对普通野生稻田甲烷排放的影响

王 晟1,2,但建国1

(1. 海南大学 植物保护学院,海口 570228; 2. 海南大学 生态与环境学院,海口 570228)

摘 要:为了探究施铁对普通野生稻田甲烷的减排效果,对1个根表铁膜形成能力较强的普通野生稻居群进行了水泥池小区对比试验,观测了施铁处理和对照的CH₄排放速率、土壤孔隙水Fe²⁺浓度和根表铁膜。结果表明:施铁导致CH₄总排放量减少了29.51%,在普通野生稻生长前期CH₄减排效应尤为明显。移栽后第19天,施铁小区的土壤孔隙水Fe²⁺浓度为0.57 mmol·L⁻¹,显著大于对照小区。根生物量和单株根表铁膜数量在施铁处理和对照之间的差异随植株年龄增大而增大。因此,施铁措施对具有厚铁膜潜力的普通野生稻居群的CH₄减排能起到明显的促进作用。

关键词: 甲烷排放; 普通野生稻; 根表铁膜; 土壤孔隙水

中图分类号: S 511.9; S 143.7 文献标志码: A

引用格式: 王晟, 但建国. 施铁对普通野生稻田甲烷排放的影响 [J]. 热带生物学报, 2022, 13(5): 496-501. DOI: 10.15886/j.cnki.rdswxb.2022.05.010

甲烷(CH₄)是一种重要的温室气体,对全球气 候变暖的贡献约占 16%, 仅次于 CO₂。2020 年, 大 气的 CH₄浓度已上升至 1889 μg·L⁻¹, 是工业革命 前的 2.62 倍^[1]。水稻田是 CH₄ 主要排放源之一, 所释放的 CH₄ 是 CH₄ 的产生、氧化和传输的净效 应^[2-4],其年平均排放量为 30 Tg,约占全球人为 CH4 排放量的 8%^[5-6]。稻田 CH4 的排放随水稻品 种而异[7-13],人们试图靠选育和推广高产量、低 CH4 排放的水稻品种来实现稻田 CH4 的长效减 排[4,8,13]。种植根系泌氧能力强的水稻品种,且适度 施用铁肥就能减少持续淹水条件下水稻 CH4 的排 放[14],其基本原理是:水稻植株的根系具有泌氧能 力(Radial oxygen loss, ROL)^[15-17], 将根际土内的 Fe²⁺氧化为 Fe³⁺,并在根表沉积,形成根表铁膜 (Iron plaque)^[16,18-19], 使得稻根和根际土成为淹水 稻田中铁循环最活跃的区域[16,20-22]。土壤 O2 浓度 和 Fe²⁺浓度是根表铁膜形成的关键因子[16,18-19], 所 以,种植泌氧能力强的水稻品种和施用铁肥能极 大地增强稻田土壤中的铁循环。利用 Fe³⁺还原对 产 CH4 的抑制作用^[23-27],可实现稻田 CH4 的持续

减排。普通野生稻(*Oryza rufipogon* Griff.)是亚洲 栽培稻(*Oryza sativa* L.)的野生祖先种^[28-31], 两者 有相同的基因组型(AA 基因组), 且遗传关系密 切。普通野生稻具有比亚洲栽培稻更丰富的遗传 多样性和更复杂的遗传背景, 蕴藏着极其丰富的 优异基因^[32], 从中挖掘强泌氧材料将有助于强泌氧 水稻品种的培育。笔者曾对不同普通野生稻居群 的根表铁膜形成能力进行了评价^[33-34]。本研究拟 选取1个根表铁膜形成能力较强的普通野生稻居 群进行小区试验, 旨在评价施铁措施对普通野生 稻 CH₄ 的减排效果。

1 材料与方法

1.1 材料 普通野生稻植株采自海南省文昌市 东路镇葫芦洋野生稻保护示范点(110°68 E, 19°78'N)。用木村B营养液培养^[33,35],选取芽龄为 11 d 的生根幼苗,从母株剪下后移栽。供试土壤 为砖红壤发育的水稻土,自然风干,前茬为水稻, 采自海南省农业科学院永发试验基地,其土壤理 化性状为^[14]: pH 6.50, 全氮 1.50 g·kg⁻¹, 有机碳 13.80

收稿日期: 2022-05-03 修回日期: 2022-05-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(31260118)

第一作者: 王晟(1994-), 男, 海南大学生态与环境学院 2016 级硕士研究生. E-mail: 924250164@qq.com

通信作者: 但建国(1965-), 男, 副教授. 研究方向: 生态学. E-mail: danwolke@foxmail.com

g·kg⁻¹, 全铁 23.85 g·kg⁻¹, 有效铁 193.38 mg·kg⁻¹。

1.2 试验处理 小区试验在水泥池(长 5.74 m× 宽 1.10 m×深 0.45 m)中进行,分设对照水泥池和 施铁水泥池。水稻干土加入量为 286.35 kg·m⁻²。 灌水后,池内稻土一直处于淹水状态。淹水 30 d 后,在施铁水泥池施用人工合成的水合氧化铁 (ferrihydrite)^[14],施 Fe 量为 0.7 g·kg⁻¹干土。每年 种植 2 季水稻,已连续种植了 3 年。水稻收获后, 人工清除秸秆和稻根。每小区移栽 160 株普通野 生稻幼苗(株距 13 cm×行距 20 cm),持续保持约 10 cm 的水层。施肥时按水稻常规栽培措施进 行。幼苗移栽 10 d 后,每处理随机放置 4 个土壤 溶液取样器(取样头 5 cm 长, Rhizon flex,荷兰), 垂直插放到根系旁,取样头基部距土表约 3 cm。

1.3 测定方法 CH4 排放测定:采用静态顶空取 样技术测定 CH₄ 的排放^[14]。取样罩为透明的圆柱 形有机玻璃罩(内径 30 cm×高 100 cm×壁厚 0.4 cm), 其顶部装有1个小型风扇,侧面有1个用胶塞封 住的取样口。每个处理放置3个取样罩,每次测 定的前一晚将取样罩的底座埋入土壤,每个取样 罩内的植株数为3株。每隔10min用1次性注射 器(5 mL)抽取 3 mL 顶空气样,用带有火焰离子化 检测器(FID)的气相色谱仪(Agilent 7890A GC System, 美国)测定 CH₄ 浓度。GC 所在实验室的 温度设定为 26 ℃。根据 CH₄ 浓度与 6 次气样采集 时间的线性关系计算 CH₄ 排放通量 [mg·(m²·d)⁻¹]。 在试验期间,每处理进行9次排放通量测定,其采 样时间分别为移栽后第 19、26、33、40、47、54、 61、68、75天。按任杰等[14]的方法计算取样期间 的 CH₄ 总排放量。

土壤孔隙水 Fe²⁺浓度测定:从土壤溶液采样器 抽取 0.5 mL 孔隙水,注入盛有 4.5 mL 0.5 mol·L⁻¹ HCl 的离心管中,混匀后放入冰盒内保存。采用菲 洛嗪分光光度法^[14],用紫外可见分光光度计(INESA 752N,中国)在 562 nm 下测定 Fe²⁺浓度。

根表铁膜的测定: 在移栽后第48天和第 86天,每处理随机采收3株植株,剪下根系,用去 离子水冲洗3次,然后用吸水纸吸去根表的水。 每株普通野生稻的根系分成2部分,分别用于根 表铁膜的提取,以及根含水量和根生物量的测 定。采用 DCB(Dithionite-Citrate-Bicarbonate)法 提取根表铁膜^[36],再用原子吸收分光光度计(ICE 3000 series,美国)测定铁含量^[14,33-34]。根据提取液 铁含量、根鲜质量和根含水量计算出根表铁膜含量(mg·g⁻¹)。用根表铁膜含量的平均值乘以根生物量即得到单株根表铁膜数量(mg·株⁻¹)。

1.4 数据分析 采用 Excel 2007 进行数据处理 和作图。采用 SPSS 18.0 统计软件进行统计分析 和 *t* 测验。

2 结果与分析

2.1 CH₄ 排放通量 当普通野生稻生长期处于移栽 后第 19 天至第 40 天时,施铁小区 CH₄ 排放通量从 347.57 mg·(m²·d)⁻¹ 持续上升到 925.76 mg·(m²·d)⁻¹, 此后基本维持在这个水平上(图 1)。对照小区 CH₄ 排放通量的日变化有 1 个高峰,出现在移栽 后第 40 天,其值高达 1753.22 mg·(m²·d)⁻¹;在此之 前, CH₄ 排放通量为 813.87 ~ 904.98 mg·(m²·d)⁻¹;从 移栽后第 47 天起, CH₄ 排放通量维持在 1 004.97 ~ 1 168.13 mg·(m²·d)⁻¹。与对照相比,施铁措施在 移栽后 19、26、40 和 47 d 的 CH₄ 减排效果均达到 显著水平(*P*<0.05)。施铁处理和对照在 57 d 观测 期内的 CH₄ 总排放量分别为 43.22 g·m⁻² 和 61.31 g·m⁻²,施铁导致 CH₄ 排放减少了 29.51%。



图1 管超到生相 Cn₄ 排放通量的功态变化 误差条表示标准误;*表示施铁处理与对照之间差异显 著(P<0.05),下同。</p>

2.2 土壤孔隙水 Fe²⁺浓度 在普通野生稻移栽后 第 19 天,施铁小区的土壤孔隙水 Fe²⁺浓度为 0.57 mmol·L⁻¹,比对照小区(0.41 mmol·L⁻¹)高出 39.02%, 两者间差异显著(P<0.05)(图 2)。此后,2个小区 的孔隙水 Fe²⁺浓度日变化趋势基本相似;对照小区 的孔隙水 Fe²⁺浓度处于平稳状态,介于 0.22~0.32 mmol·L⁻¹;施铁小区在移栽后 61 和 68 d 的孔 隙水 Fe²⁺浓度比对照低,分别降至 0.17 和 0.07 mmol·L⁻¹,但与对照相比,差异均未达到显著水平。 2.3 根生物量和根表铁膜 在普通野生稻移栽



图 2 普通野生稻种植期间土壤孔隙水 Fe²⁺浓度的动态 变化

后 48 d, 施铁小区的根生物量、根表铁膜含量和单 株根表铁膜数量分别为 1.14 g、46.20 mg·g⁻¹和 52.44 mg·株⁻¹, 分别比对照高出 10.68%、23.63% 和 39.65%, 但两个处理之间的差异都没有达到显 著水平(表 1)。当普通野生稻生长至移栽后第 86 天, 施铁小区的根生物量和单株根表铁膜数量 分别提高到 13.35 g 和 527.10 mg·株⁻¹, 而根表铁膜 含量有所下降, 其值为 39.64 mg·g⁻¹; 虽然施铁小区 的根生物量与对照相比差异不显著, 但施铁小区 的根表铁膜含量和单株根表铁膜数量均显著大于 对照(P<0.05), 分别比对照增加 48.41% 和 81.96%。

采样时间	处理及其效应	根生物量/g	根表铁膜含量/(mg·g⁻¹)	单株根表铁膜数量/(mg·株-1)
移栽后48 d	对照	1.03±0.19a	37.37±5.25a	37.55±1.76a
	施铁	1.14±0.09a	46.20±3.49a	52.44±4.93a
	施铁效应/%	10.68	23.63	39.65
移栽后86 d	对照	10.95±0.72a	26.71±3.72b	289.68±21.56b
	施铁	13.35±0.66a	39.64±1.87a	527.10±14.36a
	施铁效应/%	21.92	48.41	81.96

表1 不同生长期普通野生稻的根生物量和根表铁膜特征参数

注:各处理数值为平均值±标准误:同列不同小写字母表示同天采样的施铁处理与对照之间差异显著(P<0.05)。

3 讨 论

本研究采用小区试验评价了施铁措施对普通 野生稻田 CH₄ 排放的影响。在 57 d 的观测期内, 施铁能使 CH₄ 排放减少 29.51%,显著的 CH₄ 减排 效应出现于普通野生稻生长前期,即移栽后 19~47 d。这与任杰等^[14]的水稻盆栽试验结果有 所不同:施铁导致根表铁膜形成能力较强的水稻 品种的 CH₄ 总排放通量比对照减少 17.52%, CH₄ 减排效应仅出现于水稻生长后期。虽然这 2 个试 验的土壤来源相同,且施铁量一样,但是,在本研 究实施前,试验小区已连续种植了 6 季水稻,稻土 处于持续淹水状态。在普通野生稻移栽后第 19 天,施铁小区土壤溶液中仍含有较高浓度的 Fe²⁺,比对照小区高出 39.02%。正是施铁小区土壤 中尚存的、高浓度 Fe²⁺让普通野生稻植株的根系 拥有更厚的根表铁膜。

迄今,有关根表铁膜与普通野生稻 CH₄ 排放 的关系尚未见报道。但是,对水稻而言,这方面的报 道比较多。水稻根系泌氧能力与水稻 CH₄ 排放之 间呈负相关^[37-38], 泌氧(ROL)所引发的 CH₄ 减排 效果应与根表铁膜有密切关系。因为水稻根表铁

膜的主要组分是水合氧化铁(ferrihydrite)^[16,19,22,39-42], 所占比例可达 50%~100%[43],该氧化物的比表面积 较大,易被铁还原菌还原[19-20,27],而水合氧化铁等 Fe³⁺氧化物的还原可有效抑制产 CH₄ 的产生^[23-27]。 对水稻根表铁膜的研究表明,根表铁膜的形成有 2个驱动因子。1) O,浓度:淹水稻土中的 O,主要 来自水稻植株根系的 ROL^[16,18-19]。ROL 随水稻的 品种和生育期有所变化[44-45]。通常水稻品种泌氧 能力愈强,根表铁膜愈厚^[19,46-49]。同 ROL 一样,根 表铁膜含量也随水稻生育期而变化[47]。根表铁膜 形成能力可间接地表征水稻根系泌氧能力的强 弱。因此,寻找根系泌氧能力强或者根表铁膜厚 的水稻品种是实现 CH4 长效减排的一个有效途 径。2) Fe²⁺浓度: 在一定 Fe²⁺浓度范围, 水稻根表 铁膜含量随土壤 Fe²⁺浓度的增加而上升^[18-19,50-53], 所以,通过增施铁肥来提高水稻土壤 Fe²⁺浓度,能 进一步让泌氧多或者根表铁膜厚的水稻品种发挥 其 CH₄ 减排潜能。

目前,涉及普通野生稻 CH₄ 动态的相关微生物群落结构的研究非常有限。CONRAD 等^[54] 曾报道,普通野生稻土壤的产 CH₄ 古菌群落结构 同附近亚洲栽培稻土壤没有差异。水稻和普通野

生稻根际微生物组的对比研究表明,普通野生稻 土壤中产 CH₄ 古菌和 CH₄ 氧化菌均比水稻土活 跃^[55-56]。本研究观测到的施铁措施对普通野生稻 CH₄ 的减排效果,很可能跟 CH₄ 氧化菌的功能与 活性有一定的关系,因为 CH₄ 氧化菌需要 O₂,消 耗土壤中的 CH₄,进而减少 CH₄ 的排放。因此,在 未来的研究中,有必要探究根表铁膜形成与 CH₄ 有氧氧化对 ROL 的竞争关系。

在我国,普通野生稻分布于广东、广西、海 南、云南、江西、湖南、福建和台湾等 8 省区^[57]。 普通野生稻作为多年生植物,栖息于长期淹水的 环境中^[28-30],拥有极其丰富的优异基因^[32]。在普 通野生稻种质资源中,有些居群具有较强的泌氧 能力或较厚的根表铁膜^[33-34],有些品系则拥有耐 铁毒的特性^[58-60],充分利用这些优良的遗传材料 将有助于培育强泌氧、耐铁毒的水稻新品种。耐 铁毒能力的提高意味着铁肥安全施用量上限的提 升。本研究证实,施铁措施对具有厚铁膜潜力的 普通野生稻居群的 CH₄ 减排展现出了明显的促进 作用。因此,高效地发掘与利用普通野生稻强泌 氧和耐铁毒的功能基因是培育低 CH₄ 排放水稻品 种的一个重要途径,这对有效缓解全球温室气体 减排和粮食安全问题之间的矛盾具有重要意义。

参考文献:

- WMO. The state of greenhouse gases in the atmosphere based on global observations through 2020 [J]. WMO Greenhouse Gas Bulletin, 2021, 17: 1 – 9.
- [2] 贾仲君, 蔡祖聪. 水稻植株对稻田甲烷排放的影响[J]. 应用生态学报, 2003, 14(11): 2049 - 2053.
- [3] 丁维新, 蔡祖聪. 植物在 CH₄ 产生、氧化和排放中的作用[J]. 应用生态学报, 2003, 14(8): 1379-1384.
- [4] 唐志伟, 张俊, 邓艾兴, 等. 我国稻田甲烷排放的时空特 征与减排途径[J]. 中国生态农业学报, 2022, 30(4): 1-10.
- [5] SAUNOIS M, STAVERT A R, POULTER B, et al. The global methane budget 2000—2017 [J]. Earth System Science Data, 2020, 12(3): 1561 – 1623.
- [6] JACKSON R B, SAUNOIS M, BOUSQUET P, et al. Increasing anthropogenic methane emissions arise equally from agricultural and fossil fuel sources [J]. Environmental Research Letters, 2020, 15(7): e071002.
- [7] MA K, QIU Q F, LU Y H. Microbial mechanism for rice variety control on methane emission from rice field soil
 [J]. Global Change Biology, 2010, 16(11): 3085 – 3095.
- [8] JIANG Y, VAN GROENIGEN K J, HUANG S, et al. Higher yields and lower methane emissions with new rice cultivars [J]. Global Change Biology, 2017, 23(11):

4728 - 4738.

- [9] LINQUIST B A, MARCOS M, ADVIENTO-BORBE M A, et al. Greenhouse gas emissions and management practices that affect emissions in US rice systems [J]. Journal of Environmental Quality, 2018, 47(3): 395 – 409.
- [10] BHATTACHARYYA P, DASH P K, SWAIN C K, et al. Mechanism of plant mediated methane emission in tropical lowland rice [J]. Science of the Total Environment, 2019, 651: 84 – 92.
- [11] LIECHTY Z, SANTOS-MEDELLÍN C, EDWARDS J, et al. Comparative analysis of root microbiomes of rice cultivars with high and low methane emissions reveals differences in abundance of methanogenic archaea and putative upstream fermenters [J]. mSystems, 2020, 5(1): e00897 - 19.
- [12] CHEN Y, ZHANG Y, LI S, et al. OsRGA1 optimizes photosynthate allocation for roots to reduce methane emissions and improve yield in paddy ecosystems [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2021, 160: 108344.
- [13] FERNÁNDEZ-BACA C P, RIVERS A R, KIM W, et al. Changes in rhizosphere soil microbial communities across plant developmental stages of high and low methane emitting rice genotypes [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2021, 156: 108233.
- [14] 任杰, 唐璐, 陈菊培, 等. 水合氧化铁提前施用对持续 淹水条件下水稻甲烷的减排效应[J]. 热带作物学报, 2018, 39(4): 635-640.
- [15] COLMER T D. Aerenchyma and an inducible barrier to radial oxygen loss facilitate root aeration in upland, paddy and deep-water rice (*Oryza sativa* L.) [J]. Annals of Botany, 2003, 91(2): 301 – 309.
- [16] MAISCH M, LUEDER U, KAPPLER A, et al. From plant to paddy — how rice root iron plaque can affect the paddy field iron cycling [J]. Soil Systems, 2020, 4(2): 28.
- [17] EJIRI M, FUKAO T, MIYASHITA T, et al. A barrier to radial oxygen loss helps the root system cope with waterlogging-induced hypoxia [J]. Breeding Science, 2021, 71: 40 – 50.
- [18] MENDELSSOHN I A, KLEISS B A, WAKELEY J S. Factors controlling the formation of oxidized root channels – a review [J]. Wetlands, 1995, 15(1): 37 – 46.
- [19] KHAN N, SESHADRI B, BOLAN N, et al. Root iron plaque on wetland plants as a dynamic pool of nutrients and contaminants [J]. Advances in Agronomy, 2016, 138: 1 – 96.
- [20] NEUBAUER S C, EMERSON D, MEGONIGAL J P. Microbial oxidation and reduction of iron in the root zone and influences on metal mobility [M]//VI-OLANTE A, HUANG P M, GADD G M. Biophysicochemical processes of heavy metals and metalloids in soil environments. Hoboken: John Wiley & Sons, 2008: 339 – 371.
- [21] MAISCH M, LUEDER U, KAPPLER A, et al. Iron lung: how rice roots induce iron redox changes in the

rhizosphere and create niches for microaerophilic fe(ii)oxidizing bacteria [J]. Environmental Science and Technology Letters, 2019, 6(10): 600 – 605.

- [22] LIMMER M A, EVANS A E, SEYFFERTH A L. A new method to capture the spatial and temporal heterogeneity of aquatic plant iron root plaque *in situ* [J]. Environmental Science & Technology, 2021, 55(2): 912 – 918.
- [23] MEGONIGAL J P, HINES M E, VISSCHER P T. Anaerobic metabolism: linkages to trace gases and aerobic processes [M]//SCHLESINGER W H. Biogeochemistry. Oxford: Elsevier–Pergamon, 2004: 317 – 424.
- [24] 唐子阳,汤佳,庄莉,等.土壤铁氧化物对有机质产甲 烷过程的影响及其机制[J].生态学杂志,2016,35(6): 1653-1660.
- [25] HU J, WU H, SUN Z, et al. Ferrous iron addition decreases methane emissions induced by rice straw in flooded paddy soils [J]. ACS Earth and Space Chemistry, 2020, 4(6): 843 – 853.
- [26] CONRAD R. Methane production in soil environments —anaerobic biogeochemistry and microbial life between flooding and desiccation [J]. Microorganisms, 2020, 8(6): 881.
- [27] LI Y, ZHU Z, WEI X, et al. Sources and intensity of CH₄ production in paddy soils depend on iron oxides and microbial biomass [J]. Biology and Fertility of Soils, 2022, 58(2): 181 – 191.
- [28] HUANG X, KURATA N, WEI X, et al. A map of rice genome variation reveals the origin of cultivated rice [J]. Nature, 2012, 490: 497 – 501.
- [29] SANG T, GE S. Understanding rice domestication and implications for cultivar improvement [J]. Current Opinion in Plant Biology, 2013, 16(2): 139 – 146.
- [30] CHEN E, HUANG X, TIAN Z, et al. The genomics of Oryza species provides insights into rice domestication and heterosis [J]. Annual Review of Plant Biology, 2019, 70: 639 – 665.
- [31] WANG J, SHI J, LIU S, et al. Conservation recommendations for *Oryza rufipogon* Griff. in China based on genetic diversity analysis [J]. Scientific Reports, 2020, 10: 14375.
- [32] 段世华, 李绍清, 李绍波, 等. 野生稻与亚洲栽培稻的 遗传多样性[J]. 作物学报, 2009, 35(3): 467-474.
- [33] 黄剑冰, 任杰, 唐璐, 等. 栽培稻和普通野生稻居群根 表铁膜形成能力的比较研究[J]. 热带作物学报, 2017, 38(3): 421-425.
- [34] 唐璐, 王晟, 但建国. 不同普通野生稻居群的根表铁膜 形成能力[J]. 热带作物学报, 2020, 41(6): 1265-1272.
- [35] MA J F, TAKAHASHI E. Effect of silicon on the growth and phosphorus uptake of rice [J]. Plant and Soil, 1990, 126(1): 115 119.
- [36] CHEN R F, SHEN R F, GU P, et al. Response of rice (Oryza sativa) with root surface iron plaque under aluminium stress [J]. Annals of Botany, 2006, 98(2): 389 –

395.

- [37] ZHENG H, FU Z, ZHONG J, et al. Low methane emission in rice cultivars with high radial oxygen loss [J]. Plant and Soil, 2018, 431(1-2): 119 – 128.
- [38] CHEN Y, LI S, ZHANG Y, et al. Rice root morphological and physiological traits interaction with rhizosphere soil and its effect on methane emissions in paddy fields [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2019, 129: 191 – 200.
- [39] LIU W J, ZHU Y G, HU Y, et al. Arsenic sequestration in iron plaque, its accumulation and speciation in mature rice plants (*Oryza sativa* L.) [J]. Environmental Science and Technology, 2006, 40(18): 5730 – 5736.
- [40] FU Y Q, YANG X J, YE Z H, et al. Identification, separation and component analysis of reddish brown and non-reddish brown iron plaque on rice (*Oryza sativa*) root surface [J]. Plant and Soil, 2016, 402(1-2): 277 – 290.
- [41] AMARAL D C, LOPES G, GUILHERME L R G, et al. A new approach to sampling intact Fe plaque reveals siinduced changes in Fe mineral composition and shoot as in rice [J]. Environmental Science & Technology, 2017, 51(1): 38 – 45.
- [42] PENG C, CHEN S, SHEN C S, et al. Iron plaque: A barrier layer to the uptake and translocation of copper oxide nanoparticles by rice plants [J]. Environmental Science & Technology, 2018, 52(21): 12244 – 12254.
- [43] SEYFFERTH A L, WEBB S M, ANDREWS J C, et al. Defining the distribution of arsenic species and plant nutrients in rice (*Oryza sativa* L.) from the root to the grain [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 2011, 75(21): 6655 – 6671.
- [44] MEI X Q, WONG M H, YANG Y, et al. The effects of radial oxygen loss on arsenic tolerance and uptake in rice and on its rhizosphere [J]. Environmental Pollution, 2012, 165: 109 – 117.
- [45] MEI X, LI Q, WANG H, et al. Effects of cultivars, water regimes, and growth stages on cadmium accumulation in rice with different radial oxygen loss [J]. Plant and Soil, 2020, 453(1-2): 529 – 543.
- [46] WU C, YE Z H, WU S C, et al. Do radial oxygen loss and external aeration affect iron plaque formation and arsenic accumulation and speciation in rice[J]? Journal of Experimental Botany, 2012, 63(8): 2961–2970.
- [47] WANG X, YAO H, WONG M H, et al. Dynamic changes in radial oxygen loss and iron plaque formation and their effects on Cd and As accumulation in rice (*Oryza sativa* L.) [J]. Environmental Geochemistry and Health, 2013, 35: 779 – 788.
- [48] CHENG H, WANG M, WONG M H, et al. Does radial oxygen loss and iron plaque formation on roots alter Cd and Pb uptake and distribution in rice plant tissues[J]? Plant and Soil, 2014, 375(1-2): 137–148.
- [49] ZANDI P, YANG J, DARMA A, et al. Iron plaque formation, characteristics, and its role as a barrier

and/or facilitator to heavy metal uptake in hydrophyte rice (*Oryza sativa* L.) [J]. Environmental Geochemistry and Health, 2022. https://doi.org/10.1007/s10653-022-01246-4

- [50] LIANG Y, ZHU Y G, XIA Y, et al. Iron plaque enhances phosphorus uptake by rice (*Oryza sativa*) growing under varying phosphorus and iron concentrations
 [J]. Annals of Applied Biology, 2006, 149(3): 305 312.
- [51] CHEN M, LEI C, SONG X, et al. Effect of iron plaque and selenium on cadmium uptake and translocation in rice seedlings (*Oryza sativa*) grown in solution culture
 [J]. International Journal of Agriculture and Biology, 2014, 16(6): 1159 – 1164.
- [52] LI Y, ZHAO J, ZHANG B, et al. The influence of iron plaque on the absorption, translocation and transformation of mercury in rice (*Oryza sativa* L.) seedlings exposed to different mercury species [J]. Plant and Soil, 2016, 398(1-2): 87 - 97.
- [53] SIDDIQUE A B, RAHMAN M M, ISLAM M R, et al. Influence of iron plaque on accumulation and translocation of cadmium by rice seedlings [J]. Sustainability, 2021, 13(18): 10307.
- [54] CONRAD R, KLOSE M, CLAUS P, et al. Activity and composition of the methanogenic archaeal community in soil vegetated with wild versus cultivated rice [J]. Soil

Biology and Biochemistry, 2009, 41(7): 1390 – 1395.

- [55] ZHANG J, YAO Z, CHEN Y, et al. Study of rhizosphere microbial community structures of asian wild and cultivated rice showed that cultivated rice had decreased and enriched some functional microorganisms in the process of domestication [J]. Diversity, 2022, 14(2): 67.
- [56] TIAN L, CHANG J, SHI S, et al. Comparison of methane metabolism in the rhizomicrobiomes of wild and related cultivated rice accessions reveals a strong impact of crop domestication [J]. Science of the Total Environment, 2022, 803: 150131.
- [57] 杨庆文, 黄娟. 中国普通野生稻遗传多样性研究进展[J]. 作物学报, 2013, 39(4): 580-588.
- [58] SANCHEZ P L, WING R A, BRAR D S. The wild relative of rice: genomes and genomics [M]//ZHANG Q, WING R A. Genetics and genomics of rice. Plant genetics and genomics: crops and models, vol 5. New York: Springer, 2013: 9–25.
- [59] BIERSCHENK B, TAGELE M T, ALI B, et al. Evaluation of rice wild relatives as a source of traits for adaptation to Fe toxicity and enhanced grain quality [J]. PLoS One, 2020, 15(1): e0223086.
- [60] KAR S, MAI H J, KHALOUF H, et al. Comparative transcriptomics of lowland rice varieties uncovers novel candidate genes for adaptive iron excess tolerance [J]. Plant and Cell Physiology, 2021, 62(4): 624 – 640.

Mitigation of methane emission from *Oryza rufipogon* paddy soil with a higher Fe²⁺ concentration

WANG Sheng^{1,2}, DAN Jianguo¹

School of Plant Protection, Hainan University, Haikou 570228, China;
 College of Ecology and Environment, Hainan University, Haikou 570228, China)

Abstract: In order to explore the effect of Fe amendment on methane emission from *Oryza rufipogon* paddy soil, a comparison experiment was conducted in concrete ponds using a *Oryza rufipogon* population with higher capacity to form iron plaque on roots. The 11-day-old seedlings were transplanted to the rice paddy soil which was previously treated with or without addition of ferrihydrite at a rate of 0.7 g Fe/kg dry weight soil and already planted 6 growing seasons of rice under continuous flooding regime. Methane emission rate, Fe²⁺ concentration in soil pore water, root biomass and iron plaque on roots were measured. The experimental results showed that the methane emission in the Fe-amended pond during the period of 19-75 days after transplanting was reduced by up to 29.51%, comparing to control. Methane suppression observed by Fe amendment occurred only in the early growing season. There was a significant difference in Fe²⁺ concentration in soil pore water between two treatments only at 19 days after transplanting over the investigation period. The difference in both root biomass and amount of iron plaque per plant between Fe-amended treatment and control increased with age of plants. The present study suggests that Fe amendment can effectively mitigate methane emission from *Oryza rufipogon* plants with potential to have much more iron plaque on roots. **Keywords**; methane emission; *Oryza rufipogon*; iron plaque; soil pore water