

ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

# 生态学报

## Acta Ecologica Sinica



第33卷 第5期 Vol.33 No.5 2013

中国生态学学会  
中国科学院生态环境研究中心  
科学出版社

主办  
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

# 生态学报 (SHENTAI XUEBAO)

第33卷 第5期 2013年3月 (半月刊)

## 目 次

### 前沿理论与学科综述

- 氮沉降对森林土壤有机质和凋落物分解的影响及其微生物学机制 ..... 王晶苑, 张心昱, 温学发, 等 (1337)  
工业大麻对重金属污染土壤的治理研究进展 ..... 梁淑敏, 许艳萍, 陈 裕, 等 (1347)  
最佳管理措施评估方法研究进展 ..... 孟凡德, 耿润哲, 欧 洋, 等 (1357)  
灌木年轮学研究进展 ..... 芦晓明, 梁尔源 (1367)

### 个体与基础生态

- 华北落叶松夜间树干液流特征及生长季补水格局 ..... 王艳兵, 德永军, 熊 伟, 等 (1375)  
土壤干旱胁迫对沙棘叶片光合作用和抗氧化酶活性的影响 ..... 裴 斌, 张光灿, 张淑勇, 等 (1386)  
湖北石首麋鹿昼间活动时间分配 ..... 杨道德, 李竹云, 李鹏飞, 等 (1397)  
三种杀虫剂亚致死浓度对川硬皮肿腿蜂繁殖和搜寻行为的影响 ..... 杨 桦, 杨 伟, 杨春平, 等 (1405)

### 种群、群落和生态系统

- 三沙湾浮游动物生态类群演替特征 ..... 徐佳奕, 徐兆礼 (1413)  
滇西北高原纳帕海湿地湖滨带优势植物生物量及其凋落物分解 ..... 郭绪虎, 肖德荣, 田 昆, 等 (1425)  
安徽新安江干流滩涂湿地草本植物区系及物种多样性 ..... 杨文斌, 刘 坤, 周守标 (1433)  
湿地芦苇根结合好气细菌群落时空分布及其与水质因子的关系 ..... 熊 薇, 郭逍宇, 赵 霖 (1443)  
三种温带树种叶片呼吸的时间动态及其影响因子 ..... 王兆国, 王传宽 (1456)  
不同土壤水分条件下杨树人工林水分利用效率对环境因子的响应 ..... 周 洁, 张志强, 孙 阁, 等 (1465)  
不同生态区域沙地建群种油蒿的钙组分特征 ..... 薛苹苹, 高玉葆, 何兴东 (1475)  
藏北高寒草甸植物群落对土壤线虫群落功能结构的影响 ..... 薛会英, 胡 锋, 罗大庆 (1482)  
铜尾矿废弃地土壤动物多样性特征 ..... 朱永恒, 沈 非, 余 健, 等 (1495)  
环丙沙星对土壤微生物量碳和土壤微生物群落碳代谢多样性的影响 ..... 马 驿, 彭金菊, 王 芸, 等 (1506)  
基于生态水位约束的下辽河平原地下水生态需水量估算 ..... 孙才志, 高 翳, 朱正如 (1513)

### 景观、区域和全球生态

- 佛山市高明区生态安全格局和建设用地扩展预案 ..... 苏泳娴, 张虹鸥, 陈修治, 等 (1524)  
不同护坡草本植物的根系特征及对土壤渗透性的影响 ..... 李建兴, 何丙辉, 谌 芸 (1535)  
京沪穗三地近十年夜间热力景观格局演变对比研究 ..... 孟 丹, 王明玉, 李小娟, 等 (1545)  
窟野河流域河川基流量变化趋势及其驱动因素 ..... 雷泳南, 张晓萍, 张建军, 等 (1559)  
模拟氮沉降条件下木荷幼苗光合特性、生物量与 C、N、P 分配格局 ..... 李明月, 王 健, 王振兴, 等 (1569)  
铁炉渣施加对稻田甲烷产生、氧化与排放的影响 ..... 王维奇, 李鹏飞, 曾从盛, 等 (1578)

### 资源与产业生态

- 食用黑粉菌侵染对茭白植株抗氧化系统和叶绿素荧光的影响 ..... 闫 宁, 王晓清, 王志丹, 等 (1584)

- 佛手低温胁迫相关基因的差异表达 ..... 陈文荣,叶杰君,李永强,等 (1594)  
美洲棘薺马对不同蔬菜寄主的偏好性 ..... 朱亮,石宝才,官亚军,等 (1607)  
茉莉酸对棉花单宁含量和抗虫相关酶活性的诱导效应 ..... 杨世勇,王蒙蒙,谢建春 (1615)  
造纸废水灌溉对毛白杨苗木生长及养分状况的影响 ..... 王烨,席本野,崔向东,等 (1626)  
基于数据包络分析的江苏省水资源利用效率 ..... 赵晨,王远,谷学明,等 (1636)

#### 研究简报

- 太岳山不同郁闭度油松人工林降水分配特征 ..... 周彬,韩海荣,康峰峰,等 (1645)  
基于 TM 卫星影像数据的北京市植被变化及其原因分析 ..... 贾宝全 (1654)  
薇甘菊萎焉病毒感染对薇甘菊光合特性和 4 种酶活性的影响 ..... 王瑞龙,潘婉文,杨娇瑜,等 (1667)  
第七届现代生态学讲座、第四届国际青年生态学者论坛通知 ..... ( I )  
中、美生态学会联合招聘国际期刊主编 ..... ( i )

期刊基本参数:CN 11-2031/Q \* 1981 \* m \* 16 \* 338 \* zh \* P \* ¥ 90.00 \* 1510 \* 34 \* 2013-03



**封面图说:**美丽的油松松枝——油松又称红皮松、短叶松。树高可达 30m,胸径达 1m。其树皮下部灰褐色,裂成不规则鳞块;针叶 2 针一束,暗绿色,较粗硬;球果卵形或卵圆形,长 4—7cm,有短柄,与枝几乎成直角。油松适应性强,根系发达,树姿雄伟,枝叶繁茂,有良好的保持水土和美化环境的功能,是中国北方广大地区最主要的造林树种之一,在华北地区无论是山区或平原到处可见,人工林很多,一般情况下在山区生长最好。在山区生长的油松,多在阴坡、半阴坡,土壤湿润和较肥沃的地方。

彩图及图说提供:陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201208221189

王维奇,李鹏飞,曾从盛,王纯,林芳.铁炉渣施加对稻田甲烷产生、氧化与排放的影响.生态学报,2013,33(5):1578-1583.

Wang W Q, Li P F, Zeng C S, Wang C, Lin F. Effect of iron slag adding on methane production, oxidation and emission in paddy fields. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(5): 1578-1583.

## 铁炉渣施加对稻田甲烷产生、氧化与排放的影响

王维奇<sup>1,2,\*</sup>, 李鹏飞<sup>2</sup>, 曾从盛<sup>1,2</sup>, 王纯<sup>2</sup>, 林芳<sup>1</sup>

(1. 福建师范大学地理研究所,福州 350007; 2. 福建师范大学亚热带湿地研究中心,福州 350007)

**摘要:**为了阐明铁炉渣施加对稻田甲烷产生、氧化与排放的影响,采用静态箱-气相色谱法对对照(CK)、2 Mg/hm<sup>2</sup>(Fe I)、4 Mg/hm<sup>2</sup>(Fe II)和8 Mg/hm<sup>2</sup>(Fe III)铁炉渣施加后稻田甲烷产生、氧化与排放进行了测定与分析。研究结果表明:观测期内,CK、Fe I、Fe II和Fe III样地甲烷产生量分别为0.06—8.87、0.12—8.28、0.15—7.84、0.17—7.82 mg·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>,平均产生量分别为4.68、3.92、3.14、2.76 mg·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>;甲烷氧化量分别是0.02—1.27、0.09—0.95、0.09—1.54、0.09—2.79 mg·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>,平均氧化量为0.46、0.47、0.59、0.55 mg·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>;甲烷排放分别是0.04—7.99、0.03—7.33、0.06—6.30、0.08—5.12 mg·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>,平均值分别为3.11、2.29、1.76、1.59 mg·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>。铁炉渣的施加降低了甲烷产生量和排放通量,提高了甲烷氧化量。

**关键词:**铁炉渣; 甲烷; 产生; 氧化; 排放; 稻田

## Effect of iron slag adding on methane production, oxidation and emission in paddy fields

WANG Weiqi<sup>1,2,\*</sup>, LI Pengfei<sup>2</sup>, ZENG Congsheng<sup>1,2</sup>, WANG Chun<sup>2</sup>, LIN Fang<sup>1</sup>

1 Institute of Geography, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China

2 Research Center of Wetlands in Subtropical Region, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China

**Abstract:** Methane emission from biogenic sources is very important for the global CH<sub>4</sub> budget. Paddy fields have been identified as one of the major sources of anthropogenic CH<sub>4</sub> emissions to the atmosphere. Rice is the major cereal crop to feed more than half of the world's population, and the production of rice will increase with the expanding world population and may increase the associated CH<sub>4</sub> emissions and thereby accelerate global warming effects. Therefore, feasible soil management strategies need to be developed for reducing CH<sub>4</sub> emission from intensive rice farming while sustaining rice productivity.

Among the various factors, the content of soil oxidants (electron acceptors) and reductants (electron donors) play vital role in controlling CH<sub>4</sub> emissions from wetland rice agriculture. While electron acceptors can control CH<sub>4</sub> emission from paddy fields, it can be regenerated during the drained period. For example, Iron reduction is a dominant redox process within the redox sequence of anaerobic systems, and may suppress CH<sub>4</sub> production and its emission.

A field experiment was carried out in the Wufeng Agronomy Field of the Fujian Academy of Agricultural Sciences (26.1°N, 119.3°E), Southeast China during the rice growing season in April to July 2011. The soil at the experimental site was moist, poorly drained, clay loam, paddy field soil type. Bulk density of the soil before experimentation was 1.1 g cm<sup>-3</sup>, and other chemical properties were: pH 6.5, organic carbon 18.1 g/kg, total N 1.2 g/kg, total P 1.1 g/kg.

In order to clarify the effect of iron slag amendment on paddy field methane production, oxidation and emission, the

**基金项目:**国家自然科学基金资助项目(31000209);福建省公益类研究所专项(2011R1037-5);福建师范大学优秀青年骨干教师培养基金(fjsdky2012007)

收稿日期:2012-08-22; 修订日期:2012-12-24

\*通讯作者 Corresponding author. E-mail: wangweiqi15@163.com

methane production, oxidation and emission of control (CK) and after 2 Mg/hm<sup>2</sup> (Fe I), 4 Mg/hm<sup>2</sup> (Fe II), and 8 Mg/hm<sup>2</sup> (Fe III) iron slag application were determined by static chamber-gas chromatogram. The results showed: Methane production rates of CK, Fe I, Fe II and Fe III plot were 0.06—8.87, 0.12—8.28, 0.15—7.84, 0.17—7.82 mg·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup> during observation date and averaged values were 4.68, 3.92, 3.14, 2.76 mg·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>, respectively. Methane oxidation rates were 0.02—1.27, 0.09—0.95, 0.09—1.54, 0.09—2.79 mg·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup> and averaged values were 0.46, 0.47, 0.59, 0.55 mg·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>, respectively. Methane emission fluxes were 0.04—7.99, 0.03—7.33, 0.06—6.30, 0.08—5.12 mg·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup> and averaged values were 3.11, 2.29, 1.76, 1.59 mg·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>, respectively. Iron slag suppressed methane production and emission, while it increased CH<sub>4</sub> oxidation rate.

**Key Words:** iron slag; methane; production; oxidation; emission; paddy fields

甲烷是重要的温室气体之一,其100a尺度上的高效的单分子增温潜势相当于二氧化碳的23倍<sup>[1]</sup>,使之成为对全球气候变暖的贡献仅次于二氧化碳的温室气体<sup>[2]</sup>。稻田是主要的甲烷排放源,排放量为20—100 Tg/a<sup>[3]</sup>。随着人口的增加水稻生产也将不断扩大,相应的甲烷排放量也会随之升高,这将加速全球变暖。因此,解决稻田甲烷排放增加与水稻生长扩大之间的矛盾,意义重大。

电子受体可以通过抑制产甲烷菌的活性、与产甲烷菌竞争底物以及提高产甲烷生境的氧化还原电位等途径调节产甲烷过程,但相关研究甚少<sup>[4]</sup>。在诸多电子受体之中,铁受体因其在土壤中的数量较多且在稻田排干后的可再生特性,使其在稻田甲烷减排过程中得到重视<sup>[5]</sup>。铁炉渣作为钢铁工业的废弃物,含有丰富的铁受体。Ali等<sup>[6-7]</sup>在韩国开展的实验表明,可使稻田甲烷排放减排16%—20%,与此同时,稻谷产量提高了13%—18%,但这一成果是在温带地区稻田开展的,是否在亚热带区域开展铁炉渣施加试验也可实现甲烷减排与稻谷增产,尚不清楚,若可实现减排,主要是通过控制甲烷产生与氧化中哪个过程实现的,也未见报道。基于此,本研究开展了铁炉渣施加对稻田甲烷产生、氧化与排放的影响研究,若可实现甲烷减排,可为我国稻田甲烷减排提供新的思路。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区与采样点

研究区位于闽江河口区福州平原的南分支——乌龙江的北岸,属亚热带季风气候,年均气温为19.6℃,年均降水量为1392.5 mm,蒸发量为1413.7 mm,相对湿度为77.6%,地貌主要为冲海积平原,地表平坦,海拔3—5 m,零星分布剥蚀丘陵地貌<sup>[8]</sup>。实验区(图1)位于福建省农科院水稻所吴凤综合实验基地(26.1°N, 119.3°E)内<sup>[9]</sup>,该实验基地共有稻田7 hm<sup>2</sup><sup>[10]</sup>。土壤耕作层有机碳含量为18.11 g/kg,全氮1.28 g/kg,全磷1.07 g/kg。实验区内主要实行早稻—晚稻—蔬菜的轮作制度,本实验点的前茬作物为花菜,实验前对翻耕后的田地进行人工整平,以保持土壤的均一性。实验始于2011年4月中旬,至同年7月中旬收获结束。实验稻田为早稻田,水稻栽培品种为江西省农科院研发的和盛10号,4月16日机插移栽,机插采用春苗插秧机,株行距14 cm×28 cm,施用底肥为复合肥和尿素,施肥量分别为N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O=70-70-70 kg/hm<sup>2</sup>和25 kg N/hm<sup>2</sup>;蘖肥在约一周后施加,为复合肥和尿素,分别为N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O=20-20-20 kg/hm<sup>2</sup>和15 kg N/hm<sup>2</sup>;穗肥约在8周

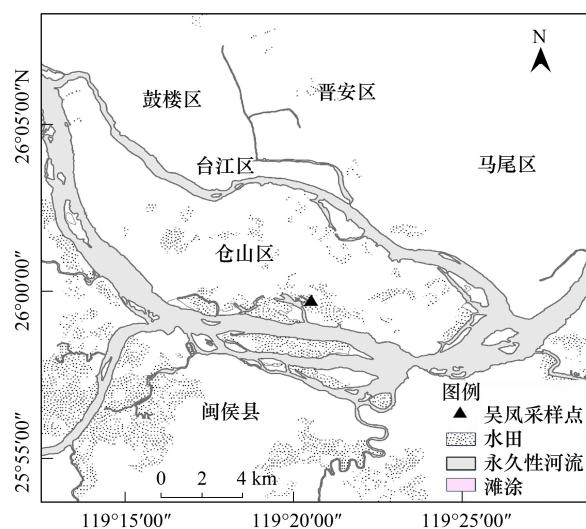


图1 采样点位置图

Fig. 1 Location of sampling site

后施加,为复合肥和尿素,分别为N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O=10-10-10 kg/hm<sup>2</sup> 和8 kg N/hm<sup>2</sup>。水稻生长期基本处于淹水状态,水深约5—7 cm,水稻成熟时晒田。

在实验区选择相对平整的稻田,设置对照(CK)、2 Mg/hm<sup>2</sup>(Fe I)、4 Mg/hm<sup>2</sup>(Fe II)和8 Mg/hm<sup>2</sup>(Fe III)的铁炉渣施加样地,并在水稻移栽前将铁炉渣施加到实验田里。每个处理样地长和宽为4 m×3 m,并用PVC板隔离,防止实验田间水体、物质互相流通交换。各处理设置3个重复,每个静态箱底座里应包含有两株植物体长势相似的水稻苗,以保证测量数据的准确性。最后,计算好要施加的炉渣量(铁炉渣中含有CaO、SiO<sub>2</sub>和Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,分别为34.9%、40.7%和4.8%),设置对照,在施加量以比例分别均匀撒入实验田中。在测定过程中,为了减少人为干扰,实验均在人工搭设的栈桥上进行。

## 1.2 气体采集与分析方法

采用静态箱法-气相色谱法对稻田甲烷产生、氧化和排放过程进行测定。静态箱由顶箱和底座两部分组成,顶箱长宽高分别为0.3 m×0.3 m×1.0 m(顶端安装有小风扇并具温度计插孔),侧面有抽气孔,底座长宽高分别为0.3 m×0.3 m×0.3 m(具凹槽),并在整个生长期固定在样地内。

采样时间一般选在9:00—13:00,在约9:00和12:00各测定1次甲烷排放通量,这样重复测定两次可使甲烷排放通量更加接近于一天的平均值,提高数据的准确性。甲烷排放通量的测定采用静态箱法直接测定,盖上顶箱后立刻用100 mL注射器抽取甲烷气体70 mL,并打入气袋内,后每隔15 min再抽取1次样品,共抽取3次,在抽气过程中保持匀速,同时在底座凹槽内加水密封,防止静态箱内甲烷气体外泄;甲烷产生量的测定步骤为,先盖上顶箱,添加甲烷氧化抑制剂(乙炔浓度4%<sup>[11]</sup>),为充分扩散到土壤中,放置过夜,第2天掀开顶箱,通气5 min,立即盖上顶箱测定甲烷排放通量即为甲烷产生量,同样于在约9:00和12:00各测定1次甲烷排放通量;甲烷氧化量则通过甲烷产生量与甲烷排放通量的差值求得。其中,甲烷排放通量为7d测定1次,产生量与氧化量为15d测定1次。

采集的甲烷气样用日本岛津公司生产的气相色谱仪(GC-2014)进行分析。甲烷检测器为FID,色谱柱为5A分子筛,进样口温度为60 °C,检测器温度为200 °C,柱箱温度为80 °C,载气为高纯氦气,流速为30 mL/min,用中国计量科学研究院生产的CH<sub>4</sub>标气进行校准。通过标准气体和待测气体的峰面积计算待测气体的浓度。气体通量的计算公式如下:

$$F = \frac{M}{V} \cdot \frac{dc}{dt} \cdot H \cdot \left( \frac{273}{273 + T} \right)$$

式中,F为甲烷排放通量(mg·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>);M为甲烷的摩尔质量(g);V为标准状态下1mol甲烷气体的体积(L);H为静态箱高度;dc/dt为单位时间采气箱内甲烷气体浓度的变化率(μmol·mol<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>);T为静态箱内温度(°C)。

在水稻收获期,采集CK、Fe I、Fe II和Fe III样地0—30 cm稻田土壤,并测定土壤三价铁、有效硅和有效钙含量。与此同时,测定水稻产量特征。

## 1.3 数据处理

应用Excel 2003和SPSS 13.0统计分析软件对测定数据进行整理。原始数据的平均值及标准差的计算采用Excel 2003,甲烷产生、氧化与排放的测定数据为9:00与12:00测定结果的平均值,采用SPSS 13.0中One-Way ANOVA对不同炉渣施加量比例下稻田甲烷产生、氧化与排放的差异性进行检验,显著性水平小于0.05表示差异性显著,小于0.01表示差异性极显著。

## 2 结果分析

### 2.1 铁炉渣对稻田甲烷产生过程的影响

稻田CK、Fe I、Fe II和Fe III样地甲烷产生量依次为0.06—8.87 mg·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>、0.12—8.28 mg·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>、0.15—7.84 mg·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>和0.17—7.82 mg·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>,平均产生量分别为4.68 mg·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>、3.92 mg·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>、3.14 mg·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>和2.76 mg·m<sup>-2</sup>·h<sup>-1</sup>,各处理之间差异显著( $P<0.05$ ),甲烷产生量表现为CK>Fe I>Fe II>Fe III。

Ⅲ, Fe I、Fe II 和 Fe III 样地甲烷产生量分别减少了 16%、33% 和 41%。铁炉渣施加后明显减少了稻田甲烷的产生量( $P<0.05$ ),但甲烷产生量的季节变化规律并未因铁炉渣的施加而改变(图 2),3 种处理样地甲烷产生量均在第 71 天达到最高值,水稻收割前后迅速降低。

## 2.2 铁炉渣对稻田甲烷氧化过程的影响

稻田 CK、Fe I、Fe II 和 Fe III 样地甲烷氧化量分别是  $0.02\text{--}1.27$ 、 $0.09\text{--}0.95$ 、 $0.09\text{--}1.54$ 、 $0.09\text{--}2.79$   $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ , 平均氧化量为  $0.46$ 、 $0.47$ 、 $0.59$ 、 $0.55$   $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ 。Fe I、Fe II 和 Fe III 样地甲烷氧化量分别提高了 4.4%、9.9% 和 2.3%。可见,铁炉渣的施加一定程度上提高了稻田甲烷的氧化量,与对照相比,差异显著( $P<0.05$ )。从水稻整个生长季节来看,铁炉渣施加后水稻生长期大部分时间段(1—71 d)增加了甲烷的氧化量,水稻生长后期及收割以后(78—92 d)表现不明显(图 3)。

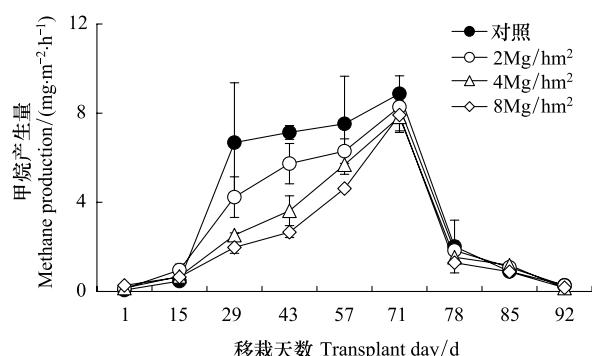


图 2 稻田甲烷产生量

Fig. 2 Methane production rate in paddy fields

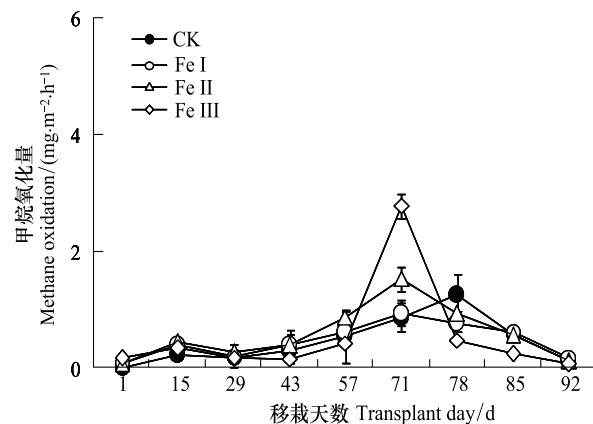


图 3 稻田甲烷氧化量

Fig. 3 Methane oxidation in paddy fields

## 2.3 铁炉渣对稻田甲烷排放的影响

甲烷的排放量在移栽后 15 d 内很低,之后明显增加。CK、Fe I、Fe II 和 Fe III 样地甲烷排放通量分别为  $0.04\text{--}7.99$ 、 $0.03\text{--}7.33$ 、 $0.06\text{--}6.30$ 、 $0.08\text{--}5.12$   $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ , 平均值分别为  $3.11$ 、 $2.29$ 、 $1.76$  和  $1.59$   $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ , 各处理之间差异显著( $P<0.05$ ),其中,2、4 和  $8 \text{ mg}\cdot\text{hm}^{-2}$  铁炉渣施加使土壤甲烷排放分别减少了 26.4%、43.3%、48.9%,从水稻整个生长期来看,铁炉渣施加后明显减少了稻田甲烷排放( $P<0.05$ ,图 4)。

## 2.4 铁炉渣对稻田土壤肥力和水稻产量的影响

稻田 CK、Fe I、Fe II 和 Fe III 样地在水稻收获阶段的产量与土壤理化特征见表 1。因为铁炉渣中含有  $\text{CaO}$ 、 $\text{SiO}_2$  和  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , 其组分分别达到 34.9%、40.7% 和 4.8%, 其施加到稻田后, 稻田土壤的速效钙、速效硅和三价铁含量也不同程度的提高(表 1), 稻田土壤养分的增加进而改善水稻产量特征。

## 3 结论与讨论

铁炉渣施加后,甲烷产生量下降,氧化量提高,并最终导致甲烷排放的降低。铁炉渣施加减少了甲烷的产生量可能是由于铁炉渣的施加增加了土壤中铁的含量,作为重要的电子受体的铁的增加一定程度上抑制了甲烷的产生过程,主要是通过以下几种机制来影响甲烷的产生,第一,铁电子受体将底物的浓度降低到甲烷产生菌不能利用的程度<sup>[12]</sup>;第二,铁电子受体将氧化还原电位提高到了超过甲烷产生菌的适应范围<sup>[13-14]</sup>;第三,铁电子受体对甲烷产生菌的毒害作用<sup>[15]</sup>;第四,铁电子受体的还原菌组群与产甲烷菌竞争乙酸和电子供体<sup>[16]</sup>。

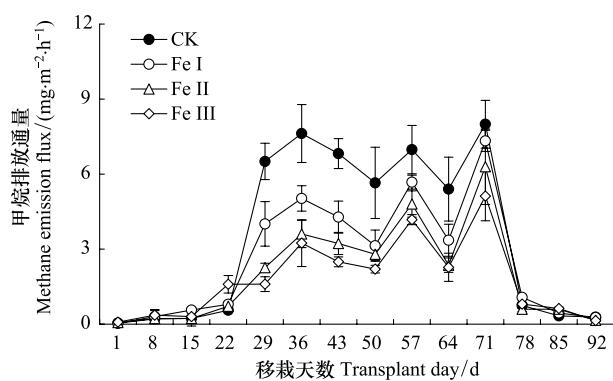


图 4 稻田甲烷排放季节变化

Fig. 4 Seasonal methane emission in paddy fields

此外,曲东等<sup>[17]</sup>研究表明,外源铁的添加可促进原有土壤铁的还原过程,这将使得本研究中铁炉渣的施加后,对甲烷产生底物的竞争从速度与数量两方面都得到了加强。与此同时,本研究中铁炉渣施加对甲烷产生的抑制作用表现出随着水稻植株的生长而增强,这可能与外源底物(如本研究中水稻根系分泌物、脱落物)的输入促进铁的还原,从而强化对甲烷产生的抑制作用有关<sup>[17]</sup>。

表1 收获阶段水稻产量与土壤理化特征

Table 1 Rice yield and soil chemical properties at the harvesting stage

指标 Index	对照 Control	2 Mg/hm <sup>2</sup>	4 Mg/hm <sup>2</sup>	8 Mg/hm <sup>2</sup>
水稻产量 Rice production /t/hm <sup>2</sup>	8.1	8.2	8.3	8.4
千粒重 1000 grains weigh/g	24.0	24.2	24.3	24.4
土壤速效钙 Soil available calcium /( cmol/kg)	0.03	0.04	0.05	0.06
土壤速效硅 Soil available silicon/( mg/kg)	254	485	764	1232
土壤三价铁 Soil ferric/( g/kg)	3.2	4.7	6.0	8.8

铁炉渣施加对甲烷氧化的影响可能是由于,铁炉渣颗粒物质的施加,使得土壤的容重降低,孔隙度增加,大气环境的氧气进入量可能有所提高,也与铁炉渣中富含硅,使得根系的泌氧活性增强有关<sup>[6]</sup>。此外,新近的研究表明,铁可以作为电子受体在厌氧环境下以甲烷作为电子供体,发生还原作用<sup>[18]</sup>,依此看来,甲烷发生厌氧氧化也可能是铁炉渣施加后稻田甲烷氧化量升高的原因之一。

从本研究中铁炉渣施加对稻田甲烷的减排效果看,明显高于 Ali<sup>[6-7]</sup>等在韩国同等施加量的甲烷减排效果,这可能是由于本研究观测期内温度高于 Ali 等研究导致的,正如 Lovley<sup>[16]</sup>在土壤培养实验中发现,三价铁还原的最适温度为 32—41 ℃,在这个范围内,三价铁还原速率较快,而在高于或低于这个温度时,三价铁还原速率较慢。福建稻田生长期温度范围基本维持在这个铁还原的最适温度范围,而在韩国水稻生长季的温度很难一直维持在这个温度范围,由此可见,温度高低导致的对铁还原速率差异决定了本研究减排效果高于在北方温带地区的研究结果。

综上所述,铁炉渣的施加可以有效减少稻田甲烷排放,与此同时还可提高水稻产量,因此,从本研究的初步研究结果看,铁炉渣可作为一种有效地甲烷减排和水稻产量提高的改良剂。当然,其有效性与持续效应还有待于今后进一步开展更为深入的研究。

**致谢:**野外采样和室内样品分析工作得到了福建省农业科学研究院水稻研究所郑家团研究员、张林研究员、福建师范大学马永跃、章文龙、何清华、张子川、杨平、张永勋同学的帮助,特此致谢。

#### References:

- [ 1 ] IPCC. Changes in atmospheric constituents and in radioactive forcing // Climate Change: the Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- [ 2 ] Wuebbles D J, Hayhoe K. Atmospheric methane and global change. Earth-Science Reviews, 2002, 57(3/4): 177-210.
- [ 3 ] Minamikawa K, Sakain N. The practical use of water management based on soil redox potential for decreasing methane emission from a paddy field in Japan. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2006, 116(3/4): 181-188.
- [ 4 ] Jäckel U, Russo S, Schnell S. Enhanced iron reduction by iron supplement: a strategy to reduce methane emission from paddies. Soil Biology and Biochemistry, 2005, 37(11): 2150-2154.
- [ 5 ] Neubauer S C, Toledo-Durán G E, Emerson D, Megonigal P. Returning to their roots: iron-oxidizing bacteria enhance short-term plaque formation in the wetland-plant rhizosphere. Geomicrobiology Journal, 2007, 24(1): 65-73.
- [ 6 ] Ali M A, Lee C H, Kim P J. Effect of silicate fertilizer on reducing methane emission during rice cultivation. Biology and Fertility of Soils, 2008, 44(4): 597-604.
- [ 7 ] Ali M A, Oh J H, Kim P J. Evaluation of silicate iron slag amendment on reducing methane emission from flood water rice farming. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2008, 128(1/2): 21-26.
- [ 8 ] Chen S L. A brief analysis on geothermy in the Nantai Isle of Fuzhou Municipality. Geology of Fujian, 2009, 28(4): 310-314.

- [ 9 ] Han L Z, Hou M L, Wu K M, Peng Y F, Wang F. Lethal and sub-lethal effects of transgenic rice containing cry1Ac and CpTI genes on the pink stem borer. *Scientia Agricultura Sinica*, 2009, 42(2) : 523-531.
- [ 10 ] Zhang S B, Wu H C, Zhang L. Technical system of mechanization in rice cultivation. *Fujian Agricultural Science and Technology*, 2007, (4) : 73-74.
- [ 11 ] Ding W X, Cai Z C, Tsuruta H. Summertime variation of methane oxidation in the rhizosphere of a *Carex* dominated freshwater marsh. *Atmospheric Environment*, 2004, 38(25) : 4165-4173.
- [ 12 ] Achtnich C, Bak F, Conrad R. Competition for electron donors among nitrate reducers, ferric iron reducers, sulfate reducers and methanogens in anoxic paddy soil. *Biology and Fertility of Soils*, 1995, 19(1) : 65-72.
- [ 13 ] Peters V, Conrad R. Sequential reduction processes and initiation of CH<sub>4</sub> production upon flooding of oxic upland soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 1996, 28(3) : 371-382.
- [ 14 ] Jakobsen P, Patrick W H Jr, Williams B G. Sulfide and methane formation in soils and sediments. *Soil Science*, 1981, 132(4) : 279-287.
- [ 15 ] Chidthaisong A, Conrad R. Turnover of glucose and acetate coupled to reduction of nitrate, ferric iron and sulfate and to methanogenesis in anoxic ricefield soil. *FEMS Microbiology Ecology*, 2000, 31(1) : 73-86.
- [ 16 ] Lovley D R. Dissimilatory Fe(III) and Mn(IV) reduction. *Microbiological Reviews*, 1991, 55(2) : 259-287.
- [ 17 ] Qu D, Mao H, Zeng C. Effect of chromate, ferrihydrite and glucose on dissimilatory Fe( III) reduction in paddy soil. *Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry: Natural Science Edition*, 2004, 32(10) : 43-46.
- [ 18 ] Beal E J, House C H, Orphan V. Manganese-and-iron-dependent marine methane oxidation. *Science*, 2009, 325(5937) : 184-187.

#### 参考文献:

- [ 8 ] 陈世亮. 福州南台岛地热前景浅析. *福建地质*, 2009, 28(4) : 310-314.
- [ 9 ] 韩兰芝, 侯茂林, 吴孔明, 彭于发, 王峰. 转 cry1Ac + CpTI 基因水稻对大螟的致死和亚致死效应. *中国农业科学*, 2009, 42(2) : 523-531.
- [ 10 ] 张数标, 吴华聪, 张琳. 水稻耕种作业机械化技术体系研究. *福建农业科技*, 2007, (4) : 73-74.
- [ 17 ] 曲东, 毛晖, 曾辰. 添加铬、铁及葡萄糖对土壤中异化铁还原的影响. *西北农林科技大学学报: 自然科学版*, 2004, 32(10) : 43-46.

**ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 5 March, 2013 (Semimonthly)**  
**CONTENTS**

**Frontiers and Comprehensive Review**

- The effect of nitrogen deposition on forest soil organic matter and litter decomposition and the microbial mechanism ..... WANG Jingyuan, ZHANG Xinyu, WEN Xuefa, et al (1337)  
Advances and the effects of industrial hemp for the cleanup of heavy metal pollution ..... LIANG Shumin, XU Yanping, CHEN Yu, et al (1347)  
A review for evaluating the effectiveness of BMPs to mitigate non-point source pollution from agriculture ..... MENG Fande, GENG Runzhe, OU Yang, et al (1357)  
Progresses in dendrochronology of shrubs ..... LU Xiaoming, LIANG Eryuan (1367)

**Autecology & Fundamentals**

- The characteristics of nocturnal sap flow and stem water recharge pattern in growing season for a *Larix principis-rupprechtii* plantation ..... WANG Yanbing, DE Yongjun, XIONG Wei, et al (1375)  
Effects of soil drought stress on photosynthetic characteristics and antioxidant enzyme activities in *Hippophae rhamnoides* Linn. seedlings ..... PEI Bin, ZHANG Guangcan, ZHANG Shuyong, et al (1386)  
Diurnal activity time budget of Père David's deer in Hubei Shishou Milu National Nature Reserve, China ..... YANG Daode, LI Zhuyun, LI Pengfei, et al (1397)  
Sublethal effects of three insecticides on the reproduction and host searching behaviors of *Sclerodermus sichuanensis* Xiao (Hymenoptera: Bethyidae) ..... YANG Hua, YANG Wei, YANG Chunping, et al (1405)

**Population, Community and Ecosystem**

- Seasonal succession of zooplankton in Sansha Bay, Fujian ..... XU Jiayi, XU Zhaoli (1413)  
Biomass production and litter decomposition of lakeshore plants in Napahai wetland, Northwestern Yunnan Plateau, China ..... GUO Xuhu, XIAO Derong, TIAN Kun, et al (1425)  
The flora and species diversity of herbaceous seed plants in wetlands along the Xin'anjiang River from Anhui ..... YANG Wenbin, LIU Kun, ZHOU Shoubiao (1433)  
Spatial-temporal variation of root-associated aerobic bacterial communities of *phragmites australis* and the linkage of water quality factors in constructed wetland ..... XIONG Wei, GUO Xiaoyu, ZHAO Fei (1443)  
Temporal dynamics and influencing factors of leaf respiration for three temperate tree species ..... WANG Zhaoguo, WANG Chuankuan (1456)  
Environmental controls on water use efficiency of a poplar plantation under different soil water conditions ..... ZHOU Jie, ZHANG Zhiqiang, SUN Ge, et al (1465)  
An analysis of calcium components of *Artemisia ordosica* plant on sandy lands in different ecological regions ..... XUE Pingping, GAO Yubao, HE Xingdong (1475)  
Effects of alpine meadow plant communities on soil nematode functional structure in Northern Tibet, China ..... XUE Huiying, HU Feng, LUO Daqing (1482)  
Soil fauna diversity of abandoned land in a copper mine tailing area ..... ZHU Yongheng, SHEN Fei, YU Jian, et al (1495)  
Effects of ciprofloxacin on microbial biomass carbon and carbon metabolism diversity of soil microbial communities ..... MA Yi, PENG Jinju, WANG Yun, et al (1506)  
Estimation of ecological water demands based on ecological water table limitations in the lower reaches of the Liaohe River Plain, China ..... SUN Caizhi, GAO Ying, ZHU Zhengru (1513)

**Landscape, Regional and Global Ecology**

- The ecological security patterns and construction land expansion simulation in Gaoming ..... SU Yongxian, ZHANG Hong'ou, CHEN Xiuzhi, et al (1524)  
Root features of typical herb plants for hillslope protection and their effects on soil infiltration ..... LI Jianxing, HE Binghui, CHEN Yun (1535)

- The dynamic change of the thermal environment landscape patterns in Beijing, Shanghai and Guangzhou in the recent past decade ...  
..... MENG Dan, WANG Mingyu, LI Xiaojuan, et al (1545)
- Change trends and driving factors of base flow in Kuye River Catchment .....  
..... LEI Yongnan, ZHANG Xiaoping, ZHANG Jianjun, et al (1559)
- Photosynthetic characteristics, biomass allocation, C, N and P distribution of *Schima superba* seedlings in response to simulated  
nitrogen deposition ..... LI Mingyue, WANG Jian, WANG Zhenxing, et al (1569)
- Effect of iron slag adding on methane production, oxidation and emission in paddy fields .....  
..... WANG Weiqi, LI Pengfei, ZENG Congsheng, et al (1578)
- Resource and Industrial Ecology**
- Antioxidative system and chlorophyll fluorescence of *Zizania latifolia* Turcz. plants are affected by *Ustilago esculenta* infection .....  
..... YAN Ning, WANG Xiaoqing, WANG Zhidan, et al (1584)
- Analysis of cold-regulated gene expression of the Fingered Citron (*Citrus medica* L. var. *sarcodactylis* Swingle) .....  
..... CHEN Wenrong, YE Jiejun, LI Yongqiang, et al (1594)
- Hosts preference of *Echinothrips americanus* Morgan for different vegetables ... ZHU Liang, SHI Baocai, GONG Yajun, et al (1607)
- Induction effects of jasmonic acid on tannin content and defense-related enzyme activities in conventional cotton plants .....  
..... YANG Shiyong, WANG Mengmeng, XIE Jianchun (1615)
- Effects of irrigation with paper mill effluent on growth and nutrient status of *Populus tomentosa* seedlings .....  
..... WANG Ye, XI Benye, CUI Xiangdong, et al (1626)
- Water use efficiency of Jiangsu Province based on the data envelopment analysis approach .....  
..... ZHAO Chen, WANG Yuan, GU Xueming, et al (1636)
- Research Notes**
- Characteristics of precipitation distribution in *Pinus tabulaeformis* plantations under different canopy coverage in Taiyue Mountain .....  
..... ZHOU Bin, HAN Hairong, KANG Fengfeng, et al (1645)
- Driving factor analysis on the vegetation changes derived from the Landsat TM images in Beijing ..... JIA Baoqun (1654)
- Effects of *Mikania micrantha* wilt virus infection on photosynthesis and the activities of four enzymes in *Mikania micrantha* H. B. K. ....  
..... WANG Rui long, PAN Wanwen, YANG Jiaoyu, et al (1667)

# 《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于1981年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科研工作者,探索自然奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科研人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大16开本,300页,国内定价90元/册,全年定价2160元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路18号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

## 生态学报

(SHENTAI XUEBAO)

(半月刊 1981年3月创刊)

第33卷 第5期 (2013年3月)

## ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 5 (March, 2013)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路18号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	王如松
主 管	中国科学技术协会
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路18号 邮政编码:100085
出 版	科学出版社 地址:北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717
印 刷	北京北林印刷厂
发 行	科学出版社 地址:东黄城根北街16号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局
国 外 发 行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京399信箱 邮政编码:100044
广 告 经 营	京海工商广字第8013号
许 可 证	

Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn
Editor-in-chief	WANG Rusong
Supervised by	China Association for Science and Technology
Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
Domestic	All Local Post Offices in China
Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China



ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元