

ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

# 生态学报

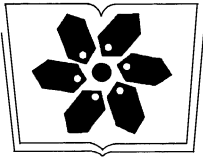
## Acta Ecologica Sinica



第33卷 第6期 Vol.33 No.6 **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

(SHENGTAI XUEBAO)

第 33 卷 第 6 期      2013 年 3 月 (半月刊)

## 目 次

### 专论与综述

- 基于遥感技术的森林健康研究综述..... 高广磊,信忠保,丁国栋,等 (1675)
- Agent 农业土地变化模型研究进展..... 余强毅,吴文斌,杨 鹏,等 (1690)

### 个体与基础生态

- 辽东湾北部近海沙蜃的动态分布..... 王 彬,秦宇博,董 婧,等 (1701)
- 口虾蛄 proPO 基因全长 cDNA 的克隆与组织表达..... 刘海映,刘连为,姜玉声,等 (1713)
- 中缅树鼯头骨及下臼齿几何形态与环境的关系..... 朱万龙,贾 婷,黄春梅,等 (1721)
- 亚热带 3 种树种凋落叶厚度对其分解速率及酶活性的影响..... 季晓燕,江 洪,洪江华,等 (1731)
- 浙北地区常见绿化树种光合固碳特征..... 张 娇,施拥军,朱月清,等 (1740)
- 两种高质牧草不同生育期光合生理日变化及光响应特征..... 郭春燕,李晋川,岳建英,等 (1751)
- 基于 WOFOST 作物生长模型的冬小麦干旱影响评估技术..... 张建平,赵艳霞,王春乙,等 (1762)
- 基于线粒体 DNA 控制区的斑翅草螽不同地理种群遗传分化研究..... 周志军,尚 娜,刘 静,等 (1770)
- 圈养尖吻蝾雌体大小、窝卵数和卵大小之间的关系..... 胡明行,谭群英,杨道德 (1778)
- 应用寄生蜂和不育雄虫防控田间橘小实蝇..... 郑思宁,黄居昌,叶光禄,等 (1784)
- 青蒿素对外生菌根真菌化感效应..... 李 倩,袁 玲,王明霞,等 (1791)

### 种群、群落和生态系统

- 海湾生态系统健康评价方法构建及在大亚湾的应用..... 李纯厚,林 琳,徐姗姗,等 (1798)
- 上升流和水团对浙江中部近海浮游动物生态类群分布的影响..... 孙鲁峰,柯 昶,徐兆礼,等 (1811)
- 半干旱区生态恢复关键生态系统识别——以内蒙古自治区和林县为例..... 彭 羽,高 英,冯金朝,等 (1822)
- 太岳山油松人工林土壤呼吸对强降雨的响应..... 金冠一,赵秀海,康峰峰,等 (1832)
- 重庆酸雨区马尾松林凋落物特征及对干旱胁迫的响应..... 王轶浩,王彦辉,于澎湃,等 (1842)

### 景观、区域和全球生态

- 城市典型水域景观的热环境效应..... 岳文泽,徐丽华 (1852)
- 外来树种桉树引种的景观生态安全格局..... 赵筱青,和春兰 (1860)
- 基于耕地生态足迹的重庆市耕地生态承载力供需平衡研究..... 施开放,刁承泰,孙秀锋,等 (1872)
- 大气 CO<sub>2</sub> 浓度升高对稻田根际土壤甲烷氧化细菌丰度的影响..... 严 陈,许 静,钟文辉,等 (1881)

### 资源与产业生态

- 基于可变模糊识别模型的海水环境质量评价..... 柯丽娜,王权明,孙新国,等 (1889)
- 亚热带养殖海湾皱瘤海鞘生物沉积的现场研究..... 闫家国,齐占会,田梓杨,等 (1900)
- 黄土高原典型苹果园地深层土壤氮磷钾养分含量与分布特征..... 张丽娜,李 军,范 鹏,等 (1907)

旱作农田不同耕作土壤呼吸及其对水热因子的响应…………… 张丁辰,蔡典雄,代 快,等 (1916)

商洛低山丘陵区农林复合生态系统中大豆与丹参的光合生理特性…………… 彭晓邦,张硕新 (1926)

外源油菜素内酯对镉胁迫下菊芋幼苗光合作用及镉富集的调控效应…… 高会玲,刘金隆,郑青松,等 (1935)

基于侧柏液流的测定对 Granier 原始公式系数进行校正 …………… 刘庆新,孟 平,张劲松,等 (1944)

**研究简报**

湿地自然保护区保护价值评价方法…………… 孙 锐,崔国发,雷 霆,等 (1952)

干热河谷印楝和大叶相思人工林根系生物量及其分布特征…………… 高成杰,唐国勇,李 昆,等 (1964)

海滨沙滩单叶蔓荆对沙埋的生理响应特征…………… 周瑞莲,王 进,杨淑琴,等 (1973)

宁夏贺兰山、六盘山典型森林类型土壤主要肥力特征 …………… 姜 林,耿增超,张 雯,等 (1982)

**学术争鸣**

小兴安岭十种典型森林群落凋落物生物量及其动态变化…………… 侯玲玲,毛子军,孙 涛,等 (1994)

中国生态学会 2013 年学术年会征稿通知 …………… (2002)

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 \* 328 \* zh \* P \* ¥90.00 \* 1510 \* 34 \* 2013-03



**封面图说:** 亭亭玉立的白桦树——白桦为落叶乔木,可高达 25m,胸径 50cm。其树冠呈卵圆形,树皮白色,纸状分层剥离;叶三角状、卵形或菱状卵形;花单性,雌雄同株。白桦树喜光,耐严寒,对土壤适应性强,喜酸性土,沼泽地、干燥阳坡及湿润阴坡都能生长。常与红松、落叶松、山杨、蒙古栎混生。白桦的天然更新好,生长较快,萌芽强,在人为的采伐迹地或火灾、风灾等自然损毁的迹地里,往往由白桦首先进入,为先锋树种,而形成白桦次生林。白桦分布甚广,我国大、小兴安岭及长白山均有成片纯林,在华北平原和黄土高原山区、西南山地亦为阔叶落叶林及针叶阔叶混交林中的常见树种。

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/stxb201112131900

严陈, 许静, 钟文辉, 林毅, 林先贵, 朱建国, 贾仲君. 大气 CO<sub>2</sub> 浓度升高对稻田根际土壤甲烷氧化细菌丰度的影响. 生态学报, 2013, 33(6): 1881-1888.

Yan C., Xu J., Zhong W. H., Lin Y., Lin X. G., Zhu J. G., Jia Z. J. Effect of elevated CO<sub>2</sub> on methanotrophs in the rhizosphere of rice plant. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(6): 1881-1888.

## 大气 CO<sub>2</sub> 浓度升高对稻田根际土壤 甲烷氧化细菌丰度的影响

严 陈<sup>1,2</sup>, 许 静<sup>3</sup>, 钟文辉<sup>1,\*</sup>, 林 毅<sup>3</sup>, 林先贵<sup>2</sup>, 朱建国<sup>2</sup>, 贾仲君<sup>2</sup>

(1. 南京师范大学地理科学学院, 南京 210046; 2. 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008;

3. 安徽农业大学生命科学学院, 合肥 230036)

**摘要:** 甲烷氧化细菌是目前已知的稻田甲烷氧化唯一生物, 在减少稻田甲烷排放、降低大气甲烷浓度方面发挥着重要作用。利用中国稻/麦轮作 FACE (Free Air Carbon-dioxide Enrichment) 试验平台, 采用实时荧光定量 PCR 技术, 研究了大气 CO<sub>2</sub> 浓度升高下, 典型水稻生长期根际土壤甲烷氧化细菌数量的变化规律, 及其对不同施肥处理 (高氮 HN 和常氮 LN) 的响应。2009 和 2010 连续 2a 的观测结果表明, 大气 CO<sub>2</sub> 浓度升高促进了 2009 年秧苗期和分蘖期, 2010 年秧苗期、拔节期和灌浆期甲烷氧化细菌的生长; 并可能对 2010 年常氮条件下成熟期甲烷氧化细菌产生了较显著 ( $P < 0.1$ ) 抑制; 进一步针对甲烷氧化细菌主要类群的分析表明, 高氮条件下大气 CO<sub>2</sub> 浓度升高提高了稻田根际土壤中 I 型甲烷氧化细菌的丰度。

**关键词:** 大气 CO<sub>2</sub> 浓度升高, 稻田, 根际, 甲烷氧化细菌

### Effect of elevated CO<sub>2</sub> on methanotrophs in the rhizosphere of rice plant

YAN Chen<sup>1,2</sup>, XU Jing<sup>3</sup>, ZHONG Wenhui<sup>1,\*</sup>, LIN Yi<sup>3</sup>, LIN Xiangui<sup>2</sup>, ZHU Jianguo<sup>2</sup>, JIA Zhongjun<sup>2</sup>

1 School of Geography Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210046, China

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

3 Life Science School, Anhui Agriculture University, Hefei 230036, China

**Abstract:** Methane (CH<sub>4</sub>) is the second most important greenhouse gas. Flooded rice fields are a major source of atmospheric CH<sub>4</sub>, accounting for 5%—19% of total global emissions. Methanotrophs are the only known microorganisms that catalyze the oxidation of CH<sub>4</sub> produced in the rice fields and thus play an important role in attenuating the emissions of CH<sub>4</sub> into the atmosphere. Atmospheric CO<sub>2</sub> concentration has increased drastically and is predicted to double by the end of this century. This dramatic change in atmospheric CO<sub>2</sub> may have profound ecological consequence on biogeochemical cycles of key elements such as methane oxidation in rice fields. Free air CO<sub>2</sub> enrichment (FACE) is an ideal technique to assess ecosystem responses to the projected atmospheric CO<sub>2</sub> elevation by 2100 because it provides undisturbed field conditions and more reliable measurements than closed chambers with elevated CO<sub>2</sub>. The effect of elevated atmospheric CO<sub>2</sub> on microbial methane oxidation has been investigated mostly by traditional techniques such as most probable number (MPN), which may underestimate the changes in methanotrophic changes under elevated CO<sub>2</sub>. China-FACE was established in 2004 to investigate agricultural ecosystem response to simulated global change of rising atmospheric CO<sub>2</sub>, and could approach the *in situ* conditions as much as possible for investigating the microbial mechanisms underlying methane oxidation changes under

基金项目: 中国科学院项目百人计划 (KZCX2-YW-BR-06)

收稿日期: 2011-12-13; 修订日期: 2012-07-17

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhongwenhui@njnu.edu.cn

elevated CO<sub>2</sub>. The rhizospheric soils at different rice growing seasons were collected to quantify the changes in methanotrophic populations using real-time quantitative PCR of *pmoA* genes of type Ia, type Ib and total methanotrophs. Pairwise comparison demonstrated positive responses of methanotrophic population size to elevated CO<sub>2</sub> at most stages of rice growing seasons. Total methanotrophs abundance were stimulated at the seedling and tillering stages in 2009, and seedling, jointing and grain filling stages in 2010 regardless of the application rates of nitrogenous fertilizer. In 2009, the total methanotrophs abundance was elevated at the ripening stage and declined at the flowering stage under high application rate of nitrogenous fertilizer, while the reverse trend was observed with regard to the low application rate of nitrogenous fertilizer. This implies that the availability of nitrogenous fertilizers might have intensified the response of methanotrophic populations to elevated CO<sub>2</sub> in rice field. A significant decline ( $P < 0.1$ ) in total methanotrophic population was observed at the ripening stage in 2010, suggesting that the elevated CO<sub>2</sub> inhibits the growth of methanotrophs under certain conditions. The consistent response to elevated CO<sub>2</sub> was observed for both type Ia and total methanotrophic population during rice growing seasons except for the tillering stage under low application rate of nitrogenous fertilizer in 2009. Type Ib methanotrophic abundance was increased at most rice growing stages except for the grain filling stage under high application rate of nitrogenous fertilizer and the ripening stage under low application rate of nitrogenous fertilizer in 2010. Furthermore, high application rate of nitrogenous fertilizer further stimulated the abundance of type I methanotrophs under elevated CO<sub>2</sub>. This result implies that intensive fertilization appeared to favor the growth of type I rather than type II methanotrophs under elevated CO<sub>2</sub> condition. The results of this study suggested that the rising CO<sub>2</sub> concentration in the atmosphere may affect the community structure of methanotrophs, which could ultimately alter the biogeochemical methane cycling in rice fields.

**Key Words:** elevated CO<sub>2</sub>, rice field, rhizosphere of rice plant, methanotrophs

甲烷是一种重要温室气体,虽然大气甲烷浓度远低于 CO<sub>2</sub>,但是其增温效能是 CO<sub>2</sub> 的 21 倍,增温贡献率达 17% 之多。稻田是大气甲烷的重要源,对大气甲烷的贡献率约为 5.3%—19.2%<sup>[1]</sup>。稻田产生的甲烷在进入大气之前,可能高达 90% 的甲烷被甲烷氧化细菌所氧化<sup>[2-4]</sup>。因此,甲烷氧化细菌在减少稻田甲烷排放、减缓全球变暖过程中发挥着重要作用<sup>[5-6]</sup>。甲烷氧化细菌(Methanotrophs)是一类以甲烷为主要碳源和能源的微生物<sup>[7]</sup>,根据其形态、膜结构、代谢途径等可将甲烷氧化细菌分为 I 型(type I)和 II 型(type II)两大类群, I 型甲烷氧化细菌又可分为 Ia 型(type Ia)和 Ib 型(type Ib)两个类群<sup>[8-9]</sup>。这两类甲烷氧化细菌广泛分布于水稻根际环境<sup>[10-12]</sup>。目前已知的甲烷氧化细菌几乎都含有甲烷单加氧酶 *pmoA* 基因<sup>[13]</sup>,基于 *pmoA* 基因的甲烷氧化细菌分类与经典的 16S rRNA 基因系统发育进化关系基本一致,因此,*pmoA* 作为靶标基因,被广泛应用于甲烷氧化细菌的分子生态学研究<sup>[14-16]</sup>。

工业化进程使大气 CO<sub>2</sub> 浓度自工业革命以来增加了近 100 μL/L,到本世纪中期可能会从现在的 380 μL/L 左右增长到 450—550 μL/L<sup>[1]</sup>。研究表明大气 CO<sub>2</sub> 浓度升高可能导致稻田甲烷排放量升高,进而放大温室效应<sup>[17-19]</sup>,而甲烷氧化是稻田甲烷排放过程中至关重要的一环,研究大气 CO<sub>2</sub> 浓度升高对稻田甲烷氧化细菌的影响具有重要意义。一般认为土壤中 CO<sub>2</sub> 浓度是大气中 CO<sub>2</sub> 浓度的 10—50 倍,最高可达 50000 μL/L,理论上大气 CO<sub>2</sub> 浓度升高 200 μL/L 很难直接改变土壤微生物群落结构<sup>[20-21]</sup>,但已有证据清楚表明大气 CO<sub>2</sub> 浓度升高促进植物光合作用,增加的植物根系生物量,根系分泌物代谢及土壤理化性质等因素的变化极可能间接影响稻田根际土壤微生物。根际环境是稻田甲烷氧化的主要微域,大气 CO<sub>2</sub> 浓度升高下可能对根际土壤中甲烷氧化细菌的丰度产生一定的影响,进而改变稻田土壤的甲烷氧化过程及稻田甲烷排放量。然而,目前针对大气 CO<sub>2</sub> 浓度升高对稻田甲烷氧化细菌影响的研究报道较少<sup>[22-23]</sup>,稻田根际土壤甲烷氧化细菌数量及其主要类群对大气 CO<sub>2</sub> 浓度升高的响应与适应规律仍不清楚。本文依托中国稻/麦轮作 FACE 试验平台,以甲烷氧化细菌的甲烷单加氧酶编码基因 *pmoA* 为靶标,通过实时荧光定量 PCR 技术,研究了大气 CO<sub>2</sub> 浓度升高下,2009 年和 2010 年典型水稻生长期根际土壤甲烷氧化细菌数量的变化规律及其对不同施氮水平(高氮

HN 和常氮 LN) 的响应。

## 1 材料与方 法

### 1.1 FACE 试验站概况

中国 FACE 试验平台位于中国江苏扬州宗村良种场(119°42'0"E, 32°35'5"N)。该试验站为当地典型的单季稻-麦轮作方式。具体的土壤性质,气候条件以及田间管理方式已有详细报道<sup>[22]</sup>。扬州的中国 FACE 试验平台建于 2004 年,FACE 系统的田间试验区由 6 个对边距为 12.5 m 的八角形试验圈构成,其中 3 个 FACE 处理圈内 CO<sub>2</sub> 浓度比另 3 个 Ambient 对照处理圈内 CO<sub>2</sub> 浓度高 200 μL/L。FACE 和 Ambient 圈随机分布且在相邻两圈之间设有缓冲区<sup>[24]</sup>。

### 1.2 试验设计及采样情况

每个圈内包括高氮(HN, 250 kg/hm<sup>2</sup>)和常氮(LN, 150 kg/hm<sup>2</sup>)两种试验处理小区。供试水稻为五香梗 14,移栽密度为 24 穴/m<sup>2</sup>,3 株/穴。本试验为期 2a,如表 1 所示,采集 2009 和 2010 年典型水稻生长期(2a 间部分采样时期略有差别)根际土壤。2009 年采用根袋法取样,即将水稻移栽至特制尼龙网中(孔径 75 μm,深 30 cm,直径 12 cm,营养物质、水可以正常通过而根系无法穿透),在不同水稻生长期连同植株一起取出根袋,抖落非根际土壤后,尽量采集靠近水稻根系的土壤作为根际土壤。2010 年采样方法类似,但因 FACE 试验平台空间有限,根袋体积较小,可能限制水稻植株生长,未采用根袋。秧苗期使用土钻(直径 4 cm)采取 0—10 cm 土壤,其余生长期从各处理中取出 2 穴水稻收集根际土壤,所有土样采集后立即混匀保存于 4℃ 运回实验室。具体采样信息见表 1。

表 1 2009 年及 2010 年水稻季采样信息

Table 1 Sampling at typical rice growing season in 2009 and 2010

2009 年				2010 年			
采样日期 Sampling date	移栽天数 Days after transplanting	所处生长期 Growth Stage	水分管理 Water regime	采样日期 Sampling date	移栽天数 Days after transplanting	所处生长期 Growth Stage	水分管理 Water regime
6 月 23 日	6	秧苗期	淹水	6 月 20 日	0	秧苗期	淹水
7 月 15 日	28	分蘖期	搁田	8 月 4 日	45	拔节期	搁田
9 月 2 日	77	扬花期	淹水	9 月 16 日	88	灌浆期	淹水
10 月 17 日	122	成熟期	搁田	10 月 26 日	128	成熟期	搁田

### 1.3 DNA 提取及甲烷氧化细菌 *pmoA* 基因定量

准确称取 0.5 g 新鲜土样,根据 FastDNA spin Kit for soil(MP Biomedicals, USA)试剂盒操作步骤提取总土壤微生物基因组总 DNA,并采用 50 μL TE buffer 洗脱 DNA 两次。取 5 μL 通过琼脂糖凝胶电泳检验提取效果,并将所有 DNA 样品用 TE buffer 稀释 10 倍后通过 Nanodrop ND-1000 测定浓度。如表 2 所示,利用甲烷氧化细菌 *pmoA* 标靶基因的特异引物<sup>[14, 25]</sup>,实时荧光定量 PCR 分析(CFX96 Optical Real-Time Detection System, Bio-Rad)稻田根际土壤中总甲烷氧化细菌(Total)、I a 型甲烷氧化细菌及 I b 型甲烷氧化细菌的数量。

表 2 甲烷氧化细菌实时荧光定量分析引物信息

Table 2 Primers for real-time quantitative PCR of methanotrophic *pmoA* genes

引物 Primer	序列 5'-3' Sequence (5'-3')	片段长度 Fragment length	检测目标 Targeted microbe
A189 F/Mb661 R	GGNGACTGGGACTTCTGG/GGTAARGACGTTGCNCCGG	491	Total
A189 F/Mb601 R	GGNGACTGGGACTTCTGG/ACRTAGTGCTAACCTTGYYAA	432	Type I a
A189 F/Mc468 R	GGNGACTGGGACTTCTGG/GCSGTGAACAGGTAGCTGCC	299	Type I b

为有效降低土壤 DNA 中腐殖酸等因素对实时荧光定量 PCR 的可能影响,随机选择 5 个样品 DNA 进行梯度稀释并定量其 *pmoA* 基因拷贝数,确定没有扩增抑制的最小稀释倍数(50 倍)开展后续定量分析。标准曲

线通过如下方式制备:以土壤 DNA 为模板,利用表 2 中的特异引物获得 PCR 产物并制备含有目标 *pmoA* 基因的克隆,进一步提取含有相应克隆子的质粒 DNA 并作 10 倍梯度稀释。定量 PCR 体系依据 SYBR *Premix Ex Taq*<sup>TM</sup> Kit (TaKaRa) 试剂盒说明配制,每个 25  $\mu$ L 反应体系中含 2  $\mu$ L 土壤微生物 DNA 模板,阴性对照为灭菌重蒸水。PCR 产物经熔解曲线 (Melting curve analysis) 和琼脂糖电泳验证其专一性和有效性。

#### 1.4 统计分析

所有数据均采用 Excel 2003 和 SPSS 16.0 进行处理分析,FACE 处理与 Ambient 处理之间平均值的差异采用 one-way ANOVA 单因素方差分析, $P < 0.05$  表示显著差异, $P < 0.1$  表示较显著差异。

## 2 结果与分析

### 2.1 大气 CO<sub>2</sub> 浓度升高对稻田根际土壤甲烷氧化细菌数量的影响

2009 年及 2010 年典型水稻生长期稻田根际土壤甲烷氧化细菌 *pmoA* 基因定量结果表明,2009 年 4 种处理中 Total、I a 型、I b 型甲烷氧化细菌的丰度通常在扬花期达到最大值,2010 年在灌浆期达到最大值(图 1)。统计分析表明:2009 年高氮(HN)条件下,除扬花期外,大气 CO<sub>2</sub> 浓度升高促进了甲烷氧化细菌丰度(Total)的增加(图 2),且在秧苗期和分蘖期达到显著水平( $P < 0.05$ ),增幅分别为 41% 和 48%。I a 型甲烷氧化细菌数量的响应趋势与甲烷氧化细菌总量的响应趋势一致。I b 型甲烷氧化细菌的数量在每个时期均有所增加。

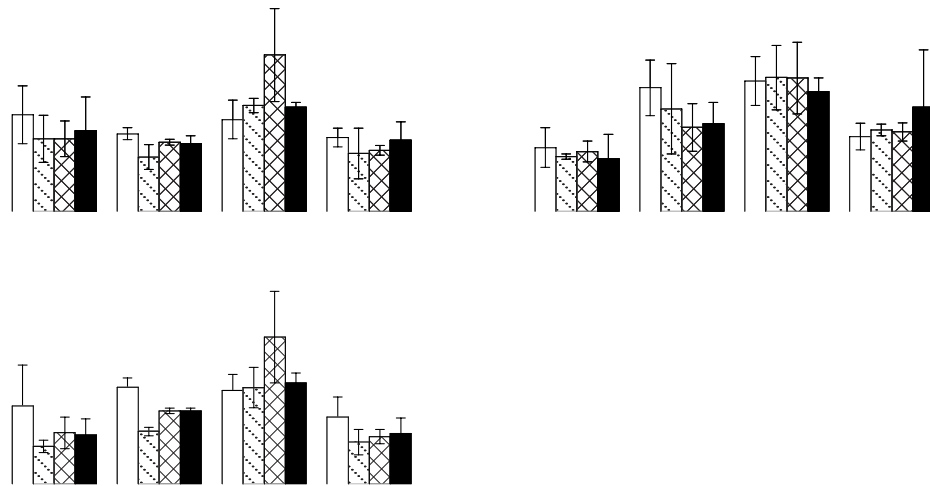


图 1 2009 年、2010 年典型水稻生长期稻田根际土壤甲烷氧化细菌 *pmoA* 基因拷贝数

Fig. 1 *PmoA* gene copy number of rhizospheric soil in typical paddy growth stages

2009 年常氮(LN)条件下,除成熟期外,大气 CO<sub>2</sub> 浓度升高促进了甲烷氧化细菌总量的增加,且在扬花期达到显著水平( $P < 0.1$ ),增幅达 50%。其中 I a 型甲烷氧化细菌数量在秧苗期和扬花期受大气 CO<sub>2</sub> 浓度升高影响而增加,而在分蘖期和成熟期略有减少( $< 1.0\%$ ); I b 型甲烷氧化细菌数量在大气 CO<sub>2</sub> 浓度升高条件

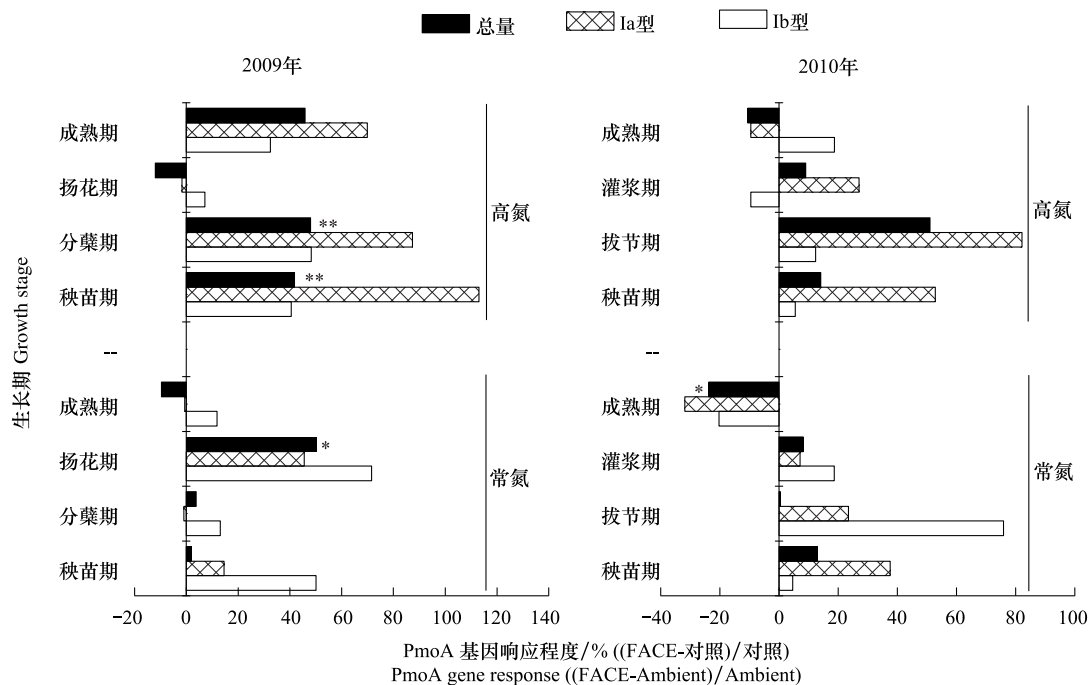


图2 大气 CO<sub>2</sub> 浓度升高对稻田根际土壤甲烷氧化细菌 *pmoA* 基因拷贝数的影响

Fig. 2 Effect of elevated CO<sub>2</sub> on *pmoA* genes copy number in rhizospheric soil

★★表示  $P < 0.05$ , ★表示  $P < 0.1$

均有所增加。对比分析两种施氮条件下结果发现:(1)甲烷氧化细菌总量在扬花期和成熟期对 CO<sub>2</sub> 浓度升高的响应趋势在不同施氮条件下相反,在秧苗期及分蘖期趋势一致;(2)除秧苗期外,各生长期 I a 型甲烷氧化细菌数量对 CO<sub>2</sub> 浓度升高的响应趋势在不同施氮条件下相反;(3)在两种施氮条件下 CO<sub>2</sub> 浓度升高均促进了 I b 型甲烷氧化细菌的生长。

2010 年高氮(HN)条件下,除成熟期外,大气 CO<sub>2</sub> 浓度升高促进了甲烷氧化细菌总量的增加。I a 型甲烷氧化细菌数量的响应趋势与甲烷氧化细菌总量的趋一致, I b 型甲烷氧化细菌数量除灌浆期以外的各时期均受大气 CO<sub>2</sub> 浓度升高影响有所增加。

统计分析表明:2010 年常氮(LN)条件下,除成熟期显著减小(-24%,  $P < 0.1$ )外,大气 CO<sub>2</sub> 浓度升高促进了甲烷氧化细菌总量的增加。I a 型、I b 型甲烷氧化细菌数量的响应趋势与甲烷氧化细菌总量的趋势一致。通过对比分析两种施氮条件下大气 CO<sub>2</sub> 浓度升高对稻田根际甲烷氧化细菌数量的影响发现:(1)两种施氮条件下,大气 CO<sub>2</sub> 浓度升高对各水稻生长期根际土壤甲烷氧化细菌总量及 I a 型甲烷氧化细菌数量的影响趋势一致;(2) I b 型甲烷氧化细菌在秧苗期和拔节期对大气 CO<sub>2</sub> 浓度升高的响应趋势在两种施氮条件下一致,在灌浆期和成熟期相反。

## 2.2 大气 CO<sub>2</sub> 浓度升高对稻田根际土壤甲烷氧化细菌主要类群的影响

一般认为,甲烷氧化细菌主要由 I 型和 II 型两类群组成,本文通过分析 I 型甲烷氧化细菌数量的变化规律初步推测大气 CO<sub>2</sub> 浓度升高对稻田根际土壤甲烷氧化细菌主要类群的影响。

2009 年所采集样品中,高氮(HN)条件下,大气 CO<sub>2</sub> 浓度升高提高了 I 型甲烷氧化细菌的丰度(图 3), FACE 处理条件下各时期增幅分别为 6.8%, 8.4%, 4.3% 和 3.3%,其中秧苗期差异显著( $P < 0.05$ )。常氮(LN)条件下,大气 CO<sub>2</sub> 浓度升高提高了秧苗期及成熟期 I 型甲烷氧化细菌丰度,增幅分别为 6.9% 和 3.8%,而在分蘖期和扬花期 FACE 及 Ambient 之间的差异较小(分别为 0.5% 和 0.1%)。在两种施氮条件下,大气 CO<sub>2</sub> 浓度升高均未改变 I 型甲烷氧化细菌丰度随水稻生长期的变化趋势,在 FACE 及 Ambient 两种处理中,均为秧苗期最低,在分蘖期达到最高后下降。



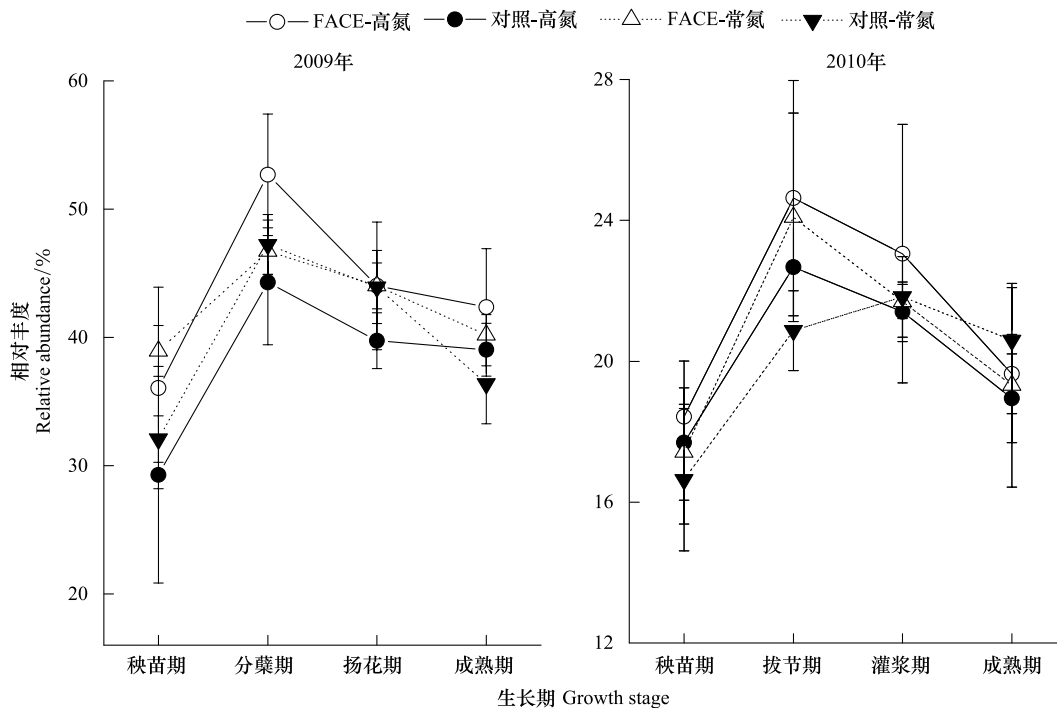


图3 稻田根际土壤 I 型甲烷氧化细菌相对丰度

Fig. 3 Relative abundance of type I methanotrophs in rhizospheric soil

2010 年所采集样品中,高氮(HN)条件下,大气  $\text{CO}_2$  浓度升高使得各时期 I 型甲烷氧化细菌的丰度略有提高,依次为 0.7%、2.0%、1.7% 和 0.7%。高氮条件下 FACE 及 Ambient 两种处理中 I 型甲烷氧化细菌丰度随水稻生长期的变化趋势一致。

常氮(LN)条件下, I 型甲烷氧化细菌的丰度在成熟期降低了 1.3%,在秧苗期和拔节期分别增加了 0.8%、3.2%,而灌浆期 FACE 及 Ambient 之间差异较小(0.1%)。常氮条件下, I 型甲烷氧化细菌的丰度在 FACE 及对照两种处理中均为秧苗期丰度最低,而 FACE 处理在拔节期最高,Ambient 处理为灌浆期最高。

### 3 讨论与结论

已有的研究表明,大气  $\text{CO}_2$  浓度升高可能导致稻田甲烷排放量增加<sup>[17-19]</sup>,稻田甲烷的排放是甲烷产生、氧化和运输的综合结果<sup>[2, 26]</sup>,而稻田甲烷的产生和氧化是微生物驱动的过程<sup>[27]</sup>,大气  $\text{CO}_2$  浓度升高下甲烷氧化微生物数量变化规律是研究稻田甲烷减排机制的重要内容。稻田甲烷氧化细菌的数量及群落结构受到甲烷浓度、氧气水平及土壤氮素等因素的调控<sup>[27]</sup>,而大气  $\text{CO}_2$  浓度升高会可能显著影响稻田土壤产甲烷前体数量和质量、水稻根系泌氧能力以及根际土壤氮素供应能力等<sup>[28-30]</sup>。大气  $\text{CO}_2$  浓度升高对稻田根际甲烷氧化细菌的影响是多个过程共同作用的结果。

研究表明大气  $\text{CO}_2$  浓度升高会导致植物根系分泌物增多<sup>[29, 31]</sup>,从而为稻田土壤中的产甲烷微生物提供更多的代谢底物,促进甲烷的产生<sup>[32]</sup>。已有研究表明,大气  $\text{CO}_2$  浓度升高显著促进了稻田甲烷的产生<sup>[17, 28]</sup>,更多的甲烷可能促进甲烷氧化细菌的生长,改变甲烷氧化细菌的群落结构。同时,大气  $\text{CO}_2$  浓度升高促进了水稻的生长发育,增加了通气组织的容积和根系的生物量<sup>[18, 29]</sup>,导致根系分泌更多的氧气,促进根际好氧微域中甲烷氧化细菌的生长<sup>[33]</sup>。本试验结果表明,大气  $\text{CO}_2$  浓度升高促进了某些生长期(2009 年秧苗期和分蘖期,2010 年秧苗期、拔节期和灌浆期)稻田根际甲烷氧化细菌的丰度(图 2),这一结果很可能是水稻根际微域甲烷和氧气供应量增加所导致的。田间的水管理也是调控稻田甲烷氧化的重要因子,淹水时土壤中氧化还原电位比搁田时低,厌氧古菌产生更多的甲烷,从而为甲烷氧化细菌提供更多的生长底物,促进其的生长;然而淹水时土壤中氧气含量则比搁田时小,氧气的供给水平会限制甲烷氧化细菌的生长<sup>[32, 34-35]</sup>,这两个矛盾

因素的共同作用很有可能正是 2009 年与 2010 年成熟期所观测趋势不一致的原因(2009 年采样时刚开始烤田,而 2010 年采样时已烤田 10d 左右)。数据同时表明在 2010 年成熟期常氮(LN)条件下 FACE 处理中甲烷氧化细菌的数量有较显著的减少,已有的研究表明搁田能够有效减少稻田甲烷的排放<sup>[34-37]</sup>,而排放减少的原因之一是搁田增加了甲烷氧化菌的数量<sup>[11, 38]</sup>,因此通过我们在 2010 年成熟期观测到的趋势可以推论:大气 CO<sub>2</sub> 浓度升高可能会减弱搁田对稻田甲烷减排的效果,然而这一推测还需要更多的研究去加以证实。

氮肥施用量是影响稻田甲烷氧化的重要因子,然而,迄今关于氮肥施用对稻田甲烷氧化细菌的影响研究仍没有一致的结论,这可能是由于不同试验相关的地理位置、气候条件以及耕作方式等方面差异所导致<sup>[39-40]</sup>。已有的甲烷排放通量结果显示,高氮施用可能放大大气 CO<sub>2</sub> 浓度升高对稻田甲烷排放的增加效应,然而对甲烷氧化过程的影响仍缺乏相应的数据支撑<sup>[28]</sup>。结果表明:2009 年除扬花期外,高氮条件下甲烷氧化细菌总量受大气 CO<sub>2</sub> 浓度升高影响而增加的幅度均显著大于常氮( $P < 0.05$ );2010 年高氮条件下也均高于常氮,且在拔节期和灌浆期差异显著。该结果能够为施氮水平对大气 CO<sub>2</sub> 浓度升高下稻田甲烷排放影响的机理研究提供一定参考。

2009 和 2010 连续两年的观测结果表明,大气 CO<sub>2</sub> 浓度升高促进了 2009 年秧苗期和分蘖期,2010 年秧苗期、拔节期和灌浆期甲烷氧化细菌的生长;对 2010 年常氮条件下成熟期甲烷氧化细菌产生了较显著( $P < 0.1$ )抑制;对甲烷氧化细菌主要类型的分析表明,高氮条件下大气 CO<sub>2</sub> 浓度升高提高了稻田根际土壤中 type I 类甲烷氧化细菌的丰度。

## References:

- [ 1 ] Intergovernmental Panel on Climate Change. The physical science basis // Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. New York: IPCC, 2007.
- [ 2 ] Neue H U, Wassmann R, Kludze H K, Bujun W, Lantin R S. Factors and processes controlling methane emissions from rice fields. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 1997, 49(1/3): 111-117.
- [ 3 ] Kruger M, Eller G, Conrad R, Frenzel P. Seasonal variation in pathways of CH<sub>4</sub> production and in CH<sub>4</sub> oxidation in rice fields determined by stable carbon isotopes and specific inhibitors. *Global Change Biology*, 2002, 8(3): 265-280.
- [ 4 ] Eller G, Krüger M, Frenzel P. Comparing field and microcosm experiments: a case study on methano- and methylo-trophic bacteria in paddy soil. *FEMS Microbiology Ecology*, 2005, 51(2): 279-291.
- [ 5 ] Groot T T, van Bodegom P M, Harren F J M, Meijer H A J. Quantification of methane oxidation in the rice rhizosphere using <sup>13</sup>C-labelled methane. *Biogeochemistry*, 2003, 64(3): 355-372.
- [ 6 ] Shrestha M, Abraham W R, Shrestha P M, Noll M, Conrad R. Activity and composition of methanotrophic bacterial communities in planted rice soil studied by flux measurements, analyses of pmoA gene and stable isotope probing of phospholipid fatty acids. *Environmental Microbiology*, 2008, 10(2): 400-412.
- [ 7 ] Dedysh S N, Knief C, Dunfield P F. Methylocella species are facultatively methanotrophic. *Journal of Bacteriology*, 2005, 187(13): 4665-4670.
- [ 8 ] Hanson R S, Hanson T E. Methanotrophic bacteria. *Microbiological Reviews*, 1996, 60(2): 439-471.
- [ 9 ] Bowman J. Prokaryotes: A Handbook on the Biology of Bacteria. 3rd ed. Heidelberg: Springer, 2006; 266-289.
- [ 10 ] Qiu Q F, Noll M, Abraham W R, Lu Y H, Conrad R. Applying stable isotope probing of phospholipid fatty acids and rRNA in a Chinese rice field to study activity and composition of the methanotrophic bacterial communities *in situ*. *The ISME Journal*, 2008, 2(6): 602-614.
- [ 11 ] Ma K, Qiu Q F, Lu Y H. Microbial mechanism for rice variety control on methane emission from rice field soil. *Global Change Biology*, 2010, 16(11): 3085-3095.
- [ 12 ] Shrestha M, Shrestha P M, Frenzel P, Conrad R. Effect of nitrogen fertilization on methane oxidation, abundance, community structure, and gene expression of methanotrophs in the rice rhizosphere. *The ISME Journal*, 2010, 4(12): 1545-1556.
- [ 13 ] Murrell J C, McDonald I R, Bourne D G. Molecular methods for the study of methanotroph ecology. *Fems Microbiology Ecology*, 1998, 27(2): 103-114.
- [ 14 ] Holmes A J, Costello A, Lidstrom M E, Murrell J C. Evidence that participate methane monooxygenase and ammonia monooxygenase may be evolutionarily related. *FEMS Microbiology Letters*, 1995, 132(3): 203-208.
- [ 15 ] Costello A M, Lidstrom M E. Molecular characterization of functional and phylogenetic genes from natural populations of methanotrophs in lake sediments. *Applied and Environmental Microbiology*, 1999, 65(11): 5066-5074.
- [ 16 ] McDonald I R, Bodrossy L, Chen Y, Murrell J C. Molecular ecology techniques for the study of aerobic methanotrophs. *Applied and Environmental Microbiology*, 2008, 74(5): 1305-1315.

- [17] Xu Z J, Zheng X H, Wang Y S, Han S H, Huang Y, Zhu J G, Butterbach-Bahl K. Effects of elevated CO<sub>2</sub> and N fertilization on CH<sub>4</sub> emissions from paddy rice fields. *Global Biogeochemical Cycles*, 2004, 18(3): GB3009, doi: 10.1029/2004GB002233.
- [18] Inubushi K, Cheng W G, Aonuma S, Hoque M M, Kobayashi K, Miura S, Kim H Y, Okada M. Effects of free-air CO<sub>2</sub> enrichment (FACE) on CH<sub>4</sub> emission from a rice paddy field. *Global Change Biology*, 2003, 9(10): 1458-1464.
- [19] van Groenigen K J, Osenberg C W, Hungate B A. Increased soil emissions of potent greenhouse gases under increased atmospheric CO<sub>2</sub>. *Nature*, 2011, 475(7355): 214-216.
- [20] Lamborg M R, Hardy R W F, Paul E A. *Microbial Effects, the Response of Plants to Rising Levels of Atmospheric Carbon Dioxide*. Boulder: Westview Press, 1983: 131-176. 1983.
- [21] Schortemeyer M, Hartwig U A, Hendrey G R, Sadowsky M J. Microbial community changes in the rhizospheres of white clover and perennial ryegrass exposed to free air carbon dioxide enrichment (FACE). *Soil Biology and Biochemistry*, 1996, 28(12): 1717-1724.
- [22] Yue J, Shi Y, Zheng X H, Huang G H, Zhu J G. The influence of free-air CO<sub>2</sub> enrichment on microorganisms of a paddy soil in the rice-growing season. *Applied Soil Ecology*, 2007, 35(1): 154-162.
- [23] Wang S Y, Han L, Shi Y, Mei B L, Zhu J G. Effects of FACE on population and activities of methanogen and methanotroph in paddy soil. *Soils*, 2006, 38(6): 768-773.
- [24] Liu G, Han Y, Zhu J G, Okada M, Nakamura H, Yoshimoto M. Rice-wheat rotational FACE platform. I. system construct and control. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(10): 1253-1258.
- [25] Kolb S, Knief C, Stubner S, Conrad R. Quantitative detection of methanotrophs in soil by novel pmoA-targeted real-time PCR assays. *Applied and Environmental Microbiology*, 2003, 69(5): 2423-2429.
- [26] Wang M X, Li J. CH<sub>4</sub> emission and oxidation in Chinese rice paddies. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2002, 64(1/2): 43-55.
- [27] Conrad R. *Advances in Agronomy*. San Diego: Elsevier, 2007: 1-63.
- [28] Zheng X H, Zhou Z X, Wang Y E, Zhu J G, Wang Y L, Yue J, Shi Y, Kobayashi K, Inubushi K, Huang Y, Han S H, XU Z J, Xie B H, Butterbach-bahl K, Yang L X. Nitrogen-regulated effects of free-air CO<sub>2</sub> enrichment on methane emissions from paddy rice fields. *Global Change Biology*, 2006, 12(9): 1717-1732.
- [29] Yang L X, Wang Y L, Kobayashi K, Zhu J G, Huang J Y, Yang H J, Wang Y X, Dong G C, Liu G, Han Y, Shan Y H, Hu J, Zhou J. Seasonal changes in the effects of free-air CO<sub>2</sub> enrichment (FACE) on growth, morphology and physiology of rice root at three levels of nitrogen fertilization. *Global Change Biology*, 2008, 14(8): 1844-1853.
- [30] Ma H L, Wu Y H, Zhu J G, Xu Y J, Xie Z B, Liu G, Yang Y S. Effect of elevated atmospheric CO<sub>2</sub> concentration on soil nitrogen around roots of crops. *Journal of Agro-Environment Science*, 2009, 28(4): 849-854.
- [31] Li Z, Yagi K, Sakai H, Kobayashi K. Influence of elevated CO<sub>2</sub> and nitrogen nutrition on rice plant growth, soil microbial biomass, dissolved organic carbon and dissolved CH<sub>4</sub>. *Plant and Soil*, 2004, 258(1/2): 81-90.
- [32] Aulakh M S, Wassmann R, Rennenberg H. *Advances in Agronomy*. San Diego: Elsevier, 2001: 193-260.
- [33] Butterbach-Bahl K, Papen H, Rennenberg H. Scanning electron microscopy analysis of the aerenchyma in two rice cultivars. *Phyton-Annales Rei Botanicae*, 2000, 40(1): 43-55.
- [34] Sass R L, Fisher F M, Wang Y B. Methane emission from rice fields: the effect of floodwater management. *Global Biogeochemical Cycles*, 1992, 6(3): 249-262.
- [35] Yagi K, Tsuruta H, Kanda K, Minami K. Effect of water management on methane emission from a Japanese rice paddy field: Automated methane monitoring. *Global Biogeochemical Cycles*, 1996, 10(2): 255-267.
- [36] Yan X Y, Yagi K, Akiyama H, Akimoto H. Statistical analysis of the major variables controlling methane emission from rice fields. *Global Change Biology*, 2005, 11(7): 1131-1141.
- [37] Li C S, Qiu J J, Frolking S, Xiao X M, Salas W, Moore B III, Boles S, Huang Y, Sass R. Reduced methane emissions from large-scale changes in water management of China's rice paddies during 1980—2000. *Geophysical Research Letters*, 2002, 29: 1972, doi:10.1029/2002GL015370.
- [38] Henckel T, Jäckel U, Conrad R. Vertical distribution of the methanotrophic community after drainage of rice field soil. *FEMS Microbiology Ecology*, 2001, 34(3): 279-291.
- [39] Bodelier P L E, Laanbroek H J. Nitrogen as a regulatory factor of methane oxidation in soils and sediments. *Fems Microbiology Ecology*, 2004, 47(3): 265-277.
- [40] Cai Z, Shan Y, Xu H. Effects of nitrogen fertilization on CH<sub>4</sub> emissions from rice fields. *Soil Science and Plant Nutrition*, 2007, 53(4): 353-361.

#### 参考文献:

- [23] 王旻屹, 韩琳, 史奕, 梅宝玲, 朱建国. FACE 对水稻土产甲烷菌和甲烷氧化菌种群及其活性的影响. *土壤*, 2006, 38(6): 768-773.
- [24] 刘钢, 韩勇, 朱建国, 冈田益己, 中村浩史, 吉本真由美. 稻麦轮作 FACE 系统平台 I. 系统结构与控制. *应用生态学报*, 2002, 13(10): 1253-1258.
- [30] 马红亮, 吴艳红, 朱建国, 徐一杰, 谢祖彬, 刘钢, 杨玉盛. 大气 CO<sub>2</sub> 浓度升高对作物根际土壤氮的影响. *农业环境科学学报*, 2009, 28(4): 849-854.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 6 March, 2013 (Semimonthly)  
CONTENTS

**Review and Monograph**

- Forest health studies based on remote sensing: a review ..... GAO Guanglei, XIN Zhongbao, DING Guodong, et al (1675)  
Progress of agent-based agricultural land change modeling: a review ..... YU Qiangyi, WU Wenbin, YANG Peng, et al (1690)

**Autecology & Fundamentals**

- Dynamic distribution of *Nemopilema nomurai* in inshore waters of the northern Liaodong Bay, Bohai Sea .....  
..... WANG Bin, QIN Yubo, DONG Jing, et al (1701)  
Full length cDNA cloning and tissue expression of prophenoloxidase from *Oratosquilla oratoria* .....  
..... LIU Haiying, LIU Lianwei, JIANG Yusheng, et al (1713)  
Morphometrics investigation of the skulls, mandibles and molar in *Tupaia belangeri* from Yunnan, Guizhou, Guangxi .....  
..... ZHU Wanlong, JIA Ting, HUANG Chunmei, et al (1721)  
Effects of litter thickness on leaf litter decomposition and enzyme activity of three trees in the subtropical forests .....  
..... JI Xiaoyan, JIANG Hong, HONG Jianghua, et al (1731)  
The photosynthetic carbon fixation characteristics of common tree species in northern Zhejiang .....  
..... ZHANG Jiao, SHI Yongjun, ZHU Yueqing, et al (1740)  
Diurnal changes in the photosynthetic characteristics of two high yield and high quality grasses during different stages of growth  
and their response to changes in light intensity ..... GUO Chunyan, LI Jinchuan, YUE Jianying, et al (1751)  
Evaluation technology on drought disaster to yields of winter wheat based on WOFOST crop growth model .....  
..... ZHANG Jianping, ZHAO Yanxia, WANG Chunyi, et al (1762)  
Genetic diversity of *Conocephalus maculatus* of different geographic populations based on mitochondrial DNA control region analysis ...  
..... ZHOU Zhijun, SHANG Na, LIU Jing, et al (1770)  
Relationships among female body size, clutch size, and egg size in captive *Deinagkistrodon acutus* .....  
..... HU Minghang, TAN Quanying, YANG Daode (1778)  
The field control of *Bactrocera dorsalis* (Hendel) with parasitoid and sterile male .....  
..... ZHENG Sining, HUANG Juchang, YE Guanglu, et al (1784)  
Allelopathic effects of artemisinin on ectomycorrhizal fungi ..... LI Qian, YUAN Ling, WANG Mingxia, et al (1791)

**Population, Community and Ecosystem**

- Establishment of integrated methodology for bay ecosystem health assessment and its application in Daya Bay .....  
..... LI Chunhou, LIN Lin, XU Shannan, et al (1798)  
The influence of upwelling and water mass on the ecological group distribution of zooplankton in Zhejiang coastal waters .....  
..... SUN Lufeng, KE Chang, XU Zhaoli, et al (1811)  
Identification of key ecosystem for ecological restoration in semi-arid areas: a case study in Helin County, Inner Mongolia .....  
..... PENG Yu, GAO Ying, FENG Jinzhao, et al (1822)  
The great rainfall effect on soil respiration of *Pinus tabulaeformis* plantation in Taiyue Mountain .....  
..... JIN Guanyi, ZHAO Xiuhai, KANG Fengfeng, et al (1832)  
The litter-fall characteristics and their response to drought stress in the Masson pins forests damaged by acid rain at Chongqing,  
China ..... WANG Yihao, WANG Yanhui, YU Pengtao, et al (1842)

**Landscape, Regional and Global Ecology**

- Thermal environment effect of urban water landscape ..... YUE Wenze, XU Lihua (1852)  
Landscape ecological security pattern associated with the introduction of exotic tree species *Eucalyptus* .....  
..... ZHAO Xiaoqing, HE Chunlan (1860)  
Ecological balance between supply and demand in Chongqing City based on cultivated land ecological footprint method .....  
..... SHI Kaifang, DIAO Chengtai, SUN Xiufeng, et al (1872)  
Effect of elevated CO<sub>2</sub> on methanotrophs in the rhizosphere of rice plant ..... YAN Chen, XU Jing, ZHONG Wenhui, et al (1881)

## Resource and Industrial Ecology

- The seawater environment quality evaluation research base on variable fuzzy pattern recognition model ..... KE Lina, WANG Quanming, SUN Xinguo, et al (1889)
- An in situ* study on biodeposition of ascidian (*Styela plicata*) in a subtropical aquaculture bay, southern China ..... YAN Jianguo, QI Zhanhui, TIAN Ziyang, et al (1900)
- Distribution of soil NPK nutrient content in deep soil profile of typical apple orchards on the Loess Plateau ..... ZHANG Lina, LI Jun, FAN Peng, et al (1907)
- Soil respiration and its responses to soil moisture and temperature under different tillage systems in dryland maize fields ..... ZHANG Dingchen, CAI Dianxiong, DAI Kuai, et al (1916)
- Photosynthetic characteristics of soybean and salvia in an agroforestry system in the Hilly Region, Shangluo, China ..... PENG Xiaobang, ZHANG Shuoxin (1926)
- Regulation of exogenous brassinosteroid on growth and photosynthesis of *Helianthus tuberosus* seedlings and cadmium biological enrichment under cadmium stress ..... GAO Huiling, LIU Jinlong, ZHENG Qingsong, et al (1935)
- Calibration coefficients of Granier original formula based on sap flow of *Platycladus orientalis* ..... LIU Qingxin, MENG Ping, ZHANG Jinsong, et al (1944)

## Research Notes

- An evaluation index system classifying the conservation value of wetland nature reserves based on AHP ..... SUN Rui, CUI Guofa, LEI Ting, et al (1952)
- Root biomass and its distribution of *Azadirachta indica* and *Acacia auriculiformis* plantations in the Dry-hot Valley ..... GAO Chengjie, TANG Guoyong, LI Kun, et al (1964)
- Physiological response of *Vitex trifolia* to sand burial in the sand coast ... ZHOU Ruilian, WANG Jin, YANG Shuqin, et al (1973)
- Soil fertility under different forest types in the Helan and Liupan Mountain ranges of Ningxia Province ..... JIANG Lin, GENG Zengchao, ZHANG Wen, et al (1982)

## Opinions

- Dynamic of litterfall in ten typical community types of Xiaoxing'an Mountain, China ..... HOU Lingling, MAO Zijun, SUN Tao, et al (1994)

# 《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

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981年3月创刊)

第33卷 第6期 (2013年3月)

## ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 6 (March, 2013)

<b>编辑</b>	《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	<b>Edited by</b>	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel: (010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn
<b>主编</b>	王如松	<b>Editor-in-chief</b>	WANG Rusong
<b>主管</b>	中国科学技术协会	<b>Supervised by</b>	China Association for Science and Technology
<b>主办</b>	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	<b>Sponsored by</b>	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
<b>出版</b>	科学出版社 地址:北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717	<b>Published by</b>	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
<b>印刷</b>	北京北林印刷厂	<b>Printed by</b>	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
<b>发行</b>	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@espg.net	<b>Distributed by</b>	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@espg.net
<b>订购</b>	全国各地邮局	<b>Domestic</b>	All Local Post Offices in China
<b>国外发行</b>	中国国际图书贸易总公司 地址:北京399信箱 邮政编码:100044	<b>Foreign</b>	China International Book Trading Corporation Add: P. O. Box 399 Beijing 100044, China
<b>广告经营</b>	京海工商广字第8013号		

