

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

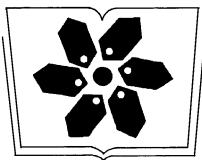
Acta Ecologica Sinica



第 32 卷 第 14 期 Vol.32 No.14 **2012**

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 32 卷 第 14 期

2012 年 7 月 (半月刊)

目 次

海滨沙地砂引草对沙埋的生长和生理适应对策.....	王 进,周瑞莲,赵哈林,等 (4291)
外源 K ⁺ 和水杨酸在缓解融雪剂对油松幼苗生长抑制中的效应与机理 ...	张 莹,李法云,严 霞,等 (4300)
钱塘江中游流域不同空间尺度环境因子对底栖动物群落的影响.....	张 勇,刘朔孺,于海燕,等 (4309)
贡嘎山东坡非飞行小型兽类物种多样性的垂直分布格局.....	吴永杰,杨奇森,夏 霖,等 (4318)
基于斑块的红树林空间演变机理分析方法.....	李春干,刘素青,范航清,等 (4329)
亚热带六种天然林树种细根养分异质性.....	熊德成,黄锦学,杨智杰,等 (4343)
浙江省植被 NDVI 动态及其对气候的响应	何 月,樊高峰,张小伟,等 (4352)
亚热带 6 种天然林树种细根呼吸异质性.....	郑金兴,熊德成,黄锦学,等 (4363)
亚高山/高山森林土壤有机层氨氧化细菌和氨氧化古菌丰度特征	王 奥,吴福忠,何振华,等 (4371)
耕作方式对紫色水稻土轻组有机碳的影响.....	张军科,江长胜,郝庆菊,等 (4379)
火烧对长期封育草地土壤碳固持效应的影响.....	何念鹏,韩兴国,于贵瑞,等 (4388)
闽江河口潮汐湿地二氧化碳和甲烷排放化学计量比.....	王维奇,曾从盛,仝 川,等 (4396)
2010 年夏季珠江口海域颗粒有机碳的分布特征及其来源	刘庆霞,黄小平,张 霞,等 (4403)
新疆冷泉沉积物葡萄糖利用细菌群落多样性的稳定同位素标记分析.....	楚 敏,王 芸,曾 军,等 (4413)
土壤微生物群落多样性解析法:从培养到非培养.....	刘国华,叶正芳,吴为中 (4421)
伊洛河河岸带生态系统草本植物功能群划分	郭屹立,卢训令,丁圣彦 (4434)
濒危植物蒙古扁桃不同地理种群遗传多样性的 ISSR 分析	张 杰,王 佳,李浩宇,等 (4443)
强潮区较高纬度移植红树植物秋茄的生理生态特性.....	郑春芳,仇建标,刘伟成,等 (4453)
冬季高温对白三叶越冬和适应春季“倒春寒”的影响	周瑞莲,赵 梅,王 进,等 (4462)
中亚热带细柄阿丁枫和米槠群落细根的生产和死亡动态.....	黄锦学,凌 华,杨智杰,等 (4472)
欧美杨水分利用效率相关基因 <i>PdEPF1</i> 的克隆及表达	郭 鹏,金 华,尹伟伦,等 (4481)
再力花地下部水浸提液对几种水生植物幼苗的化感作用.....	缪丽华,王 媛,高 岩,等 (4488)
无致病力青枯雷尔氏菌对烟草根系土壤微生物脂肪酸生态学特性的影响.....	郑雪芳,刘 波,蓝江林,等 (4496)
基于更新和同化策略相结合的遥感信息与水稻生长模型耦合技术的研究.....	王 航,朱 艳,马孟莉,等 (4505)
温度和体重对克氏双锯鱼仔鱼代谢率的影响.....	叶 乐,杨圣云,刘 敏,等 (4516)
夏季西南印度洋叶绿素 a 分布特征.....	洪丽莎,王春生,周亚东,等 (4525)
大沽排污河生态修复河道水质综合评价及生物毒性影响.....	王 敏,唐景春,朱文英,等 (4535)
李肖叶甲成虫数量及三维空间格局动态.....	汪文俊,林雪飞,邹运鼎,等 (4544)
专论与综述	
基于景观格局的城市热岛研究进展	陈爱莲,孙然好,陈利顶 (4553)
沉积物质量评价“三元法”及其在近海中的应用	吴 斌,宋金明,李学刚,等 (4566)
问题讨论	
中国餐厨垃圾处理的现状、问题和对策	胡新军,张 敏,余俊锋,等 (4575)
研究简报	
稻秸蓝藻混合厌氧发酵沼液及其化学物质对尖孢镰刀菌西瓜专化型生长的影响.....	刘爱民,徐双锁,蔡 欣,等 (4585)
佛山市农田生态系统的生态损益.....	叶延琼,章家恩,秦 钟,等 (4593)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 314 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 33 * 2012-07



封面图说: 噶龙山南坡的高山湖泊——喜马拉雅山南坡的噶龙山光照强烈、雨量充沛,尽管是海拔 4500 多米的高寒地区,山上的草甸依然泛着诱人的翠绿色,冰川和雪山的融水汇集在山梁的低洼处形成了一个又一个的高山湖泊,由于基底的差别和水深的不同,使得纯净清澈的冰雪融水在湖里呈现出不同的颜色,湖面或兰或绿,颜色或深或浅,犹如一块块通透透明的翡翠镶嵌在绿色的绒布之中。兰天下面,白云落在山间,通往墨脱的公路像丝带一样随随便便地缠绕着,一幅美丽的自然生态画卷就这样呈现在你的面前。

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

DOI: 10.5846/stxb201107151052

王维奇, 曾从盛, 全川, 王纯. 闽江河口潮汐湿地二氧化碳和甲烷排放化学计量比. 生态学报, 2012, 32(14): 4396-4402.

Wang W Q, Zeng C S, Tong C, Wang C. Stoichiometry of carbon dioxide and methane emissions in Minjiang River estuarine tidal wetland. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(14): 4396-4402.

闽江河口潮汐湿地二氧化碳和甲烷排放化学计量比

王维奇^{1,2}, 曾从盛^{1,2,*}, 全川^{1,2}, 王纯³

(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;

3. 福州市金桥高级中学, 福州 350004)

摘要: 为了阐明河口潮汐湿地碳源温室气体排放的化学计量比特征, 对闽江河口潮汐湿地二氧化碳和甲烷排放进行了测定与分析。结果表明: 芦苇湿地和短叶荳蔻湿地二氧化碳与甲烷排放均呈现正相关; 涨潮前、涨落潮过程和落潮后芦苇湿地和短叶荳蔻湿地 $\text{CO}_2:\text{CH}_4$ 月平均值分别为 55.4 和 185.0, 96.3 和 305.5, 68.7 和 648.6, 3 个过程芦苇湿地和短叶荳蔻湿地 $\text{CO}_2:\text{CH}_4$ 差异均不显著 ($P>0.05$), 2 种植物湿地 $\text{CO}_2:\text{CH}_4$ 对潮汐的响应并不一致, 但均在涨潮前表现为最低; 涨潮前、涨落潮过程和落潮后均表现为芦苇湿地 $\text{CO}_2:\text{CH}_4$ 低于短叶荳蔻湿地 ($P<0.05$); 河口潮汐湿地 $\text{CO}_2:\text{CH}_4$ 为空间变异性 $>$ 时间变异性, 潮汐、植物和温度均对 $\text{CO}_2:\text{CH}_4$ 的变化具有一定的调节作用。

关键词: 二氧化碳; 甲烷; 化学计量比; 潮汐湿地; 闽江河口

Stoichiometry of carbon dioxide and methane emissions in Minjiang River estuarine tidal wetland

WANG Weiqi^{1,2}, ZENG Congsheng^{1,2,*}, TONG Chuan^{1,2}, WANG Chun³

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

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

3 Fuzhou Jinqiao Senior Middle School, Fuzhou 350004, China

Abstract: Gas exchange between soils and the atmosphere is an important contributory factor to global climate change due to increasing release of greenhouse gases (N_2O , CO_2 , CH_4 , etc.). CO_2 and CH_4 are the principal gases. Wetland is one of the important ecosystems for carbon cycle, especially for the CO_2 and CH_4 exchange. Wetland ecosystem emits CO_2 and CH_4 through aerobic and anaerobic respiration and fixes carbon (CO_2) through photosynthesis. So the ratio of CO_2 to CH_4 is important to reveal the greenhouse gas emissions of carbon sources and to mediate their emissions.

An amount of approximately 18,000 km of coastline in China is covered by an estimated 12,000 km² of tidal estuary wetlands. These tidal wetlands are generally rich in animal and plant diversity and appear to have important biogeochemical roles within the entire estuary ecosystem. One of these important tidal wetland ecosystems is found within the Minjiang River estuary in southeast China, which is located at the transition of mid- and southern subtropical climate zones in China.

Vegetation and tide are two important factors influencing the biochemistry process of estuarine wetland and thereby controlling CO_2 and CH_4 emissions. Most of the previous studies have been showed that plants act as a key control on the spatial variability of CO_2 and CH_4 emissions due to their influence on the formation and transportation. Tidal systems are likely to be affected by tidal processes including time of inundation and salinity. Flooding is known to reduce CO_2 and CH_4

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (31000209; 40671174); 福建省公益类研究所专项 (2011R1037-5); 福建省教育厅资助项目 (JB11030); 福建师范大学优秀青年骨干教师培养基金 (fjsdky2012007)

收稿日期: 2011-07-15; 修订日期: 2011-12-13

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: cszeng@fjnu.edu.cn

emissions, probably by blocking the pathway of CO_2 and CH_4 release. However, the effects of vegetation and tide on $\text{CO}_2:\text{CH}_4$ values are not clear.

This study was conducted in the Shanyutan wetland ($119^\circ34'12''$ — $119^\circ40'40''\text{E}$, $26^\circ00'36''$ — $26^\circ03'426''\text{N}$), which is the largest tidal wetland (nearly 3120 hm^2) in the Minjiang River estuary. The climate is warm and wet, with a mean annual temperature of 19.6°C and a mean annual precipitation of 1346 mm . The Shanyutan wetland is belt-shaped. The sediment surface at the study site is submerged for 3—3.5 hours during each tidal inundation. The vegetation mainly occupies two zones: a 150—200 m wide *Scirpus lacustris* zone close to the sea, and a 150 m wide *Phragmites australis* and *Cyperus malaccensis* var. *brevifolius* zone which extends from the intertidal zone to near the bank.

Here we examined the stoichiometry characteristics of carbon-source greenhouse gas emissions in Minjiang River estuarine tidal wetland. The results showed that the emission fluxes of CO_2 in both *Phragmites australis* wetland and *Cyperus malaccensis* var. *brevifolius* wetland were positively correlated with the emission fluxes of CH_4 . The monthly average $\text{CO}_2:\text{CH}_4$ values in *P. australis* wetland and *C. malaccensis* wetland were 55.4 and 185.0, 96.3 and 305.5, and 68.7 and 648.6 in the stages of before high tide, during tidal fluctuation, and after ebb, respectively. But the monthly average $\text{CO}_2:\text{CH}_4$ values were not significantly different in the three different stages for both *P. australis* wetland and *C. malaccensis* wetland ($P>0.05$). The lowest $\text{CO}_2:\text{CH}_4$ values were found before high tide in both wetlands but with different responses to tide. The monthly average $\text{CO}_2:\text{CH}_4$ values in the three stages for *P. australis* wetland were lower than those for *C. malaccensis* wetland ($P<0.05$). Our results indicated that the spatial variation of $\text{CO}_2:\text{CH}_4$ values was greater than the temporal one in estuarine tidal wetland, and tide, vegetation type and temperature were the key factors controlling the variation of $\text{CO}_2:\text{CH}_4$.

Key Words: carbon dioxide; methane; stoichiometry; tidal wetland; Minjiang River estuary

湿地土壤与大气之间的碳交换主要为光合作用从大气中固定二氧化碳,并通过生态系统呼吸将部分碳(二氧化碳和甲烷)返还到大气中,关于湿地碳汇的功能现在已达成共识,但作为生态系统呼吸中(二氧化碳和甲烷2种碳产物)释放的碳的主要类型尚不确定,因湿地环境差异而不同^[1]。

生态化学计量学为研究元素的生物地球化学循环和生态学过程提供了一种新思路^[2],并受到生态学家的关注,在植物组织、土壤和枯落物元素生态化学计量学研究领域均取得了丰硕的成果^[3-6],关于生态系统初级生产(二氧化碳固定)和甲烷排放的化学计量学特征国外开展了一些研究,已有研究主要是对水稻田、高纬度的泥炭地和低纬度沼泽为研究对象^[7-9],据作者了解,以河口潮汐湿地为对象的研究国际上尚未见专门报道,对生态系统呼吸过程中2种碳产物(二氧化碳和甲烷)的化学计量比及其影响因子的深入探讨也未见报道。实际上,开展相关研究,对建立生态系统碳交换模型和估算碳源温室气体的排放是十分有效的^[9],因此,加强该领域的研究很有必要。

闽江河口湿地受潮汐水位周期性变化的影响,植物和土壤淹没或出露于大气,这将影响着湿地碳的固定和释放。芦苇(*Phragmites australis*)和短叶茳茳(*Cyperus malaccensis* var. *brevifolius*)是分布于闽江河口湿地最为典型的优势植物,芦苇(禾本科)和短叶茳茳(叶退化,莎草科)在光合特征和呼吸特征均有所差异,其碳释放产物化学计量比存在着怎样的差异,还不清楚。

基于此,本研究选择闽江河口芦苇湿地和短叶茳茳湿地为研究对象,对河口潮汐湿地二氧化碳和甲烷2种碳释放产物排放特征及其相关性、化学计量比月动态及其对潮汐、植物等因子的响应作以分析,并对不同植物湿地二氧化碳和甲烷排放化学计量比是否存在着内稳性(或高度变异性)进行了探讨,为增加湿地碳固定,减少碳源温室气体排放提供重要的理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区与采样点

选择闽江河口鳝鱼滩湿地作为研究区域^[10]。芦苇和短叶茳茳是鳝鱼滩湿地的主要优势沼泽植物,分布

于鳊鱼滩湿地的中高潮滩,面积大,范围广,常组成单优势种群落。芦苇,植株高大,地上茎每节生 1 个叶片,叶片披针形或宽条形,有明显的地下根状茎,比较粗大,中空,春季为分蘖期和生长发育期,成熟期株高约为 2 m;短叶茳茳,成簇生长,茎呈三棱形,叶着生于地上茎基部,地下茎匍匐横生表土层,成熟期株高约为 1.5 m^[11-12]。采样点选择在鳊鱼滩湿地中西部五门闸附近(119°37'31"E, 26°01'46"N),芦苇和短叶茳茳 3 月初进入生长期,芦苇地上最大生物量((1524.8±78.9) g/m²)高于短叶茳茳(1062.4 g/m²)^[11-12];芦苇枯落物的分解速率要慢于短叶茳茳^[13],芦苇湿地土壤(0—60 cm)理化特征与短叶茳茳湿地相比,具有较低的 pH 值(6.01 和 6.14)和容重(0.86 g/m³ 和 1.00 g/m³)、较高的盐度(0.86 mS/cm 和 0.77 mS/cm)和有机碳含量(22.06 mg/g 和 19.71 mg/g)^[14]。基于芦苇湿地和短叶茳茳湿地植物形态特征、生物量、枯落物分解速率以及湿地土壤特性的差异,为探讨不同湿地植物群落湿地二氧化碳和甲烷排放化学计量比及其影响因子提供了理想的实验地。

1.2 气样采集和测定分析

2009 年 1 月—12 月,在每月阴历初三或初四(中潮日)的 9:00—16:00,在涨潮前、涨落潮过程和落潮后 3 个不同潮汐阶段采用静态箱法(暗箱)进行取样(涨潮前 1 h、涨潮开始 30 min 和完全落潮后 1 h 分别开始相应的第 1 次抽气取样,取样量 100 mL),每种植物样地各设置 3 个静态箱重复。气样带回实验室立刻采用 Shimadzu GC-2010 气相色谱仪测定,具体方法描述参见文献^[15]。

3 个不同潮汐阶段湿地排向大气环境的二氧化碳和甲烷排放计算公式^[16]为:

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

式中, F 为二氧化碳和甲烷排放($\text{mmol m}^{-2} \text{h}^{-1}$); V 为标准状态下的气体摩尔体积; dc/dt 为静态箱内二氧化碳和甲烷浓度变化率; T 为静态箱内温度($^{\circ}\text{C}$); H 为静态箱内气体部分高度(涨潮前和落潮后为 170 cm,即中箱高度+顶箱高度)。以涨落潮过程中 3 次抽气时测定的箱外潮水水位的平均值近似地作为涨落潮过程中静态箱内水体的平均高度值 H_{water} ,则涨落潮过程中静态箱内上部气体的高度为 $170 \text{ cm} - H_{\text{water}}$,并以此近似表征涨落潮过程中静态箱内上部气体部分的高度。静态箱内二氧化碳和甲烷含量变化率通过对每次采集的 3 个气样二氧化碳和甲烷含量测定值进行线性回归分析获得^[17]。

1.3 环境因子测定

芦苇和短叶茳茳样地开始涨潮前 1 h 和完全落潮后 1 h 土壤表层(10 cm 深度)的温度、Eh、pH 值和盐度分别采用 IQ150 便携式 pH/氧化还原电位/温度计(IQ Scientific Instruments, USA)和 2265FS 便携式电导盐分计(Spectrum Technologies Inc, USA)原位同步测定,气温采用便携式气象仪(Kestrel-3500, USA)测定。

1.4 数据处理

数据分析处理采用 Excel 2003 及 SPSS13.0 软件。芦苇湿地和短叶茳茳湿地二氧化碳和甲烷排放的化学计量比的差异性检验采用成对样本 T 检验,二氧化碳和甲烷排放的化学计量比和环境因子的相关性分析采用 Pearson 相关分析。 $\text{CO}_2:\text{CH}_4$ 采用的物质的量之比。

2 结果与分析

2.1 二氧化碳和甲烷排放特征

芦苇湿地涨潮前、涨落潮过程中和落潮后二氧化碳和甲烷排放月变化平均值分别为 $12.81 \text{ mmol m}^{-2} \text{h}^{-1}$ 和 $0.48 \text{ mmol m}^{-2} \text{h}^{-1}$, $5.23 \text{ mmol m}^{-2} \text{h}^{-1}$ 和 $0.13 \text{ mmol m}^{-2} \text{h}^{-1}$, $11.50 \text{ mmol m}^{-2} \text{h}^{-1}$ 和 $0.28 \text{ mmol m}^{-2} \text{h}^{-1}$, 变异系数分别为 70.5% 和 148.4%, 78.0% 和 126.5%, 54.9% 和 116.0%;短叶茳茳湿地涨潮前、涨落潮过程中和落潮后二氧化碳和甲烷排放月变化平均值分别为 $7.69 \text{ mmol m}^{-2} \text{h}^{-1}$ 和 $0.06 \text{ mmol m}^{-2} \text{h}^{-1}$, $3.52 \text{ mmol m}^{-2} \text{h}^{-1}$ 和 $0.01 \text{ mmol m}^{-2} \text{h}^{-1}$, $10.35 \text{ mmol m}^{-2} \text{h}^{-1}$ 和 $0.06 \text{ mmol m}^{-2} \text{h}^{-1}$, 变异系数分别为 69.8% 和 86.9%, 118.8% 和 89.9%, 71.8% 和 114.8%。芦苇湿地和短叶茳茳湿地二氧化碳和甲烷排放均表现为非涨潮阶段>涨落潮阶段,二氧化碳排放高于甲烷,2 种植物湿地二氧化碳和甲烷排放均为芦苇

湿地>短叶茳芩湿地(图1)。

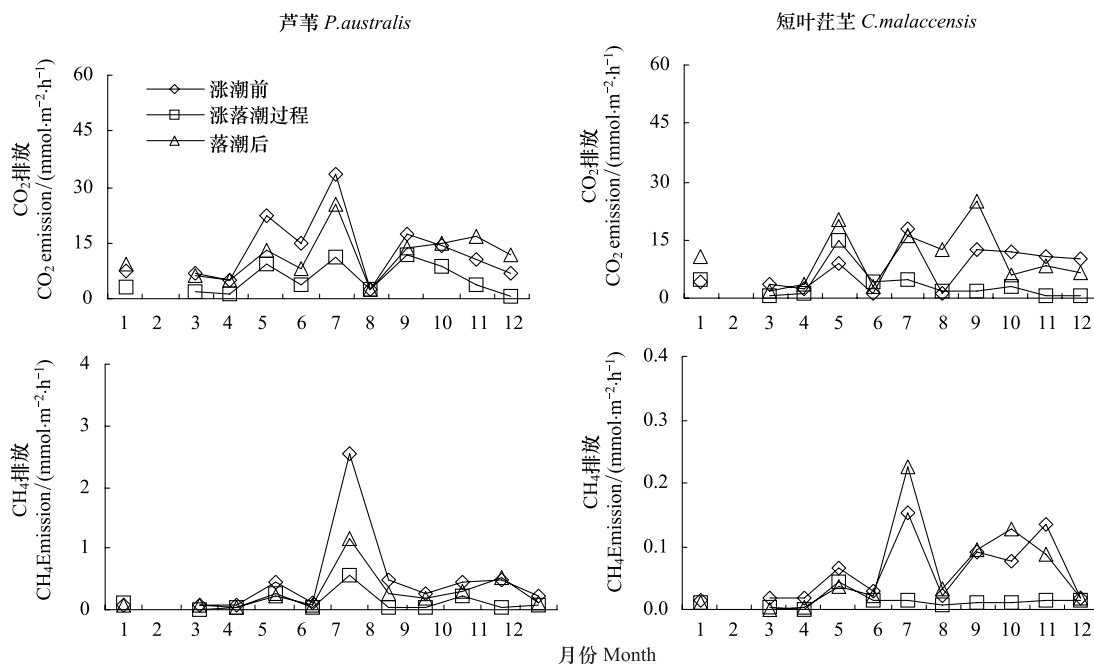


图1 芦苇湿地和短叶茳芩湿地 CH_4 和 CO_2 排放月动态

Fig. 1 Monthly dynamics of CO_2 and CH_4 emissions in *P. australis* wetland and *C. malaccensis* wetland

2.2 二氧化碳和甲烷排放的关系

二氧化碳和甲烷是湿地生态系统土壤碳分解的2种主要产物,同时,在湿地土壤环境中,分解产生的二氧化碳经过氢还原可以生成甲烷,厌氧分解产生的甲烷可被甲烷氧化菌氧化生成二氧化碳,因此,2种产物理论上应存在一定的联系。本研究对闽江河口芦苇湿地和短叶茳芩湿地涨潮前、涨落潮过程和落潮后二氧化碳和甲烷排放的关系进行线性、对数和指数模型拟合。研究结果表明,除短叶茳芩湿地落潮后二氧化碳和甲烷排放之间指数拟合程度较好外,其他均为线性拟合程度最佳(表1),并呈现显著或极显著相关。

表1 CO_2 和 CH_4 排放的相关关系

Table 1 The relationship of CO_2 and CH_4 emission

湿地类型 Wetland types	潮汐过程 Tidal stages	拟合方程 Fitting equation	R^2	P
芦苇湿地 <i>P. australis</i> wetland	涨潮前 Before flood	$y=0.0617x-0.3133$	0.6134	0.002
	涨落潮 Flood and ebb	$y=0.025x-0.0002$	0.3824	0.020
	落潮后 After ebb	$y=0.0424x-0.2091$	0.6789	0.001
短叶茳芩湿地 <i>C. malaccensis</i> wetland	涨潮前 Before flood	$y=0.0077x-0.0013$	0.6739	0.001
	涨落潮 Flood and ebb	$y=0.0024x+0.0042$	0.8311	0.000
	落潮后 After ebb	$y=0.0068e^{0.1279x}$	0.3101	0.046

2.3 二氧化碳和甲烷排放化学计量比月动态

芦苇湿地和短叶茳芩湿地在涨潮前、涨落潮过程和落潮后3个不同潮汐阶段 $\text{CO}_2:\text{CH}_4$ (碳源温室气体排放化学计量比或称为生态系统呼吸产物化学计量比)均具有明显的季节变化(图2),但2种植物 $\text{CO}_2:\text{CH}_4$ 的变化模式并不一致。涨潮前阶段,芦苇湿地和短叶茳芩湿地 $\text{CO}_2:\text{CH}_4$ 分别在6月(138.9)和12月(605.6)达到峰值,低值分别出现在8月(5.0)和6月(42.6),月平均值分别为55.4和185.0;在涨落潮过程,芦苇和

短叶茳芩湿地 $\text{CO}_2:\text{CH}_4$ 分别在 9 月(443.0)和 4 月(841.0)达到峰值,低值均出现在 12 月(7.6)和(56.3),月平均值分别为 96.3 和 305.5;落潮后阶段,芦苇和短叶茳芩湿地 $\text{CO}_2:\text{CH}_4$ 分别在 1 月(117.8)和 3 月(3105.0)达到峰值,低值分别出现在 8 月(8.8)和 10 月(46.0),月平均值分别为 68.7 和 648.6,峰值和低值的出现与潮汐性质和植物生长状态密切相关,但其机理性的研究有待今后进一步深入开展。从月平均值看,芦苇湿地 $\text{CO}_2:\text{CH}_4$ 表现为涨落潮过程>落潮后>涨潮前($P>0.05$),短叶茳芩湿地 $\text{CO}_2:\text{CH}_4$ 表现为落潮后>涨落潮过程中>涨潮前($P>0.05$),2 种植物湿地 $\text{CO}_2:\text{CH}_4$ 对潮汐的响应并不一致,但均在涨潮前表现为最低。涨潮前、涨落潮过程、落潮后均表现为芦苇湿地 $\text{CO}_2:\text{CH}_4$ 低于短叶茳芩湿地($P<0.05$)。

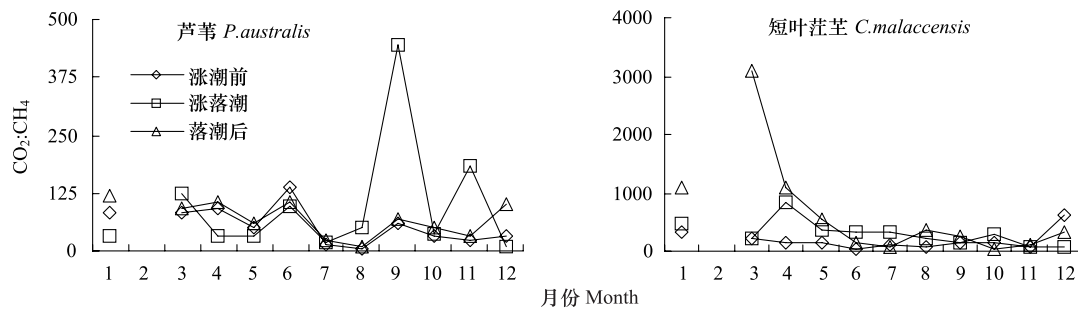


图2 芦苇湿地和短叶茳芩湿地 $\text{CO}_2:\text{CH}_4$ 月动态

Fig. 2 Monthly dynamics of $\text{CO}_2:\text{CH}_4$ in *P. australis* wetland and *C. malaccensis* wetland

除潮汐和植物因子外,气温、土温和 pH 值等环境因子均在不同程度上影响着二氧化碳和甲烷的排放(即对微生物活性的影响而调节二氧化碳和甲烷排放),因此也将对 $\text{CO}_2:\text{CH}_4$ 产生深刻地影响。本研究中,对淹水阶段的涨落潮过程 $\text{CO}_2:\text{CH}_4$ 与平均潮汐水位作以相关发现,芦苇湿地和短叶茳芩湿地 $\text{CO}_2:\text{CH}_4$ 与平均潮汐水位均呈现负相关($R=-0.457, P>0.05; R=-0.303, P>0.05$)。与此同时,对非淹水阶段(涨潮前和落潮后) $\text{CO}_2:\text{CH}_4$ 与气温、土温和 pH 值等因子作以相关分析,结果表明,芦苇湿地涨潮前 $\text{CO}_2:\text{CH}_4$ 主要受到多因子的影响,落潮后则表现为与气温、土温、pH 值和 Eh 的显著或极显著相关,短叶茳芩湿地则表现为涨潮前与落潮后均受到气温和土温的显著影响,综合来看,气温和土温是影响非淹水阶段湿地 $\text{CO}_2:\text{CH}_4$ 的主要因子(表 2),落潮后 $\text{CO}_2:\text{CH}_4$ 受到环境的调节作用明显,与潮水性质的月变化差异较大导致落潮后土壤理化特征的高度变异,涨潮前土壤的理化特征维持在相对稳定范围有关。

表2 $\text{CO}_2:\text{CH}_4$ 与环境因子的相关关系

Table 2 Correlation of $\text{CO}_2:\text{CH}_4$ and environmental factors

	芦苇湿地 <i>P. australis</i> wetland					短叶茳芩湿地 <i>C. malaccensis</i> wetland				
	气温 Air Temperature	土温 Soil Temperature	pH	Eh	盐度 Salinity	气温 Air Temperature	土温 Soil Temperature	pH	Eh	盐度 Salinity
涨潮前 Before flood	-0.506	-0.428	0.290	-0.316	0.462	-0.618 *	-0.658 *	0.269	-0.226	0.183
落潮后 After ebb	-0.748 **	-0.715 **	0.633 *	-0.721 **	0.471	-0.541 *	-0.543 *	0.493	-0.575 *	0.785 **

* 表示显著相关($P<0.05$); ** 表示极显著相关($P<0.01$)

2.4 不同研究尺度二氧化碳和甲烷排放化学计量比的变异性

芦苇和短叶茳芩湿地月平均的 $\text{CO}_2:\text{CH}_4$ 潮汐变异系数分别为 177.0% 和 157.5%,涨潮前、涨落潮过程以及落潮后的月平均的 $\text{CO}_2:\text{CH}_4$ 植物变异系数分别为 206.6%、200.3%、185.1%,涨潮前、涨落潮过程以及落潮后芦苇湿地和短叶茳芩湿地月平均的温度和植物生长条件等导致的 $\text{CO}_2:\text{CH}_4$ 月变异系数分别 111.4%、192.3%、104.7%;169.7%、162.5%、128.9%。植物差异导致的空间 $\text{CO}_2:\text{CH}_4$ 变异系数大于潮汐导致的 $\text{CO}_2:\text{CH}_4$ 日变异系数和温度和植物生长状态导致的 $\text{CO}_2:\text{CH}_4$ 月变异系数,即空间变异性>时间变异性(图 3),同时也说明对于同一植物湿地而言,对其 $\text{CO}_2:\text{CH}_4$ 变异性具有一定的调节作用,形成了相对较低的 $\text{CO}_2:\text{CH}_4$ 变异系数,植物种类

的差异使得光合作用、呼吸作用等均发生改变,其之间的 $\text{CO}_2:\text{CH}_4$ 变异性相对较高。

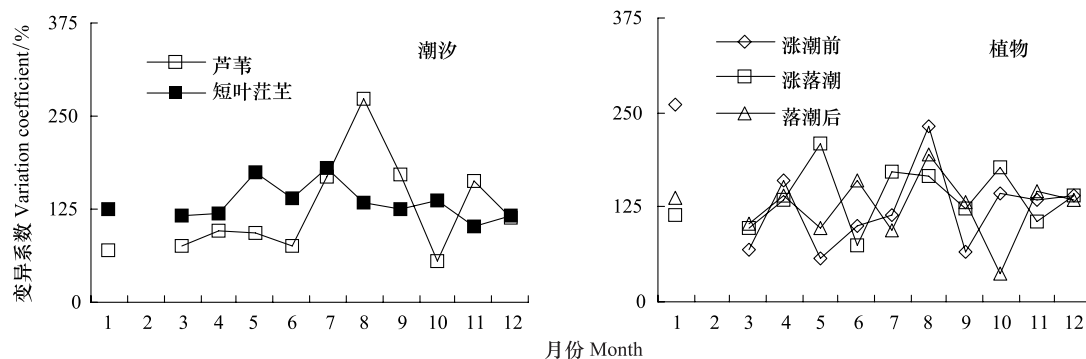


图3 湿地 $\text{CO}_2:\text{CH}_4$ 变异系数

Fig. 3 $\text{CO}_2:\text{CH}_4$ variation coefficient of wetland

3 结论与讨论

潮汐是闽江河口湿地水位变化的最为重要的因子,从月平均值看,芦苇湿地 $\text{CO}_2:\text{CH}_4$ 表现为涨落潮过程>落潮后>涨潮前,短叶荳蔻湿地 $\text{CO}_2:\text{CH}_4$ 表现为落潮后>涨落潮过程>涨潮前,2种植物湿地 $\text{CO}_2:\text{CH}_4$ 对潮汐的响应并不一致,但均在涨潮前表现为最低,说明受潮汐的影响(涨落潮过程和落潮后) $\text{CO}_2:\text{CH}_4$ 升高。作者认为主要是由于以下几方面原因造成的:第一,在潮水淹没地表之前,实际上地下水位也在升高,并以垂直流为主^[18],使得土壤中残存的氧气被排挤到大气中,生态系统呼吸的有氧呼吸二氧化碳产物逐渐减少,厌氧呼吸甲烷产物逐渐增加, $\text{CO}_2:\text{CH}_4$ 较低;第二,涨落潮过程潮汐带来的富含硫酸盐等电子受体的海水入侵,抑制了甲烷产生和排放(芦苇湿地和短叶荳蔻湿地分别比涨潮前降低了72.9%和83.3%),但二氧化碳的相对改变程度不大(芦苇和短叶荳蔻湿地分别比涨潮前降低了59.2%和54.2%),二氧化碳和甲烷的不等量变化形成了较高的 $\text{CO}_2:\text{CH}_4$;第三,落潮后主要是因为潮流退去的过程中,以水平流动为主^[18],使得氧气爆发式的输入,土壤环境处于极度厌氧向氧含量增加的趋势过渡,这种复杂情形下甲烷存在瞬时减小或恢复到涨潮前的潜势,二氧化碳排放则不断增加,在某一时刻可能超过涨潮前,直到最后达到涨潮前的水平,但落潮后二氧化碳和甲烷排放的恢复速度因植物及其底栖微生物的差异而有所不同,综观落潮后湿地二氧化碳和甲烷排放的变化趋势,势必会形成较高的 $\text{CO}_2:\text{CH}_4$ 。

此外,在涨潮前、涨落潮过程和落潮后均表现为芦苇湿地 $\text{CO}_2:\text{CH}_4$ 低于短叶荳蔻湿地(图4,采用的是月平均值),这与植物导致的二氧化碳和甲烷产生与释放机制的差异有关。二氧化碳主要源于植物和土壤的呼吸,受到植物体气体传输作用的影响较小,芦苇湿地和短叶荳蔻湿地生态系统呼吸中二氧化碳产物的大小关系虽然为芦苇湿地>短叶荳蔻湿地,但差异不显著($P>0.05$)。甲烷同样为芦苇湿地>短叶荳蔻湿地,除涨潮前差异不显著($P>0.05$),涨落潮过程中和落潮后差异显著($P<0.05$),由此可知相对于二氧化碳排放,甲烷排放的快速减小,是导致短叶荳蔻湿地形成较高 $\text{CO}_2:\text{CH}_4$ 的主要原因(短叶荳蔻湿地较芦苇湿地涨潮前、涨落潮过程、落潮后二氧化碳和甲烷降低的比例分别为40.0%和87.5%、32.7%和92.3%、10.0%和78.6%)。甲烷排放表现为短叶荳蔻湿地低于芦苇湿地,这与甲烷代谢过程密切相关,较低的甲烷产生潜力^[19]和低效的甲烷扩散传输方式使得短叶荳蔻湿地甲烷排放较低(芦苇以对流传输方式为主)^[20]。

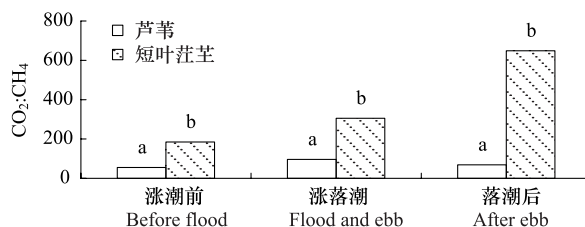


图4 芦苇湿地和短叶荳蔻湿地 $\text{CO}_2:\text{CH}_4$ 比较

Fig. 4 Comparison of $\text{CO}_2:\text{CH}_4$ in *P. australis* wetland and *C. malaccensis* wetland

同一过程不同字母表示差异显著

致谢:本研究在野外采样和室内样品分析过程中得到了福建师范大学黄佳芳、廖稷、姚顺、鄂焱、陈重安同学的帮助,特此致谢。

References:

- [1] Mitsch W J, Gosselink J M. Wetlands. 3rd ed. New York: John Wiley and Son, 2000.
- [2] He J S, Han X G. Ecological stoichiometry: searching for unifying principles from individuals to ecosystems. Chinese Journal of Plant Ecology, 2010, 34(1): 2-6.
- [3] Marichal R, Mathieu J, Couteaux M M, Mara P, Roy J, Lavelle P. Earthworm and microbe response to litter and soils of tropical forest plantations with contrasting C:N:P stoichiometric ratios. Soil Biology and Biochemistry, 2011, 43(7): 1528-1535.
- [4] Ågren G I. Stoichiometry and nutrition of plant growth in natural communities. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics, 2008, 39(1): 153-170.
- [5] Cleveland C C, Liptzin D. C:N:P stoichiometry in soil: is there a "Redfield ratio" for the microbial biomass? Biogeochemistry, 2007, 85(3): 235-252.
- [6] Tian H Q, Chen G S, Zhang C, Melillo J M, Hall C A S. Pattern and variation of C:N:P ratios in China's soils: a synthesis of observational data. Biogeochemistry, 2010, 98(1/3): 139-151.
- [7] McMillan A M S, Goulden M L, Tyler S C. Stoichiometry of CH₄ and CO₂ flux in a California rice paddy. Journal of Geophysical Research, 2007, 112: G01008, doi:10.1029/2006JG000198.
- [8] Whiting G J, Chanton J P. Primary production control of methane emission from wetlands. Nature, 1993, 364(6440): 794-795.
- [9] Whiting G J, Chanton J P. Greenhouse carbon balance of wetlands; methane emission versus carbon sequestration. Tellus B, 2001, 53(5): 521-528.
- [10] Liu J Q, Zeng C S, Chen N. Research of Minjiang River Estuary Wetland. Beijing: Science Press, 2005.
- [11] Zhang L H, Zeng C S, Tong C. Study on biomass dynamics of *Phragmites australis* and *Spartina alterniflora* in the wetlands of Minjiang River estuary. Journal of Subtropical Resources and Environment, 2008, 3(2): 25-33.
- [12] Zeng C S, Zhang L H, Tong C. Seasonal variation of nitrogen and phosphorus concentration and accumulation of *Cyperus malaccensis* in Minjiang River estuary. Chinese Journal of Ecology, 2009, 28(5): 788-794.
- [13] Tong C, Liu B G. Litter decomposition and nutrient dynamics in different tidal water submergence environments of estuarine tidal wetland. Geographical Research, 2009, 28(1): 118-128.
- [14] Jia R X, Tong C, Wang W Q, Zeng C S. Organic carbon contents and storages in the salt marsh sediments in the Min River estuary. Wetland Science, 2008, 6(4): 492-499.
- [15] Tong C, Wang W Q, Zeng C S, Marrs R. Methane (CH₄) emission from a tidal marsh in the Min River estuary, southeast China. Journal of Environmental Science and Health, Part A, 2010, 45(4): 506-516.
- [16] Wang D X, Ding W X, Wang Y Y. Influence of major environmental factors on difference of methane emission from Zoige Plateau and Sanjiang Plain wetlands. Scientia Geographica Sinica, 2003, 22(4): 500-503.
- [17] Hirota M, Tang Y H, Hu Q W, Hirata S, Kato T, Mo W H, Cao G M, Mariko S. Methane emissions from different vegetation zones in a Qinghai-Tibetan Plateau wetland. Soil Biology and Biochemistry, 2004, 36(5): 737-748.
- [18] Taillefert M, Neuheuser S, Bristow G. The effect of tidal forcing on biogeochemical processes in intertidal salt marsh sediments. Geochemical Transactions, 2007, 8(1): doi:10.1186/1467-4866-8-6.
- [19] Wang W Q, Zeng C S, Tong C. Effects of water-salinity properties and plant invasion on estuarine wetland soil methane production potential. System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture, 2009, 25(4): 481-786.
- [20] Zeng C S, Wang W Q, Zhang L H, Lin L Y, Ai J Q, Zhang W L. Methane fluxes of *Cyperus malaccensis* tidal wetland in Minjiang River estuary. Chinese Journal of Applied Ecology, 2010, 21(2): 500-504.

参考文献:

- [2] 贺金生, 韩兴国. 生态化学计量学: 探索从个体到生态系统的统一化理论. 植物生态学报, 2010, 34(1): 2-6.
- [10] 刘剑秋, 曾从盛, 陈宁. 闽江河口湿地研究. 北京: 科学出版社, 2005.
- [11] 张林海, 曾从盛, 全川. 闽江河口湿地芦苇和互花米草生物量季节动态研究. 亚热带资源与环境学报, 2008, 3(2): 25-33.
- [12] 曾从盛, 张林海, 全川. 闽江河口湿地短叶荳蔻氮、磷含量与积累量季节变化. 生态学杂志, 2009, 28(5): 788-794.
- [13] 全川, 刘白贵. 不同水淹环境下河口感潮湿地枯落物分解及营养动态. 地理研究, 2009, 28(1): 118-128.
- [14] 贾瑞霞, 全川, 王维奇, 曾从盛. 闽江河口盐沼湿地沉积物有机碳含量及储量特征. 湿地科学, 2008, 6(4): 492-499.
- [16] 王德宣, 丁维新, 王毅勇. 若尔盖高原与三江平原沼泽湿地 CH₄ 排放差异的主要环境影响因素. 湿地科学, 2003, 1(1): 63-67.
- [19] 王维奇, 曾从盛, 全川. 水、盐梯度及外来植物入侵对河口湿地土壤甲烷产生潜力的影响. 农业系统科学与综合研究, 2009, 25(4): 481-786.
- [20] 曾从盛, 王维奇, 张林海, 林璐莹, 艾金泉, 章文龙. 闽江河口短叶荳蔻盐沼湿地甲烷排放通量. 应用生态学报, 2010, 21(2): 500-504.

CONTENTS

Growth and physiological adaptation of <i>Messerschmidia sibirica</i> to sand burial on coastal sandy	WANG Jin, ZHOU Ruilian, ZHAO Halin, et al (4291)
Alleviation effect and mechanism of exogenous potassium nitrate and salicylic acid on the growth inhibition of <i>Pinus tabulaeformis</i> seedlings induced by deicing salts	ZHANG Ying, LI Fayun, YAN Xia, et al (4300)
Influence of different spatial-scale factors on stream macroinvertebrate assemblages in the middle section of Qiantang River Basin	ZHANG Yong, LIU Shuoru, YU Haiyan, et al (4309)
Species diversity and distribution pattern of non-volant small mammals along the elevational gradient on eastern slope of Gongga Mountain	WU Yongjie, YANG Qisen, XIA Lin, et al (4318)
A patch-based method for mechanism analysis on spatial dynamics of mangrove distribution	LI Chungan, LIU Suqing, FAN Huangqing, et al (4329)
Nutrient heterogeneity in fine roots of six subtropical natural tree species	XIONG Decheng, HUANG Jinxue, YANG Zhijie, et al (4343)
Variation of vegetation NDVI and its response to climate change in Zhejiang Province	HE Yue, FAN Gaofeng, ZHANG Xiaowei, et al (4352)
Heterogeneity in fine root respiration of six subtropical tree species	ZHENG Jinxing, XIONG Decheng, HUANG Jinxue, et al (4363)
Characteristics of ammonia-oxidizing bacteria and ammonia-oxidizing archaea abundance in soil organic layer under the subalpine/alpine forest	WANG Ao, WU Fuzhong, HE Zhenhua, et al (4371)
Effect of tillage systems on light fraction carbon in a purple paddy soil	ZHANG Junke, JIANG Changsheng, HAO Qingju, et al (4379)
Effects of prescribed fire on carbon sequestration of long-term grazing-excluded grasslands in Inner Mongolia	HE Nianpeng, HAN Xingguo, YU Guirui, et al (4388)
Stoichiometry of carbon dioxide and methane emissions in Minjiang River estuarine tidal wetland	WANG Weiqi, ZENG Congsheng, TONG Chuan, et al (4396)
Distribution and sources of particulate organic carbon in the Pearl River Estuary in summer 2010	LIU Qingxia, HUANG Xiaoping, ZHANG Xia, et al (4403)
The glucose-utilizing bacterial diversity in the cold spring sediment of Shawan, Xinjiang, based on stable isotope probing	CHU Min, WANG Yun, ZENG Jun, et al (4413)
Culture-dependent and culture-independent approaches to studying soil microbial diversity	LIU Guohua, YE Zhengfang, WU Weizhong (4421)
The classification of plant functional types based on the dominant herbaceous species in the riparian zone ecosystems in the Yiluo River	GUO Yili, LU Xunling, DING Shengyan (4434)
Genetic diversity of different eco-geographical populations in endangered plant <i>Prunus mongolica</i> by ISSR Markers	ZHANG Jie, WANG Jia, LI Haoyu, ZHANG Huirong, et al (4443)
Ecophysiological characteristics of higher-latitude transplanted mangrove <i>Kandelia candel</i> in strong tidal range area	ZHENG Chunfang, QIU Jianbiao, LIU Weicheng, et al (4453)
The effect of artificial warming during winter on white clover (<i>Trifolium repens</i> Linn): overwintering and adaptation to coldness in late spring	ZHOU Ruilian, ZHAO Mei, WANG Jin, et al (4462)
Estimating fine root production and mortality in subtropical <i>Altingia grailipes</i> and <i>Castanopsis carlesii</i> forests	HUANG Jinxue, LING Hua, YANG Zhijie, et al (4472)
The cloning and expression of WUE-related gene (<i>PdEPF1</i>) in <i>Populus deltoides</i> × <i>Populus nigra</i>	GUO Peng, JIN Hua, YIN Weilun, et al (4481)
The allelopathy of aquatic rhizome and root extract of <i>Thalia dealbata</i> to seedling of several aquatic plants	MIAO Lihua, WANG Yuan, GAO Yan, et al (4488)
Effect of the avirulent strain of <i>Ralstonia solanacearum</i> on the ecological characteristics of microorganism fatty acids in the rhizosphere of tobacco	ZHENG Xuefang, LIU Bo, LAN Jianglin, et al (4496)
Coupling remotely sensed information with a rice growth model by combining updating and assimilation strategies	WANG Hang, ZHU Yan, MA Mengli, et al (4505)
Effects of water temperature and body weight on metabolic rates of Yellowtail clownfish <i>Amphiprion clarkii</i> (Pisces: Perciformes) during larval development	YE Le, YANG Shengyun, LIU Min, et al (4516)
The distribution of chlorophyll a in the Southwestern Indian Ocean in summer	HONG Lisha, WANG Chunsheng, ZHOU Yadong, et al (4525)
Evaluation of the effects of ecological remediation on the water quality and biological toxicity of Dagou Drainage River in Tianjin	WANG Min, TANG Jingchun, ZHU Wenyong, et al (4535)
Quantitative dynamics of adult population and 3-D spatial pattern of <i>Ceoporus variabilis</i> (Baly)	WANG Wenjun, LIN Xuefei, ZOU Yunding, et al (4544)
Review and Monograph	
Studies on urban heat island from a landscape pattern view: a review	CHEN Ailian, SUN Ranhao, CHEN Liding (4553)
Sediment quality triad and its application in coastal ecosystems in recent years	WU Bin, SONG Jinming, LI Xuegang, et al (4566)
Discussion	
Food waste management in China: status, problems and solutions	HU Xinjun, ZHANG Min, YU Junfeng, et al (4575)
Scientific Note	
Effects of microchemical substances in anaerobic fermented liquid from rice straw and cyanobacteria on <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>niveum</i> growth	LIU Aimin, XU Shuangsoo, CAI Xin, et al (4585)
Ecological benefit-loss analysis of agricultural ecosystem in Foshan City, China	YE Yanqiong, ZHANG Jiaen, QIN Zhong, et al (4593)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究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;新书评介和学术、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,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 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 32 卷 第 14 期 (2012 年 7 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 32 No. 14 (July, 2012)

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	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
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
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	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:1000717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
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	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
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	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



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 70.00 元