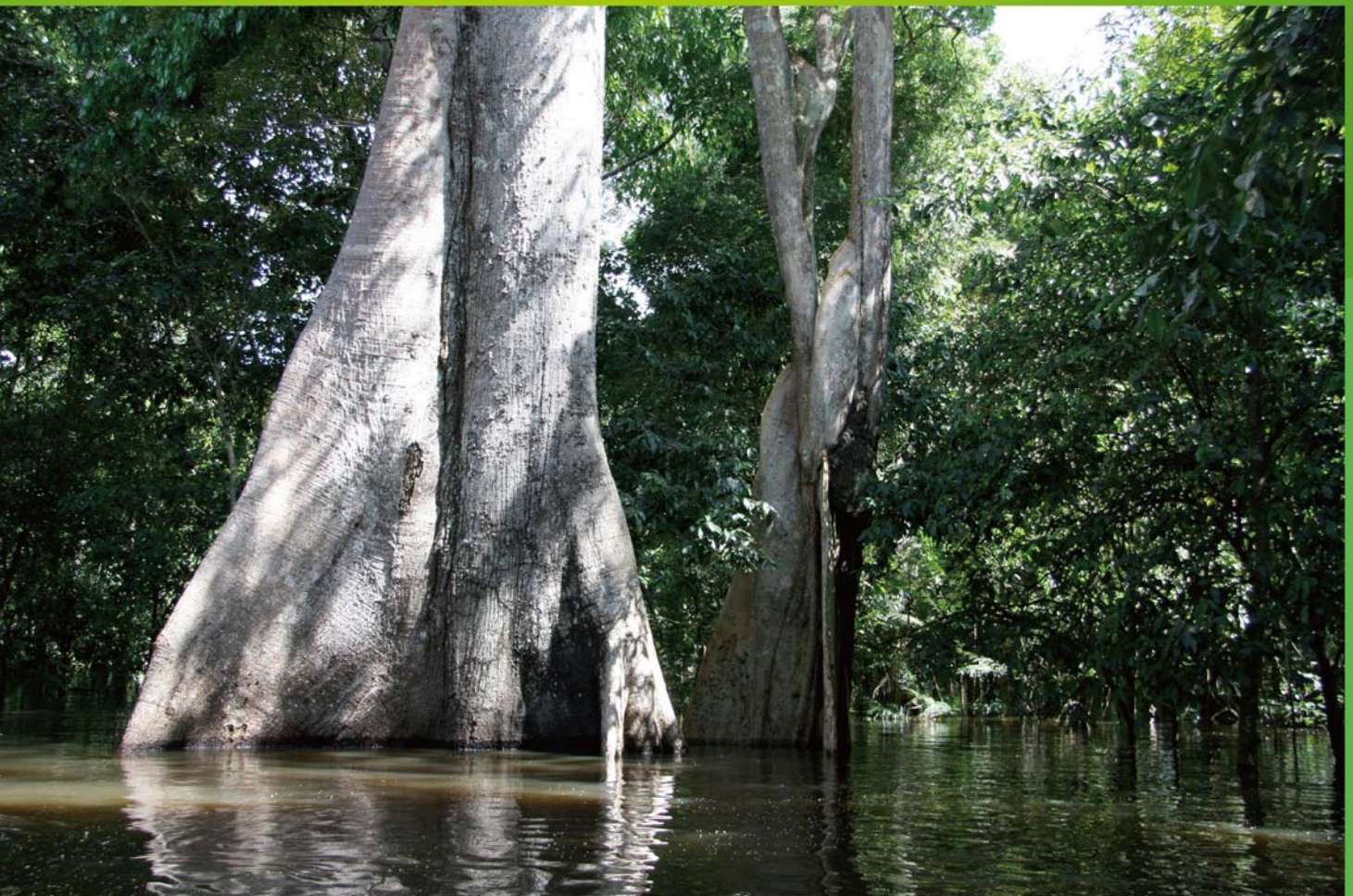


ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

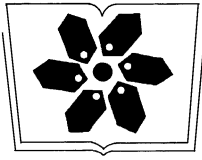
Acta Ecologica Sinica



第31卷 第8期 Vol.31 No.8 **2011**

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 31 卷 第 8 期

2011 年 4 月 (半月刊)

目 次

塔里木河下游胡杨径向生长与地下水的关系·····	安红燕,徐海量,叶 茂,等 (2053)
冲积平原区高程因子对土壤剖面质地构型的影响——以封丘县为例·····	檀满枝,密术晓,李开丽,等 (2060)
臭氧胁迫对大豆叶片抗坏血酸-谷胱甘肽循环的影响·····	王俊力,王 岩,赵天宏,等 (2068)
重要理化因子对小球藻生长和油脂产量的影响·····	张桂艳,温小斌,梁 芳,等 (2076)
北亚热带马尾松净生产力对气候变化的响应·····	程瑞梅,封晓辉,肖文发,等 (2086)
亚热带沟叶结缕草草坪土壤呼吸·····	李熙波,杨玉盛,曾宏达,等 (2096)
UV-B 辐射对马尾松凋落叶分解和养分释放的影响·····	宋新章,张慧玲,江 洪,等 (2106)
干旱胁迫下内生真菌感染对羽茅的生理生态影响·····	韩 荣,李 夏,任安芝,等 (2115)
蜜环菌对锌的耐性和富集特性·····	朱 林,程显好,李维焕,等 (2124)
干旱荒漠区狭叶锦鸡儿灌丛扩展对策·····	张建华,马成仓,刘志宏,等 (2132)
黄土高原区不同植物凋落物搭配对土壤微生物量碳、氮的影响·····	王春阳,周建斌,夏志敏,等 (2139)
内蒙古典型草原克氏针茅与冰草的生存策略·····	孙 建,刘 苗,李胜功,等 (2148)
荒漠沙柳根围 AM 真菌的空间分布·····	贺学礼,杨 静,赵丽莉 (2159)
开放式昼夜不同增温对单季稻影响的试验研究·····	董文军,邓艾兴,张 彬,等 (2169)
醉马草免培养内生细菌的多样性·····	张雪兵,史应武,曾 军,等 (2178)
河南生态足迹驱动因素的 Hi_PLS 分析及其发展对策·····	贾俊松 (2188)
禹城市耕地土壤盐分与有机质的指示克里格分析·····	杨奇勇,杨劲松,余世鹏 (2196)
旋覆花提取物对朱砂叶螨的生物活性及酶活性的影响·····	段丹丹,王有年,成 军,等 (2203)
白洋淀湖滨湿地岸边带氨氧化古菌与氨氧化细菌的分布特性·····	叶 磊,祝贵兵,王 雨,等 (2209)
干旱胁迫条件下 6 种喀斯特主要造林树种苗木叶片水势及吸水潜能变化·····	王 丁,姚 健,杨 雪,等 (2216)
桉树人工林物种多样性变化特征·····	刘 平,秦 晶,刘建昌,等 (2227)
海河流域湿地生态系统服务功能价值评价·····	江 波,欧阳志云,苗 鸿,等 (2236)
芦苇在微咸水河口湿地甲烷排放中的作用·····	马安娜,陆健健 (2245)
云南不同土壤铅背景值下大叶茶种群对铅的吸收积累特征及其遗传分化·····	刘声传,段昌群,李振华,等 (2253)
长江口和杭州湾凤鲚胃含物与海洋浮游动物的种类组成比较·····	刘守海,徐兆礼 (2263)
江西大岗山地区 7—9 月降水量的重建与分析·····	乔 磊,王 兵,郭 浩,等 (2272)
山核桃免耕经营的经济效益和生态效益·····	王正加,黄兴召,唐小华,等 (2281)
基于 GIS 的广州市中心城区城市森林可达性分析·····	朱耀军,王 成,贾宝全,等 (2290)
专论与综述	
土壤呼吸温度敏感性的影响因素和不确定性·····	杨庆朋,徐 明,刘洪升,等 (2301)
植物代谢速率与个体生物量关系研究进展·····	程栋梁,钟全林,林茂兹,等 (2312)
耕地生态补偿实践与研究进展·····	马爱慧,蔡银莺,张安录 (2321)
问题讨论	
元谋干热河谷三种植被恢复模式土壤贮水及入渗特性·····	刘 洁,李贤伟,纪中华,等 (2331)
研究简报	
中微量元素和有益元素对水稻生长和吸收镉的影响·····	胡 坤,喻 华,冯文强,等 (2341)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 296 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 33 * 2011-04



封面图说:巴西热带雨林——美丽的巴西北部玛瑙斯热带雨林景观。位于南美洲的亚马逊河是世界上流域最广、流量最大的河流,孕育了世界面积最大的热带雨林,雨林中蕴藏着极丰富的生物资源。

彩图提供:中国科学院生态环境研究中心徐卫华博士 E-mail: xuweihua@rcees.ac.cn

芦苇在微咸水河口湿地甲烷排放中的作用

马安娜, 陆健健*

(华东师范大学河口海岸国家重点实验室, 上海 200062)

摘要:以长江口微咸水河口湿地为研究对象,通过模拟潮汐淹没和改进的静态箱法,针对芦苇在不同淹水条件下对甲烷的传输作用进行了研究。结果表明,长期淹没样点割除芦苇前后平均甲烷释放分别为 $1.60 \text{ mgCH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ 和 $0.50 \text{ mgCH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$,而短期淹没样点割除芦苇前后平均甲烷释放分别为 $0.94 \text{ mgCH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ 和 $0.55 \text{ mgCH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ 。芦苇的存在增加了大约 41.5%—69% 的甲烷释放,割除芦苇导致长期淹没样点甲烷释放显著地减少。从淹水前到淹水后的一个潮周期内,长期淹没样点和短期淹没样点的甲烷释放分别在淹没期达到最小和最大释放 ($1.21 \text{ mgCH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ 和 $1.18 \text{ mgCH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$),说明芦苇对甲烷的传输作用受到潮汐淹没程度的影响。实验室针对芦苇自身产甲烷的可能性进行的离体芦苇茎干和叶片的甲烷释放研究发现,离体茎干释放大约 $0.7 \mu\text{L/L}$ 和 $0.2 \mu\text{L/L}$ 甲烷,且下部茎干的甲烷释放量要明显高于上部茎干和叶片,随后均不再增加。结果进一步证实芦苇增加的甲烷排放来自对土壤气体的传输。同时,传输作用主要发生在植株的下部茎干。

关键词:长江口;传输作用;淹没周期;芦苇

Effects of *Phragmites australis* on methane emission from a brackish estuarine wetland

MA Anna, LU Jianjian*

The State Key Laboratory of Estuarine and Coastal Research, East China Normal University, Shanghai 200062, China

Abstract: A self-deigned pond with different height steps was used to simulate the real flood current and ebb current by controlling water influx and efflux, and improved static closed chambers were placed on two steps of different heights to study methane facilitated by *P. australis* from different submergence condition, long-term submergence and short-term submergence, respectively. The results showed that mean methane emissions from the site of long-term submergence with and without *P. australis* were $1.60 \text{ mgCH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ and $0.50 \text{ mgCH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, respectively, while mean methane emissions from the site of short-term submergence with and without *P. australis* were $0.94 \text{ mgCH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ and $0.55 \text{ mgCH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, respectively. These sites at which *P. australis* were clipped had lower emission rates indicating an overall stimulating effect of plants on methane emission. The *P. australis* contributed 41.5%—69% of the total methane emission. In the site of long-term submergence, methane emission reduced obviously when the *P. australis* was clipped. During a cycle of flood current and ebb current, from pre-submergence, during the period of submergence to post-submergence, methane emissions from the site of long-term submergence and the site of short-term submergence reached the minimum ($1.21 \text{ mgCH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) and maximum ($1.18 \text{ mgCH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) when sites were submerged, and methane emission during the period of submergence differed significantly from pre-submergence and post-submergence, indicating that the transport effect of *P. australis* was affected directly by tidal submergence.

Incubation experiment was further conducted to study other possible reasons of different methane emissions besides transport effect. The study mainly focused on aerobic methane emission from aboveground tissues of *P. australis*. The stems and leaves were cut into small sections and sealed for measuring methane emission from these detached tissues. The results

基金项目:高等学校学科创新引智计划(B08022);上海市科学技术委员会项目(07DZ12039);华东师范大学优秀博士研究生培养基金(2009012)

收稿日期:2010-03-26; **修订日期:**2010-07-13

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jlu@sklec.ecnu.edu.cn

showed that methane emissions from detached stems were 0.2—0.7 $\mu\text{L/L}$. Physically cutting the stems hastened elimination of methane from the tissues in the incubation and then the stems ceased to emit methane, suggesting a microbial origin. *P. australis* transported microbially produced methane from wetland soil to the atmosphere. Methane concentration in the tissues of *P. australis* existed gradient change. Higher methane emission in the lower parts of stems than that in the higher parts of stems and leaves confirmed the transport effect of *P. australis*. Considering about the lowest methane emission from the site of long-term submergence happened in the period of submergence, our results may imply transport effect mainly exists in the lower parts of stems but not in leaves.

In summary, our results highlight the transport effect of *P. australis* on methane emission and the influence of tidal submergence. *P. australis* increased methane emission from estuarine wetland by facilitating methane from soil to the atmosphere, but not by producing and emitting methane under aerobic conditions. The tidal submergence increased methane emission from *Phragmites* wetland by affecting methane production and reduced methane emission probably by blocking the primary sites of methane release in the lower part of the plant stems. When the lower part of the plant stems was under water, methane emission to the atmosphere may decreased.

Key Words: Yangtze River estuary; transport effect; submergence periods; *Phragmites australis*

甲烷(CH_4)作为一种重要的大气痕量气体,对全球气候变暖和大气氧化还原化学起着重要的作用^[1]。 CH_4 的全球变暖效率是 CO_2 的 20—32 倍^[2-3]。目前大气中 CH_4 的平均浓度约为 1750 ppbv,几乎是工业革命前的两倍^[4]。Bloom 等^[5]估计北半球温带湿地的甲烷释放从 2003 年到 2007 年每年增加大约 6 TgC。

甲烷来源于有机物的厌氧分解过程,厌氧是甲烷产生的先决条件,因为甲烷生产菌属于厌氧菌^[6]。这些主要是针对土壤甲烷的产生而言的。但是,Kepper 等^[7]研究认为植被在有氧条件下通过一种未知途径产生甲烷。该结果引起了广泛争论^[8-9]。Dueck 等^[8]的研究并没有发现明显的甲烷释放,但是 Wang 等^[10]通过研究发现,少数水生植被和旱生灌木产生甲烷,但是旱生草本植物不产生甲烷。早期研究通常认为植被在甲烷释放中有 3 方面作用^[11]:(1) 光合作用可以提供 CH_4 产生所需要的碳底物,通过释放根系分泌物和凋落物等,为产甲烷菌提供底物;(2) 为 CH_4 排放提供通道;(3) 通过根系释放 O_2 ,从而在根际形成微氧化环境,氧化内源 CH_4 。

芦苇(*Phragmites australis*)作为世界湿地广布种,芦苇湿地是全球甲烷排放重要的源^[12]。研究认为芦苇占主导的湿地甲烷平均释放量高达 123 $\text{gCH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ ^[13]。芦苇在河口的分布,跨越了淡水河口湿地,微咸水湿地,盐沼,也是中国众多河口地区,包括辽河口,岷江口,珠江口的主导物种^[14]。众多的河口湿地甲烷研究集中在盐沼,针对盐度梯度的影响,认为甲烷释放和盐度梯度呈负相关^[15,16]。有关海尔德河口淡水潮汐芦苇湿地的研究进一步证实了淡水湿地比盐沼更高的甲烷释放,达 76 $\text{gCH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ ^[17]。在中国,有关河口甲烷的研究也多集中在盐沼。闽江口盐沼甲烷释放为 32.59 $\text{gCH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ ^[14],辽河三角洲盐沼甲烷为 4.56 $\text{gCH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ ^[18],长江口盐沼释放速率为 0.06—18.046 $\text{gCH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ ^[19]。而河口微咸水或者淡水芦苇湿地的研究并不多见。

针对芦苇在占主导的湿地甲烷释放中所起到的作用,有关光合作用固碳提供甲烷生成底质,已经得到大多数研究的认可^[18,20]。但是,芦苇在甲烷释放中的传输作用大小差异,特别是受到不同淹没程度下的传输作用,以及芦苇对甲烷的传输作用发生场所的研究尚无定论。

为了确定芦苇在微咸水河口湿地受到不同水淹情况下对甲烷释放所起的传输作用,以及芦苇作为水生植被自身是否具有产甲烷作用,本研究针对芦苇在提供甲烷排放的通道和芦苇自身释放甲烷能力两个方面进行了研究。主要包括:

(1) 芦苇在不同淹水下对甲烷的传输作用以及潮周期不同阶段传输作用差异;

(2) 芦苇产甲烷作用。

1 材料与方法

1.1 实验地点

西沙湿地位于上海市崇明岛西端,长江入海口的一级分叉口($31^{\circ}42'—31^{\circ}44'N$, $121^{\circ}12'—121^{\circ}16'E$,图1),到口门距离约为100km。潮汐类型属于非正规半日潮,周期为12.4h,同时具备月大潮和小潮,年枯季和洪季交替的特征。该区域的盐度在年内多数时候低于0.5,在枯季也不超过1.5,属于低盐度的微咸水河口湿地,也可称之为淡水潮汐湿地^[21]。主要植被类型为草本植物芦苇,其分布状态随着高程的降低呈现片状到斑块状分布。植株高度多介于2—3.5m。芦苇在不同高程受到潮汐淹没的时间也不相同。为了研究在该潮汐湿地的潮水淹没规律下,芦苇的甲烷释放和传输能力,在自设计的潮汐模拟池,进行了不同淹水条件下芦苇的存在对甲烷释放的影响研究。

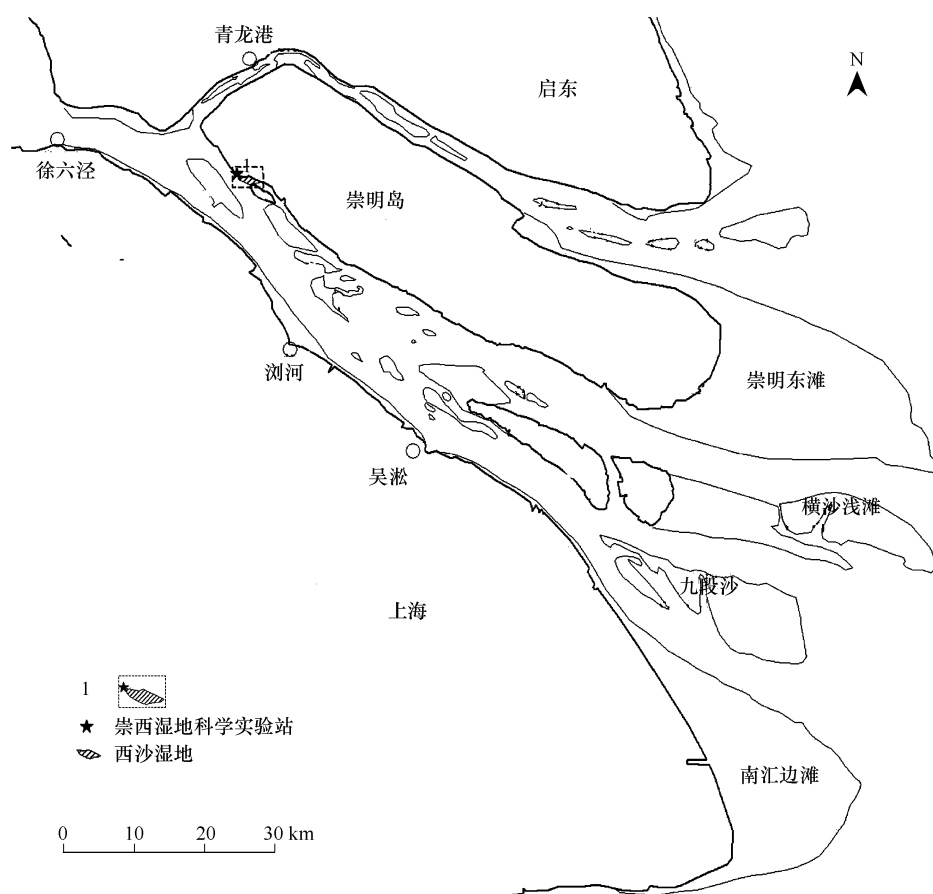


图1 长江口微咸水湿地位置示意图

Fig.1 Location of brackish wetland of the Yangtze River estuary

潮汐模拟池设置于距离西沙湿地大约1.5km的崇西湿地科学实验站。模拟池由不同高度的台阶构成,最初两个台阶高度为50cm,之后每个台阶高度差均为20cm,模拟不同的潮汐高程和淹水频率。通过控制池子的进水和出水来模拟潮汐的淹没和暴露,淹水用水直接来自于长江。实验所用的土壤和芦苇均采自崇西湿地科学实验基地。从实验基地取来30cm深的土壤,混合均匀后放置在40cm×40cm×40cm大小的底部有孔的箱子内,箱内移栽从基地选取的长势相似的芦苇。选取总高度分别为50cm和140cm的台阶模拟两种淹水时间和高度,分别为长期淹没样点(Site of long-term submergence, LS),短期淹没样点(Site of short-term submergence, SS),割除芦苇后两个高度样点分别为割除芦苇长期淹没样点(Nonvegetated site of long-term submergence, NLS),割除芦苇短期淹没样点(Nonvegetated site of short-term submergence, NSS)。长期淹水样

点在一个潮周期内被淹没时长约为 8h,短期淹没样点在一个潮周期内被淹没时长约为 3h。最高淹水高度分别达到 100cm 和 10cm。每个台阶放置 3 个箱子。箱体内土壤和芦苇稳定一个月之后,在 2009 年植被生长季,于 7 月 15—25 日进行连续的芦苇实验采样。采样分别在潮汐循环的 3 个时段进行,包括淹没前,淹没期,淹没后。

同时,为了测定芦苇自身的叶片或者茎干是否产生甲烷,于 2009 年 7 月 12—14 日进行了连续 2d 平行实验室实验。早上采集湿地长势较好的芦苇植株,连带根部整块土壤,尽快带回实验室,去离子水清洗,用吸水纸吸干表面水分。分别取叶片,上部茎干(距离根部约 150cm 以上),下部茎秆(距离根部约 5cm 以上),均切成 5cm 的小段,每个瓶子中放置 7—9 段。立即密封于带硅胶塞的 200mL 密封瓶中,用纯氮气冲洗瓶子 10min。然后每隔 1.5h 取瓶中气体 5mL,再注入等量氮气以保持瓶内压力。均设 3 个平行,同时设定空白样,用以检测无植被的情况下背景甲烷浓度是否有变化^[1,10]。

进行模拟池实验的同时,测定其它土壤指标,土壤含水量(Soil water content)用 WET-1 测定(Delta-T, UK),氧化还原电位(Oxidation-reduction potential)用 IQ150(Spectrum, America)测定。

1.2 气体采集

气体采集分析方法采用静态箱-气相色谱法。箱体设计在 Altor&Mitsch^[22]方法上有所改进。持久性底座为专门制作的大小 40cm×40cm×40cm 的底部中央留有空隙的聚乙烯箱体,上沿四周有 5cm 宽,7cm 高的水槽,水槽用作水气的密封界面。实验时箱体内放置土壤和种植密度相当的芦苇。持久性采样箱体由四条 PVC 管子和管子上的正方形 PVC 框架组成,框架大小与底座一致,便于计算采样箱体积。管子在底座内部四边中心处插入土壤,用以固定箱体形状。实验时用弹性带将 4mL 的透明密封膜固定在水槽内边缘之后,再在水槽中加水密封,具有双重密封保障。框架上有挂钩,用于采样时悬挂温度计和风扇。透明膜封闭整个装置,膜上有取样孔和通气孔。PVC 支架插入土壤以后尽量保持不动,以免搅动土壤。无论是否割除植被,箱体均高出地面 1.25m。在最初采样时,先抽取初始气体,然后每隔 5min,抽取一次气体,采集时间为 30min。采集后,尽快拿到实验室分析。

样品分析采用 Agilent GC7890 型气相色谱法,氢离子火焰检测器(FID)。色谱分析采用纯氮气为载气,流速为 60 mL/min,装备有 XMS (60/80)的 2mm×2mm 色谱柱,检测器温度为 250℃,柱温 65℃。通量基于 30min 内气体浓度的变化,采用线性模型计算。 CH_4 排放通量的计算公式为^[23]:

$$J = [dc/dt] M/V_0 \cdot P/P_0 \cdot T_0 H/T$$

式中, J 为 CH_4 排放通量($\text{mg m}^{-2}\text{h}^{-1}$), dc/dt 为采样箱内气体浓度随时间变化的斜率; M 为气体摩尔质量,对于 CH_4 而言,就是 16.12; V_0 为 CH_4 在标准状态下的摩尔体积,即 22.41L/mol; P 为采样点气压, T 为采样时的绝对温度; P_0 和 T_0 为标准状态下的空气压力和温度(分别为 1013.25hPa 和 273.15K); H 为水面以上采样箱高度。

1.3 数据分析

30min 内采集的 6 个气体样品浓度与采样时间间隔存在线形相关的关系,所有样品的相关系数均在 $R^2 > 0.90$ 时为有效数据,否则剔除该数据。One-way ANOVA 用于分析所采集到的甲烷气体在样点间以及割除植被前后的显著性差异,多重分析用 LSD 检验。所有的数据以 $P < 0.05$,达到显著差异。数据分析使用 Stat Soft's Statistica (Version 16.0, StatSoft Inc., 2007) 和 OriginPro (Version 8, OriginLab Inc., 2008)。

2 结果

2.1 芦苇对甲烷释放的影响

针对 2 个淹水时间和高度以及有无芦苇情况进行了甲烷释放的分析(图 2)。结果显示,在有芦苇的情况下,淹水时间短的 SS 区在淹没前,淹没期,淹没后分别释放 $0.77 \text{ mgCH}_4 \text{ m}^{-2}\text{h}^{-1}$, $1.18 \text{ mgCH}_4 \text{ m}^{-2}\text{h}^{-1}$, $0.87 \text{ mgCH}_4 \text{ m}^{-2}\text{h}^{-1}$,淹没期释放最多,与淹没前和淹没后差异显著($P < 0.05$),而淹没前和淹没后差异并不显著($P > 0.05$)。长期淹没的 LS 区在 3 个时段甲烷释放速率分别为 $1.75 \text{ mgCH}_4 \text{ m}^{-2}\text{h}^{-1}$, $1.21 \text{ mgCH}_4 \text{ m}^{-2}\text{h}^{-1}$, 1.85

$\text{mgCH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, 也同样为淹没期与淹没前和淹没后差异显著 ($P < 0.05$), 但是与 SS 不同的是, 淹没期甲烷释放最少。SS 和 LS 在整个潮汐循环淹没过程中的平均释放速率为 $0.94 \text{ mgCH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ 和 $1.60 \text{ mgCH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ 。

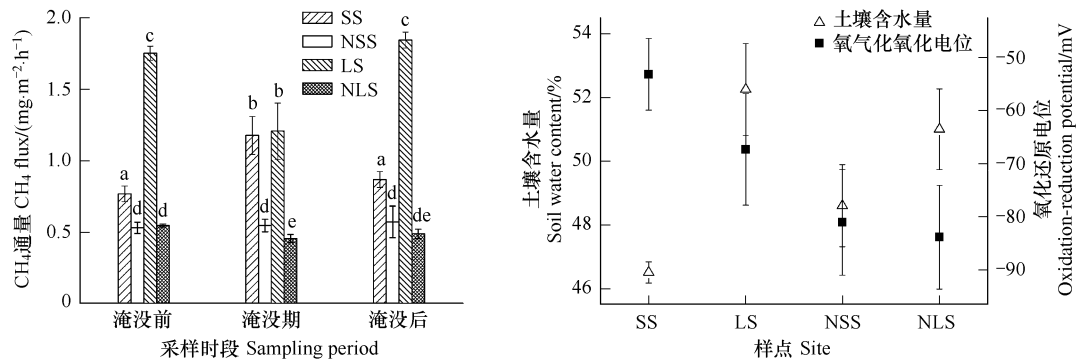


图2 甲烷释放以及土壤环境因素

Fig. 2 Methane emission and environment factors

SS, 短期淹没样点; LS, 长期淹没样点; NSS, 割除植被的短期淹没样点; NLS, 割除植被的长期淹没样点; 误差线代表标准误 (SE), 不同的字母代表样点间的甲烷释放显著性差异 ($P < 0.05$)

在后期植被割除以后, NSS 区和 NLS 区的甲烷释放平均值分别为 $0.55 \text{ mgCH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ 和 $0.50 \text{ mgCH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, 两个样点甲烷释放差异并不显著 ($P > 0.05$)。区别在于 NSS 区的甲烷从淹没前到淹没后稍有增加, 但是差异不显著 ($P > 0.05$); NLS 区的甲烷在淹没前稍高于淹没期和淹没后, 差异也不明显 ($P > 0.05$)。

对比芦苇存在与割除情况下甲烷释放, 在两种淹水情况下, 芦苇割除前的甲烷释放均明显高于割除后 ($P < 0.05$)。在淹没时间长的 LS 区, 芦苇割除后减少的甲烷释放达到大约 69%, 淹没时间短的 SS 区, 芦苇割除减少了大约 41.5% 的甲烷释放。可以看出, 在受到潮水淹没时间较长的区域, 植被的传输作用更加明显。

采集气体的同时, 实验分析了样点的土壤含水量和氧化还原电位 (图 2)。土壤含水量 SS 区最低, 平均为 46.5%, LS 区最高, 平均为 52.27%。SS 区与 LS 区和 NLS 区均差异显著 ($P < 0.01$), 但是与 NSS 区差异不显著 ($P > 0.05$)。LS 区与 NLS 差异不显著 ($P > 0.05$), 割除芦苇之后的 NSS 与 NLS 差异不显著 ($P > 0.05$)。两个样区在芦苇割除后氧化还原电位均有所下降, 割除前后电位变动范围为 $-53.12 \sim -83.77$ 。SS 区和 LS 区割除前后氧化还原电位差异均存在显著差异 ($P < 0.05$)。

2.2 芦苇产甲烷作用

在不同的时间段, 进行了甲烷气体浓度的分析, 见图 3。实验结果表明, 随着时间的增加, 叶片基本没有检测到甲烷释放 ($0.014 \sim 0.042 \text{ } \mu\text{L/L}$), 与背景甲烷值几乎没有差异 ($P > 0.05$)。上部茎干和下部茎干在初期均有甲烷产生 ($0.2 \text{ } \mu\text{L/L}$ 和 $0.7 \text{ } \mu\text{L/L}$), 但是随着每次的取样, 上部茎干和下部茎干在密封瓶中的甲烷释放均有所减少, 分别达到 $0.14 \text{ } \mu\text{L/L}$ 和 $0.57 \text{ } \mu\text{L/L}$ 。由此推断, 所测得的甲烷来自于储存在传输组织茎干中的甲烷释放, 在茎干受到外界刺激时, 可以更加快速的在初期释放出来, 而不是植株自身产生的。因为植被自身如果产生甲烷, 应该是逐步的平稳的甲烷释放或者释放量有所增加。

对比茎干的甲烷释放发现, 上部茎干的甲烷释放量明显小于下部茎干的甲烷释放量, 并且变化趋势一致。

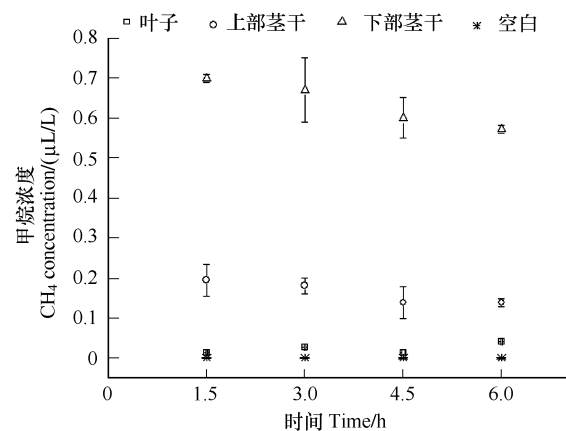


图3 甲烷浓度随着时间的变化

Fig. 3 Methane concentration change with time

误差线代表标准误 (SE)

这进一步证明,芦苇在湿地甲烷释放中仅仅是起到了传输土壤微生物产生的甲烷气体的作用,自身并不产生甲烷。并且,这种传输作用在植被茎干内存在梯度变化,到了叶片部位,几乎没有甲烷的存在,切割也没有发现明显的甲烷释放。

3 讨论

3.1 芦苇在甲烷释放中的作用

有芦苇存在时,两种淹水条件下的甲烷释放差异明显,淹水时间短的 SS 区的甲烷释放明显少于淹水时间长的 LS 区,推测甲烷的产生与土壤水状况以及植被生长有关系。

LS 区在淹没前后的甲烷释放均高于淹没期,说明淹没的过程中,过高的水位阻止了芦苇对甲烷气体的传输,因为淹水对植被传输气体的影响主要是阻止了植被下部茎干处的甲烷释放,而植被对甲烷的传输主要发生在茎干 10cm 以下部位^[24]。而 SS 区,淹没前后的甲烷释放比淹没期甲烷释放量要低,影响 SS 区甲烷释放的可能是甲烷的生产量,因为湿地水分含量不足以形成厌氧环境时有机物分解产物为 CO_2 ,而水分多造成淹水厌氧环境时有机物以厌氧分解为主,有大量的 CH_4 产生^[25]。SS 区在淹水时段的水深度一般小于 7cm,提供了比淹没前和淹没后相对较好的厌氧条件,但还不至于影响植被的传输。这也许是造成 SS 区在淹没期甲烷释放相对于淹没前和淹没后高的原因。

植被割除以后,两个样点的甲烷释放均明显减少。该研究结果说明芦苇的存在可以传输大约 41.5%—69% 的甲烷释放。有关植被在甲烷释放中的作用,见于一些研究^[26-27]。认为通过植被的通气组织传输的甲烷通常多于沉积物扩散和冒泡^[19,28]。不同的研究表明芦苇的传输能力存在差异,黄国宏认为土壤中形成的 CH_4 至少有 60% 以上是通过芦苇植株释放进入到大气中,有芦苇生长的土壤甲烷排放量比无芦苇生长地高很多^[18]。Sebacher 认为水生植被可以传输多于 50% 的甲烷^[29],Van der Nat 等在潮滩湿地的研究结果认为高达 90% 的甲烷净释放是通过芦苇系统^[28]。

但是,这种作用又受到淹水条件的制约而有所差异。割除芦苇以后,淹水少的 SS 区甲烷释放减少的量没有 LS 区减少的多。这可能与甲烷的传输机制有关系。甲烷主要通过两种机制从植物体传输,包括植株对流和扩散,扩散作用主要取决于沉积物和大气中甲烷浓度之间的梯度差,但是扩散作用要弱于对流作用^[30]。植被割除后,对流作用消失,主要通过扩散作用。而气体从土壤到大气的扩散要经过水层。LS 区淹没的时间较多,更高的淹没频率使得没有足够的时间降低土壤水位,并且深水的覆盖和长久的潮湿对甲烷释放存在抑制效应^[31],因为过量的水会构成气体扩散的直接阻碍^[32]。而 SS 区在植被割除后,尽管对流作用也消失,但是由于 SS 区的淹水比较浅,相对 LS 区而言,扩散作用被抑制的程度较弱。这也许是 SS 区甲烷释放减少较少的原因所在。水位的差异可以造成甲烷的释放差异^[33]。

从土壤含水量变化看来,SS 区有较低的土壤含水量,且植被割除前后变化不大。土壤氧化还原电位在植被割除前后差异显著,且割除芦苇后明显降低,说明芦苇的存在为根部提供了氧气,也间接证明了气体对流的存在。而割除芦苇后,尽管低氧化还原电位更利于甲烷的产生,但是甲烷释放依然减少,更进一步证实芦苇起着传输气体的作用。

该研究结果显示,芦苇具备传输作用,但是传输量和别的结果不太一致^[29]。尽管芦苇在夏季的时候对对流作用的抵抗力较弱,传输作用加强,而到了生长季后期抵抗力增强,对流传输作用减弱^[34]。也就是说,对流作用在温度高和干燥的夏季达到最大值^[35],但是,芦苇的传输作用与其它外在因素有相当密切的关系,即使在同一季节,不同地区的芦苇的传输作用也存在差异。潮滩湿地水位的淹没程度也会造成植被的传输作用强弱差异。

3.2 芦苇产甲烷作用

有关植被产甲烷作用,研究得出了不同的结论^[7-8,10]。Kepper 等^[7]提出植被的叶片能在有氧条件下大量产生甲烷,并用此来解释热带雨林地区大量的甲烷释放来源。而 Dueck 等^[8]通过 ^{13}C 标记研究,发现甲烷释放结果并不像 Kepper 提出的那样,植被并不产生大量甲烷。Wang 等^[10]对内蒙古草原的研究证明产生甲烷

的主要是旱生灌木。而有关产甲烷的原因,尚不是很清楚,推测异化代谢的加强可以增加甲烷的释放。

本研究发现,在实验初期,茎干有甲烷的释放,但是随着实验的进行,甲烷的释放并不再增加,而是随着瓶内气体被取出测定,浓度稍有减少。说明甲烷的产生只是芦苇割除之前储存在茎干内没有来得及释放的余气。因为微生物源的气体储存在茎干里,在受到切割作用的时候会迅速释放,反之,则是持续的释放。而叶片在整个实验过程中没有明显的甲烷释放,说明叶片并不产生甲烷,尽管某些水生植被的叶片在有氧条件下能够产生甲烷^[10],芦苇并不具备这种作用。

实验过程中,下部茎干的甲烷释放多于上部茎干,该结果证实了植被对甲烷的传输部位的研究^[24],也许是因为下半部分的空隙甲烷浓度较高^[30]。这也解释了不同的水文条件下芦苇的传输作用差异明显,从几乎没有传输作用^[36]到高达 90% 的传输量^[28]。

可见,在微咸水河口湿地,潮汐周期性的淹没和水位变化影响着芦苇对甲烷的传输作用,也使得受潮汐影响的河口湿地甲烷释放更加复杂。水淹提供了甲烷生产的厌氧条件,加强了甲烷的生成,而水淹又潜在的减少了甲烷的释放。同时,芦苇在潮滩湿地的分布和生理状况又受到淹水的影响^[37]。芦苇在通过光合作用固定二氧化碳的同时,也为甲烷的排放提供了通道。芦苇自身不产生甲烷,但是传输甲烷的作用却加强了潮汐淹没地区的甲烷释放。河口地区作为陆海交汇的地方,芦苇对甲烷的传输关系到大气界面和水中溶解甲烷的变化,直接影响到海洋的水气界面气体交换。同时,作为植被演替最快,生产力高的生态系统,不同潮汐高程的植被演替程度不同,河口芦苇湿地的研究有利于揭示植被在湿地甲烷排放的作用机理。

致谢:实验得到崇西湿地科学实验站的大力支持,吴翔,王昭,刘娜等参与了野外采样,中国科学院王智平副研究员,华东师范大学王东启老师对文章写作给予帮助,在此一并致谢。

References:

- [1] Wang Z P, Gullledge J, Zheng J Q, Liu W, Li L H, Han X G. Physical injury stimulates aerobic methane emissions from terrestrial plants. *Biogeosciences*, 2009, 6(1): 615-621.
- [2] Rodhe H. A comparison of the contribution of various gases to the greenhouse effect. *Science*, 1990, 248(4960): 1217-1219.
- [3] Le Mer J, Roger P. Production, oxidation, emission and consumption of methane by soils; A review. *European Journal of Soil Biology*, 2001, 37(1): 25-50.
- [4] Marsh G E. Climate change 2001: a critique//National Policy Analysis. Washington: National Center for Public Policy Research, 2003: 1-25.
- [5] Bloom A A, Palmer P I, Fraser A, Reay D S, Frankenberg C. Large-scale controls of methanogenesis inferred from methane and gravity spaceborne data. *Science*, 2010, 327(5963): 322-325.
- [6] Wang Z P, Zeng D, Patrick W H. Methane emissions from natural wetlands. *Environmental Monitoring Assessment*, 1996, 42(1/2): 143-161.
- [7] Keppler F, Hamilton J T G, BrabM, Rockmann T. Methane emissions from terrestrial plants under aerobic conditions. *Nature*, 2006, 439(7073): 187-191.
- [8] Dueck T A, de Visser R, Poorter H, Persijn S, Gorissen A, de Visser W, Schapendonk A, Verhagen J, Snel J, Harren F J M, Ngai A K Y, Verstappen F, Bouwmeester H, Voeselek L A C J, Van der Werf A. No evidence for substantial aerobic methane emission by terrestrial plants: a ¹³C-labelling approach. *New Phytologist*, 2007, 175(1): 29-35.
- [9] Dueck T, van der Werf A. Are plants precursors for methane? *New Phytologist*, 2008, 178(4): 693-695.
- [10] Wang Z P, Han X G, Wang G G, Song Y, Gullledge J. Aerobic methane emission from plants in the Inner Mongolia Steppe. *Environmental Science & Technology*, 2008, 42(1): 62-68.
- [11] Ding W X, Cai Z C. Effect of plants on methane production, oxidation and emission. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(8): 1379-1384.
- [12] Duan X N, Wang X K, Ouyang Z Y. Influence of Common Phragmites (*Phragmites australis*) on CH₄ production and transport in wetlands: Results from single-plant laboratory experiments. *Water, Air, & Soil Pollution*, 2009, 197(1/4): 185-191.
- [13] Kankaala P, Ojala A, Kaki T. Temporal and spatial variation in CH₄ emissions from a flooded transgression shore of a boreal lake. *Biogeochemistry*, 2004, 68(3): 297-311.
- [14] 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.
- [15] Bartlett K B, Bartlett D S, Harriss R C, Sebacher D I. Methane emissions along a salt marsh salinity gradient. *Biogeochemistry*, 1987, 4: 183-202.
- [16] Magenheimer J F, Moore T R, Chmura G L, Daous R J. Methane and carbon dioxide flux from a macrotidal salt marsh, Bay of Fundy, New

- Brunswick. *Estuaries and Coasts*, 1996, 19(1): 139-145.
- [17] Van der Nat F J W A, Middelburg J J. Effects of two common macrophytes on methane dynamics in freshwater sediments. *Biogeochemistry*, 1998, 43(1): 79-104.
- [18] Huang G H, Xiao D N, Li Y X, Chen G X, Yang Y C, Zhao C W. CH₄ emission from the Phragmites wetland. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(9): 1494-1497.
- [19] Wang D Q, Chen Z L, Xu S Y. Methane emission from Yangtze estuarine wetland, China. *Journal of Geophysical Research*, 2009, 114: G02011, doi: 10.1029/2008JG000857.
- [20] Yavitt J B, Lang G E, Wieder R K. Control of carbon mineralization to CH₄ and CO₂ in anaerobic, *Sphagnum*-derived peat from Big Run Bog, West Virginia. *Biogeochemistry*, 1987, 4: 141-157.
- [21] Shen H T, Mao Z C, Zhu J R. Saltwater Intrusion in the Changjiang Estuary. Beijing: Ocean Press, 2003: 68-74.
- [22] Altor A E, Mitsch W J. Pulsing hydrology, methane emissions and carbon dioxide fluxes in created marshes: a 2-year ecosystem study. *Wetlands*, 2008, 28(2): 423-438.
- [23] Wickland K P. Carbon gas exchange at a southern Rocky Mountain wetland, 1996 — 1998. *Global Biogeochemistry Cycles*, 2001, 15(2): 321-335.
- [24] Van der Nat F J W A, Middelburg J J. Methane emission from tidal freshwater marshes. *Biogeochemistry*, 2000, 49: 103-121.
- [25] Yang G R, Tong C L, Zhang W J, Wu J S. Decomposition of Organic matter by soil microorganisms in terrestrial carbon cycling and its influence factors. *Chinese Journal of Soil Science*, 2005, 36(4): 605-609.
- [26] Schimel J P. Plant transport and methane production as controls on methane flux from arctic wet meadow tundra. *Biogeochemistry*, 1995, 28: 183-200.
- [27] Christensen T R, Panikov N, Mastepanov M, Joabsson A, Stewart A, Öquist M, Sommerkorn M, Reynaud S, Svensson B. Biotic controls on CO₂ and CH₄ exchange in wetlands — a closed environment study. *Biogeochemistry*, 2003, 64(3): 337-354.
- [28] Van der Nat F J W A, Middelburg J J, van Meeteren D, Wielemaers A. Diel methane emission patterns from *Scirpus lacustris* and *Phragmites australis*. *Biogeochemistry*, 1998, 41(1): 1-22.
- [29] Sebacher D I, Harriss R C, Bartlett K B. Methane emissions to the atmosphere through aquatic plants. *Journal of Environmental Quality*, 1985, 14: 40-46.
- [30] Kåki T, Ojala A, Kankaala P. Diel variation in methane emissions from stands of *Phragmites australis*(Cav.) Trin. ex Steud. and *Typha latifolia* L. in a boreal lake. *Aquatic Botany*, 2001, 71(4): 259-271.
- [31] Yu Z, Shanguan X, Pollard D, Barron E J. Simulating methane emission from a Chinese rice field as influenced by fertilizer and water level. *Hydrological Processes*, 2003, 17(17): 3485-3501.
- [32] Heinsch F A, Heilman J L, McInnes K J, Cobos D R, Zuberer D A, Roelke D L. Carbon dioxide exchange in a high marsh on the Texas Gulf Coast: effects of freshwater availability. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2004, 125(1/2): 159-172.
- [33] Walter B P, Heimann M. A process-based, climate-sensitive model to derive methane emissions from natural wetlands: Application to five wetland sites, sensitivity to model parameters, and climate. *Global Biogeochemistry Cycles*, 2000, 14(3): 745-765.
- [34] Kohl J G, Henze R, Kühl H. Evaluation of the ventilation resistance to convective gas-flow in the rhizomes of natural *Phragmites* beds of *Phragmites australis*(Cav.) Trin. ex Steud. *Aquatic Botany*, 1996, 54: 199-210.
- [35] Brix H, Sorrell B K, Schierup H H. Gas transport achieved by in situ convective flow in *Phragmites australis*. *Aquatic Botany*, 1996, 54: 151-163.
- [36] Altor A E, Mitsch W J. Methane flux from created riparian marshes: Relationship to intermittent versus continuous inundation and emergent macrophytes. *Ecological Engineering*, 2006, 28: 224-234.
- [37] Bornman T G, Adams J B, Bate G C. Environmental factors controlling the vegetation zonation patterns and distribution of vegetation types in the Olifants Estuary, South Africa. *South African Journal of Botany*, 2008, 74: 685-695.

参考文献:

- [11] 丁维新, 蔡祖聪. 植物在 CH₄ 产生、氧化和排放中的作用. *应用生态学报*, 2003, 14(8): 1379-1384.
- [18] 黄国宏, 肖笃宁, 李玉祥, 陈冠雄, 杨玉成, 赵长伟. 芦苇湿地温室气体(CH₄) 排放研究. *生态学报*, 2001, 21(9): 1494-1497.
- [21] 沈焕庭, 茅志昌, 朱建荣. 长江河口盐水入侵. 北京: 海洋出版社, 2003: 68-74.
- [25] 杨钙仁, 童成立, 张文菊, 吴金水. 陆地碳循环中的微生物分解作用及其影响因素. *土壤通报*, 2005, 36(4): 605-609.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 8 April, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

The relationship between <i>Populus euphratica</i> 's radial increment and groundwater level at the lower reach of Tarim River	AN Hongyan, XU Hailiang, YE Mao, et al (2053)
Influence of elevation factor on soil profile texture configuration: a case study of the alluvial plain of Fengqiu County	TAN Manzhi, MI Shuxiao, LI Kaili, et al (2060)
Effects of ozone on AsA-GSH cycle in soybean leaves	WANG Junli, WANG Yan, ZHAO Tianhong, et al (2068)
The effects of physical and chemical factors on the growth and lipid production of <i>Chlorella</i>	ZHANG Guiyan, WEN Xiaobin, LIANG Fang, et al (2076)
Response of net productivity of masson pine plantation to climate change in North Subtropical Region	CHENG Ruimei, FENG Xiaohui, XIAO Wenfa, et al (2086)
Soil respiration of <i>Zoysia matrella</i> turfgrass in subtropics	LI Xibo, YANG Yusheng, ZENG Hongda, et al (2096)
Effect of UV-B radiation on the leaf litter decomposition and nutrient release of <i>Pinus massoniana</i>	SONG Xinzhang, ZHANG Huiling, JIANG Hong, et al (2106)
Physiological ecological effect of endophyte infection on <i>Achnatherum sibiricum</i> under drought stress	HAN Rong, LI Xia, REN Anzhi, et al (2115)
Zinc Tolerance and Accumulation Characteristics of <i>Armillaria mellea</i>	ZHU Lin, CHENG Xianhao, LI Weihuan, et al (2124)
Expansion strategies of <i>Caragana stenophylla</i> in the arid desert region	ZHANG Jianhua, MA Chengchang, LIU Zhihong, et al (2132)
Effects of mixed plant residues from the Loess Plateau on microbial biomass carbon and nitrogen in soil	WANG Chunyang, ZHOU Jianbin, XIA Zhimin, et al (2139)
Survival strategy of <i>Stipa krylovii</i> and <i>Agropyron cristatum</i> in typical steppe of Inner Mongolia	SUN Jian, LIU Miao, LI Shengcong, et al (2148)
Spatial distribution of arbuscular mycorrhizal fungi in <i>Salix psammophila</i> root-zone soil in Inner Mongolia desert	HE Xueli, YANG Jing, ZHAO Lili (2159)
An experimental study on the the effects of different diurnal warming regimes on single cropping rice with Free Air Temperature Increased (FATI) facility	DONG Wenjun, DENG Aixin, ZHANG Bin, et al (2169)
Endophytic bacterial diversity in <i>Achnatherum inebrians</i> by culture-independent approach	ZHANG Xuebing, SHI Yingwu, ZENG Jun, et al (2178)
Hierarchical Partial Least Squares (Hi_PLS) model analysis of the driving factors of Henan's Ecological Footprint (EF) and its development strategy	JIA Junsong (2188)
Evaluation on spatial distribution of soil salinity and soil organic matter by indicator Kriging in Yucheng City	YANG Qiyong, YANG Jinsong, YU Shipeng (2196)
The toxicity of lupeol of <i>Inula britannica</i> on <i>Tetranychus cinnabarinus</i> and its effects on mite enzyme activity	DUAN Dandan, WANG Younian, CHENG Jun, et al (2203)
Abundance and biodiversity of ammonia-oxidizing archaea and bacteria in littoral wetland of Baiyangdian Lake, North China	YE Lei, ZHU Guibing, WANG Yu, et al (2209)
Changes of leaf water potential and water absorption potential capacities of six kinds of seedlings in Karst mount area under different drought stress intensities: Taking six forestation seedlings in karst Mountainous region for example	WANG Ding, YAO Jian, YANG Xue, et al (2216)
Comparison of structure and species diversity of <i>Eucalyptus</i> community	LIU Ping, QIN Jing, LIU Jianchang, et al (2227)
Ecosystem services valuation of the Haihe River basin wetlands	JIANG Bo, OUYANG Zhiyun, MIAO Hong, et al (2236)
Effects of <i>Phragmites australis</i> on methane emission from a brackish estuarine wetland	MA Anna, LU Jianjian (2245)
Genetic differentiation and the characteristics of uptake and accumulation of lead among <i>Camellia sinensis</i> populations under different background lead concentrations of soils in Yunnan, China	LIU Shengchuan, DUAN Changqun, LI Zhenhua, et al (2253)
Comparison of zooplankton lists between <i>Coilia mystus</i> food contents and collections from the Yangtze River Estuary & Hangzhou Bay	LIU Shouhai, XU Zhaoli (2263)
Reconstruction and analysis of July-September precipitation in Mt. Dagangshan, China	QIAO Lei, WANG Bing, GUO Hao, et al (2272)
Analysis on economic and ecological benefits of no-tillage management of <i>Carya cathayensis</i>	WANG Zhengjia, HUANG Xingzhao, TANG Xiaohua, et al (2281)
GIS-based analysis of the accessibility of urban forests in the central city of Guangzhou, China	ZHU Yaojun, WANG Cheng, JIA Baoquan, et al (2290)
Review and Monograph	
Impact factors and uncertainties of the temperature sensitivity of soil respiration	YANG Qingpeng, XU Ming, LIU Hongsheng, et al (2301)
The advance of allometric studies on plant metabolic rates and biomass	CHENG Dongliang, ZHONG Quanlin, LIN Maozi, et al (2312)
Practice and the research progress on eco-compensation for cultivated land	MA Aihui, CAI Yinying, ZHANG Anlu (2321)
Discussion	
Soil water holding capacities and infiltration characteristics of three vegetation restoration models in dry-hot valley of Yuanmou	LIU Jie, LI Xianwei, JI Zhonghua, et al (2331)
Scientific Note	
Effects of secondary, micro- and beneficial elements on rice growth and cadmium uptake	HU Kun, YU Hua, FENG Wenqiang, et al (2341)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1~9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

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 31 卷 第 8 期 (2011 年 4 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 8 2011

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:100717	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@csppg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@csppg.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