

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第38卷 第1期

Vol.38 No.1

2017

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

南京北郊冬季挥发性有机物来源解析及苯系物健康评估 张玉欣,安俊琳,林旭,王俊秀,师远哲,刘静达(1)

南京冬季重污染过程中黑碳气溶胶的混合态及粒径分布 蒋磊,汤莉莉,潘良宝,刘丹彤,花艳,张运江,周宏仓,崔玉航(13)

基于 GAM 模型分析影响因素交互作用对 PM_{2.5} 浓度变化的影响 贺祥,林振山(22)

模拟烹饪油烟的粒径分布与扩散 李双德,徐俊波,莫胜鹏,李文辉,高佳佳,曹亚裙,陈运法(33)

基于光谱分析仪的通量-梯度法测量小型池塘水-气界面温室气体交换通量 张维,唐翔宇,鲜青松(41)

闽江口短叶茳茅 + 芦苇沼泽湿地大、小潮日土壤间隙水溶解性 CH₄ 与 CO₂ 浓度日动态 谭立山,杨平,何雨露,黄佳芳,胡智强,全川(52)

河南鸡冠洞 CO₂ 季节和昼夜变化特征及影响因子比较 张萍,杨琰,孙喆,梁沙,张娜,田宁,李建仓,凌新有,张志钦(60)

蠡湖表层沉积物荧光溶解性有机质(FDOM)荧光光谱特征 陈俊伊,王书航,姜霞,黄晓峰,赵丽(70)

滇池沉积物有机质沉积特征与来源解析 韩秀秀,黄晓虎,余丽燕,杨浩,黄昌春,黄涛,余艳红,罗玉(78)

紫色土小流域浅层井水中胶体颗粒的季节变化 张维,唐翔宇,鲜青松(87)

太湖湖滨带春季悬浮物沉降特征与水体营养盐响应 祁闯,王国祥,吴馨婷,许晓光,韩睿明,吴松峻(95)

基于 LDI 的土地利用类型与湿地水质的相关性:以苏州太湖三山岛国家湿地公园为例 杨朝辉,苏群,陈志辉,白俊武,钱新强,张志敏(104)

基于分位数回归的洱海藻类对氮、磷及水质的响应特征 陈小华,李小平,钱晓雍,胡双庆(113)

深水型水库藻类生态功能组(MBFG)的季节演替特征 杨毓,卢金锁,张颖(121)

三峡库区水体中可溶性 C、N 变化及影响因素 范志伟,郝庆菊,黄哲,柴雪思,江长胜(129)

三峡库区古夫河小流域氮磷排放特征 华玲玲,李文超,翟丽梅,崔超,刘宏斌,任天志,张富林,雷秋良(138)

黄土高原坝系流域干湿季交替下氮输出特征及其源解析:以羊圈沟为例 贾璐杰,高扬,陈维梁,郝卓,汪亚峰,陈利顶(147)

5 种沉水植物的氮、磷吸收和水质净化能力比较 金树权,周金波,包薇红,陈君,李丹丹,李洋(156)

骆马湖表层水体中 32 种 PPCPs 类物质的污染水平、分布特征及风险评估 张芹,张圣虎,汪贞,郭敏,刘济宁,石利利,古文(162)

大冶湖表层沉积物-水中多环芳烃的分布、来源及风险评价 张家泉,胡天鹏,邢新丽,郑煌,张丽,占长林,刘红霞,肖文胜,祁士华(170)

pH 和络合剂对五价砷在水钠锰矿和水铁矿表面吸附行为的影响 王华伟,李晓月,李卫华,孙英杰(180)

紫外辐射对高岭土混凝过程的影响机制 王文东,王昌鑫,刘荟,韩雨(188)

水环境中溶解态腐殖酸对锌抗甲状腺激素干扰效应的影响 艾扬,孔东东,于畅,沈扬,李剑(195)

污水中常见违禁药物分析方法优化及验证 高婷婷,杜鹏,徐泽琼,杨军,张华方,李喜青(201)

阴极电场增强活性炭纤维-臭氧体系去除水中硝基苯 赵纯,张帅,周宇,李琨,周炜,黎鹏宇,杨广,孙志华,郑怀礼(212)

碳纳米管改性 PVDF 中空纤维超滤膜处理二级出水抗污染性能研究 王利颖,石洁,王凯伦,关羽琪,郭瑾(220)

曝气生物滤池(Fe²⁺)-臭氧组合工艺强化处理石化二级出水 徐敏,吴昌永,周岳溪,郭明昆,王翼(229)

4 种反应器中厌氧氨氧化菌完整烷烃的特异性 王晗,方芳,李凯,邢晖,郭劲松,陈猷鹏,曾前松(238)

疏自养填充床反应器降解水中高浓度高氯酸盐的特性及菌群分析 张超,陶华强,宋圆圆,逯彩彩,郭延凯,廉静,郭建博(247)

CANON 在 SBAF 中的快速启动及其微生物特征 刘竹寒,岳秀,于广平,金腊华,唐嘉丽,吉世明(253)

高浓度游离氨冲击负荷对生物硝化的影响机制 季民,刘灵婕,翟洪艳,刘京,苏晓(260)

有机物对亚硝化颗粒污泥中功能菌活性的影响 王书永,钱飞跃,王建芳,沈耀良(269)

一种新型生物膜法除磷工艺中聚磷菌的富集培养过程 郑莹,潘杨,周晓华,廖旭弘,孟璇,夏健伟(276)

应用于矿山修复的高效菌株鉴定与溶岩机制:基于增强回归树分析 吴雁雯,张金池,郭晓平,刘鑫(283)

镉对铜绿假单胞菌降解水体中壬基酚的影响 史广宇,程媛媛,施维林(294)

华北平原不同农田管理措施对于土壤碳库的影响 石小霞,赵诣,张琳,吴文良,孟凡乔(301)

缙云山柑橘林土壤微生物磷脂脂肪酸(PLFAs)及酶活性的季节变化特征 李南洁,曾清苹,何丙辉,周飞(309)

中条山十八河铜尾矿库微生物群落组成与环境适应性 刘晋仙,李鑫,景炬辉,贾彤,刘兴港,王小云,柴宝峰(318)

安徽省部分城市土壤中全氟化合物空间分布及来源解析 李法松,倪卉,黄涵宇,徐志兵,张倩,李长霞,黄文秀,金陶胜(327)

不同温度制备的生物质炭对土壤有机碳及其组分的影响:对土壤活性有机碳的影响 赵世翔,于小玲,李忠徽,杨艳,刘丹,王旭东,张阿凤(333)

水分管理模式与土壤 Eh 值对水稻 Cd 迁移与累积的影响 田桃,曾敏,周航,徐璐,杨文骏,辜娇峰,邹佳玲,张平,彭佩钦,廖柏寒(343)

苾、镉单一及复合污染胁迫下土壤生态功能稳定性的影响机制 陈欣瑶,杨惠子,李敏,牛晓丛,苏雨轩,张园(352)

生物炭、蒙脱石及其混合添加对复合污染土壤中重金属形态的影响 高瑞丽,唐茂,付庆立,郭光光,李响,胡红青(361)

某电镀厂六价铬污染土壤还原稳定化试剂筛选与过程监测 李培中,吕晓健,王海见,杨苏才,魏文侠,宋云(368)

多孔 SBA-15 颗粒对 Cd(II) 的吸附缝合及其对土壤 Cd(II) 的修复潜力 黄辉,宁西翠,郭瞻宇,郭堤,张增强,李荣华,王力,Ali Amjad(374)

卤系阻燃剂在东江水体中的生物富集 何明靖,杨婷,李琦,王登祥,赵佳渊(382)

广州市蔬菜中重金属污染特征研究与评价 陈志良,黄玲,周存宇,钟松雄,王欣,戴玉,蒋晓璐(389)

蔬菜镉(Cd)富集因子变化特征及其影响因素 杨阳,李艳玲,陈卫平,王美娥,彭驰(399)

施用污泥堆肥品对土壤和植物总汞及甲基汞的影响 余亚伟,杨雨洽,张成,易建婷,安思危,王定勇(405)

大气臭氧污染对冬小麦气孔吸收通量的影响机制及其时空格局 赵辉,郑有飞,曹嘉晨,徐静馨,黄积庆,袁月(412)

《环境科学》征稿简则(12) 《环境科学》征订启事(194) 信息(21, 51)

闽江口短叶茳茳 + 芦苇沼泽湿地大、小潮日土壤间隙水溶解性 CH₄ 与 CO₂ 浓度日动态

谭立山¹, 杨平^{1,2}, 何露露¹, 黄佳芳^{1,2,3}, 胡智强¹, 仝川^{1,2,3*}

(1. 福建师范大学地理科学学院, 福州 350007; 2. 福建师范大学湿润亚热带生态地理过程教育部重点实验室, 福州 350007; 3. 福建师范大学亚热带湿地研究中心, 福州 350007)

摘要: 研究河口感潮沼泽湿地土壤间隙水溶解性 CO₂ 和 CH₄ 浓度日动态对于揭示河口湿地碳循环过程具有重要作用. 于 2010 年的 4 月 4~5 日和 9 月 2~3 日(小潮日)和 4 月 14~15 日和 9 月 9~10 日(大潮日), 对闽江河口鱣鱼滩中部中高潮滩过渡区分布的短叶茳茳 (*Cyperus malaccensis*) + 芦苇 (*Phragmites australis*) 沼泽湿地的土壤间隙水溶解性 CO₂ 和 CH₄ 浓度进行 24 h 连续监测, 并同步测定了原位土壤温度、电导率及 NH₄⁺-N 等参数. 结果表明: ① 4 月与 9 月大、小潮日土壤间隙水溶解性 CH₄ 浓度日变化范围分别介于 88.20~190.74、53.42~141.24、16.27~81.89 和 44.90~88.53 μmol·L⁻¹, 其中 4 月大、小潮日土壤间隙水溶解性 CH₄ 浓度均呈现昼低夜高特征 ($P > 0.05$), 而 9 月大、小潮日呈现相反の日变化趋势 ($P < 0.05$); ② 9 月大、小潮日土壤间隙水溶解性 CO₂ 浓度日变化范围分别介于 19.33~40.1 μmol·L⁻¹ 和 9.69~29.96 μmol·L⁻¹, 均呈现昼低夜高特征 ($P < 0.01$); ③ 涨潮期间土壤间隙水溶解性 CO₂ 浓度均要低于涨潮前与落潮后, 而涨潮期间土壤间隙水溶解性 CH₄ 浓度高于涨潮前和落潮后.

关键词: 间隙水; 溶解性 CH₄; 溶解性 CO₂; 大、小潮日; 日变化; 河口湿地

中图分类号: X144; X16 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2017)01-0052-08 DOI: 10.13227/j.hjxx.201606056

Diurnal Variations of Concentration of Porewater Dissolved CH₄ and CO₂ in a Brackish Marsh Dominated by *Cyperus malaccensis* and *Phragmites australis* During Neap and Spring Tidal Days in the Minjiang River Estuary

TAN Li-shan¹, YANG Ping^{1,2}, HE Lu-lu¹, HUANG Jia-fang^{1,2,3}, HU Zhi-qiang¹, TONG Chuan^{1,2,3*}

(1. School of Geographical Sciences, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China; 2. Key Laboratory of Humid Sub-tropical Eco-geographical Process of Ministry of Education, Fuzhou 350007, China; 3. Research Centre of Wetlands in Subtropical Region, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China)

Abstract: Understanding of diurnal variation of soil porewater dissolved CO₂ and CH₄ concentration plays an important role in revealing carbon cycling in estuarine wetlands. During neap and spring tidal days in April and September 2010, the diurnal variations of soil porewater dissolved CO₂ and CH₄ concentrations and main impacting factors in a brackish marsh ecosystem dominated by two species of *Cyperus malaccensis* (brevifolius) and *Phragmites australis* (common reed) were determined in the ShanYutan in the Min River estuary, southeast China. The results showed that: ① the soil porewater dissolved CH₄ concentration during the spring and neap tidal days in April and September ranged from 88.20 to 190.74, 53.42 to 141.24, 16.27 to 81.89 and 44.90 to 88.53 μmol·L⁻¹, respectively. The mean of dissolved CH₄ concentration was higher at nighttime than at daytime during the spring and neap tidal days in April, but the mean of dissolved CH₄ concentration was higher at daytime than at nighttime during the spring and neap tidal days in September. ② the soil porewater dissolved CO₂ concentration during the spring and neap tidal days in September ranged from 19.33 to 40.1 μmol·L⁻¹ and 9.69 to 29.96 μmol·L⁻¹, respectively, and the dissolved CO₂ concentration during daytime was lower than that at night; ③ the mean of dissolved CO₂ concentration was lower during the inundation period than in the exposed soil surface period, but the mean of dissolved CH₄ concentration was higher during the inundation period than in the exposed soil surface period.

Key words: porewater; dissolved methane; dissolved carbon dioxide; neap and spring tide day; diurnal variation; estuarine wetland

CO₂ 和 CH₄ 作为两种重要的温室气体, 贡献了全球气候变化约 80% 的辐射强度, 对全球变暖具有重要影响^[1]. 工业革命以来, 大气中 CO₂ 和 CH₄ 浓度已分别从前工业化时期的 280 × 10⁻⁶ 和 715 × 10⁻⁹ 增加到 2011 年的 390.5 × 10⁻⁶ 和 1 803 × 10⁻⁹, 并继续以每年 0.5% 和 1.1% 的速度增加^[1, 2]. 天然

收稿日期: 2016-06-10; 修订日期: 2016-08-21

基金项目: 福建省基本科研专项重点项目(2014R1034-1); 国家自然科学基金项目(41371127); 福建师范大学校级创新团队项目(IRTL1205); 福建师范大学地理科学学院研究生科研创新项目(GY201601)

作者简介: 谭立山(1992~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为湿地生态, E-mail: tanlishan92@163.com

* 通信作者, E-mail: tongch@fjnu.edu.cn

湿地作为全球大气 CH₄ 的重要排放源而受关注^[3, 4], 其中每年向大气排放的 CH₄ 就达到 187 ~ 224 Tg, 占全球总排放量的 15% ~ 40%^[1].

河口感潮沼泽湿地是天然湿地的重要组成部分, 近几十年来, 河口感潮沼泽湿地 CH₄ 和 CO₂ 的产生和排放因水体及沉积物中营养物质负荷日益上升而明显增加^[5]. 目前, 国内外关于河口湿地生态系统 CH₄ 和 CO₂ 通量观测主要集中在月动态、季节动态或年际动态等时间尺度上^[6], 对于日尺度内的动态变化关注甚少^[7], 湿地土壤间隙水溶解性 CH₄ 和 CO₂ 浓度的日变化研究是准确估算大时间尺度下温室气体排放量的基础, 具有相当的重要性^[8]. 与内陆湿地不同, 河口感潮湿地受到潮汐过程影响, 在大潮日可经历明显潮水水淹过程, 而在小潮日高潮滩则可能无潮水的影响^[9]. 目前关于潮汐对于河口感潮沼泽湿地土壤间隙水溶解性 CH₄ 和 CO₂ 浓度的影响仍不清楚, 包括大、小潮日河口感潮沼泽土壤间隙水 CH₄ 和 CO₂ 浓度的日变化, 以及大潮日涨落潮阶段和非涨落潮阶段的转化对其的影响, 都鲜见报道.

分别于 2010 年的 4 月 4 ~ 5 日与 9 月 2 ~ 3 日(小潮日)和 4 月 14 ~ 15 日与 9 月 9 ~ 10 日(大潮日), 以每 60 min(非涨落潮阶段)和每 45 min(涨落潮阶段)的取样间隔, 对闽江河口鱈鱼滩半咸水沼泽湿地土壤间隙水进行连续 24 h 采样, 测定间隙水中溶解性 CH₄ 和 CO₂ 浓度, 通过揭示闽江河口半咸水沼泽湿地土壤间隙水溶解性 CH₄ 和 CO₂ 浓度的日变化特征, 通过深入认识河口感潮沼泽湿地 CH₄ 和 CO₂ 排放通量的规律, 以期为精确评估河口感潮湿地碳排放提供科学数据.

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于闽江河口区面积最大的鱈鱼滩湿地(119°34'12" ~ 119°40'40"E, 26°00'36" ~ 26°03'42"N), 面积 3 120 hm². 闽江河口区地处中亚热带和南亚热带海洋性季风气候的过渡区, 气候暖热湿润, 多年平均温度 19.6℃, 年降水日数 153d, 多年平均降水量 1 346 mm, 降水多集中在 3 ~ 9 月, 潮汐属于正规半日潮^[10]. 区域内感潮沼泽湿地主要的优势植物包括土著种短叶茳苳(*Cyperus malaccensis*)、芦苇(*Phragmites australis*)和外来入侵物种互花米草(*Spartina alterniflora*)^[11]. 研究样地位于鱈鱼滩湿地中偏西部五门闸附近的中高潮滩过渡地段

(119°37'31"E, 26°01'46"N), 为短叶茳苳 + 芦苇半咸水沼泽(各自盖度约为 50%), 选取一块环境条件均匀一致的地段作为采样样地. 大潮日研究样地平均潮水水淹时间约为 3.5 ~ 4.0 h, 潮水水位高度变化范围为 0.1 ~ 1.2 m; 退潮后样地地表近乎全部出露, 无潮水水淹.

1.2 样品采集

在选定样地, 随机布设 3 个间隙水采样点(3 个重复, 彼此间距约 5 m). 采样时间为 2010 年 4 月 2 ~ 3 日(小潮日)、4 月 14 ~ 15 日(大潮日)、9 月 2 ~ 3 日(小潮日)和 9 月 9 ~ 10 日(大潮日). 上述采样日均从第 1 d 的 09:00(或 10:00)开始至第 2 d 的 09:00(或 10:00)结束, 采样频次为潮水水淹阶段每 45 min 采集一次样品, 退潮后地表出露阶段每 60 min 采集一次样品. 为最大限度减少样品采集时对样地的破坏, 样品采集工作在搭建的木制栈桥上进行.

每次样品采集时, 在每个采样点利用土壤间隙水采集器采集 5 cm 深度间隙水样品 2 份: 1 份样品装入 18 mL 真空小瓶(3 个重复), 并注入 0.2 mL 饱和 HgCl₂ 溶液(达到抑制微生物活动的效果), 低温遮光条件下保存并运回实验室, 用于土壤间隙水溶解性 CH₄ 和 CO₂ 浓度的测定; 另 1 份装入 50 mL 白色聚乙烯瓶中并进行相同处理, 用于间隙水 NH₄⁺-N、NO₃⁻-N 和 TN 浓度测定. 涨潮阶段间隙水样采集通过使用一根 1.5 m 长吸管将其一端连接吸泵, 另一端插入土壤中的间隙水采集器中, 然后利用泵吸法获得.

1.3 CH₄ 和 CO₂ 浓度测定与计算

利用顶空平衡-气相色谱法测定土壤间隙水溶解性 CH₄ 和 CO₂ 浓度^[11, 12]. 具体操作步骤如下: 首先, 用气密性注射器向 18 mL 真空小瓶注入 9 mL 高纯 N₂(>99.999%) 并排除相等体积水样, 使瓶内形成顶空; 然后, 在室温下将样品瓶剧烈振荡 30 min, 并静置 5 min; 最后, 待瓶内气-液两相达到平衡, 抽取 5 mL 顶空气体注入 GC-2014 与 GC-2010 气相色谱仪(日本, 岛津)分别测定 CH₄ 和 CO₂ 浓度, 并根据以下公式计算土壤间隙水溶解性 CH₄ 和 CO₂ 浓度^[11]:

$$c = (c_H \cdot V_H / 22.4) / V_p \quad (1)$$

式中, c 为溶解性 CO₂ 或 CH₄ 浓度 ($\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$), c_H 为顶空瓶上部空间气体中的 CO₂ 或 CH₄ 浓度 ($\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$), V_H 为顶空瓶上部空间体积 (mL), V_p 为顶空瓶间隙水体积 (mL).

由于仪器故障,4月大、小潮日土壤间隙水溶解性 CO_2 浓度数据缺失。

1.4 间隙水 NH_4^+ -N、 NO_3^- -N 和 TN 的测定

土壤间隙水样用孔径为 $0.45 \mu\text{m}$ 滤纸过滤,然后利用连续流动分析仪 (SKALAR San ++, 荷兰) 测定 NH_4^+ -N 和 TN 浓度,仪器检测限为 $0.005 \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

1.5 环境因子测定

与间隙水样采集同步,利用 IQ150 便携式 pH/氧化还原电位计 (IQ Scientific Instruments, USA) 和 2265FS 便携式电导盐分/温度计 (Spectrum Technologies Inc, USA) 原位测定采样点 5 cm 深度的土温、氧化还原电位 (Eh)、pH 和电导率 (EC)。其中 9 月小潮日和大潮日由于 IQ150 便携式 pH/氧化还原电位计仪器故障,pH 和 Eh 数据缺失。

1.6 数据处理与统计分析

使用 Excel 2010 对原始数据进行处理和绘图。采用 SPSS 19.0 统计软件包中的 Independent-Samples *T* 检验分析土壤间隙水 CO_2 或 CH_4 浓度和相关环境因子参数在白天与夜间差异的显著性;土壤间隙水溶解性 CO_2 或 CH_4 浓度与环境因子的相关性检验采用 Pearson 相关性分析法进行分析。以上统计分析中,显著性水平 $\alpha = 0.05$,图中误差线均为标准误。

2 结果与分析

2.1 大、小潮日土壤间隙水溶解性 CH_4 浓度日变化特征

2.1.1 4月大、小潮日土壤间隙水溶解性 CH_4 浓度日变化特征

4月小潮日,土壤间隙水溶解性 CH_4 浓度变化范围为 $53.42 \sim 141.24 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$,平均值为

$(100.67 \pm 16.48) \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ [图 1(a)],日变异系数为 16%。白天,土壤间隙水溶解性 CH_4 浓度均值为 $(97.97 \pm 23.38) \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$,浓度变化从观测初始时刻开始降低至 11:00 达到最小值,之后开始增加至 14:00 达到最大值;夜间,土壤间隙水溶解性 CH_4 浓度均值为 $(103.95 \pm 21.07) \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$,最大值出现 01:00,但其它时刻间隙水 CH_4 浓度变化不大。整个观测期间,白天土壤间隙水溶解性 CH_4 浓度低于夜间,但差异性不显著 ($P > 0.05$)。

4月大潮日,土壤溶解性 CH_4 的浓度变化范围为 $88.20 \sim 190.74 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$,平均值为 $(106.42 \pm 21.07) \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ [图 1(b)],日变异系数为 20%。白天和夜间土壤间隙水溶解性 CH_4 浓度均值分别为 $(102.73 \pm 19.68) \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $(110.79 \pm 39.50) \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$,呈现夜间浓度值高于白天的特征 ($P > 0.05$);整个观测期间,土壤间隙水溶解性 CH_4 的浓度最大和最小值分别出现于 23:00 和 15:00。白天涨潮和非涨潮阶段,土壤间隙水溶解性 CH_4 浓度均值分别为 $104.93 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $102.07 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$;夜间涨潮和非涨潮阶段,土壤间隙水溶解性 CH_4 浓度均值分别为 $145.10 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $103.16 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$;白天和夜间涨潮阶段土壤间隙水溶解性 CH_4 浓度均要高于非涨潮阶段 ($P > 0.05$)。

2.1.2 9月大、小潮日土壤间隙水溶解性 CH_4 浓度日变化特征

9月小潮日,土壤间隙水溶解性 CH_4 的浓度变化范围为 $44.90 \sim 88.53 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$,平均值 $(75.27 \pm 8.80) \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ [图 2(a)],日变异系数为 12%。白天,土壤间隙水溶解性 CH_4 浓度均值为 $(79.85 \pm 6.89) \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$,最大值出现在 13:00;夜间,溶解性 CH_4 浓度均值为 $(73.11 \pm 3.67) \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$;整个

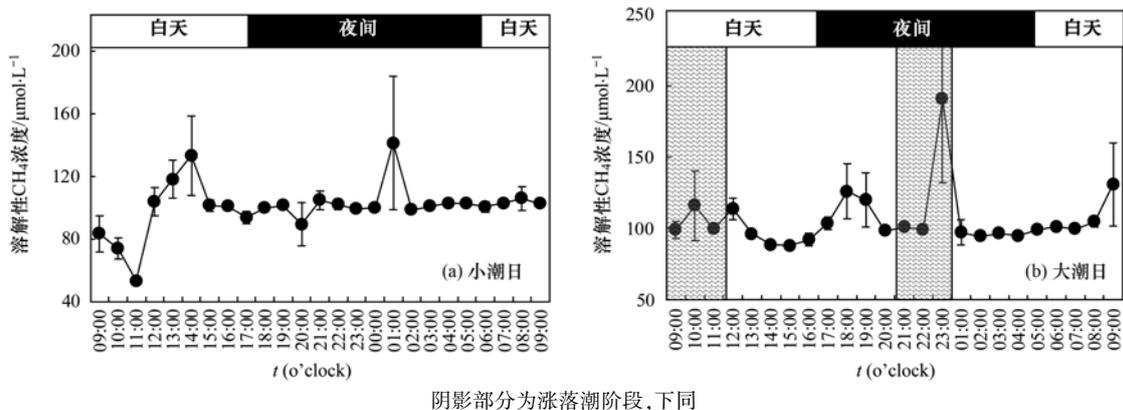


图 1 4月土壤间隙水溶解性 CH_4 浓度的日变化

Fig. 1 Diurnal variations of dissolved methane concentration in porewater in the brackish marsh in April

观测期间,白天土壤间隙水溶解性 CH₄ 浓度显著高于夜间($P < 0.01$).

9月大潮日,土壤间隙水溶解性 CH₄ 浓度变化范围介于 16.27 ~ 81.89 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 之间,平均值为 (58.19 \pm 21.54) $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ [图 2(b)],日变系数为 37%. 白天,土壤间隙水溶解性 CH₄ 浓度均值为 (59.64 \pm 21.31) $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$,最大值出现在涨潮阶段;夜间,土壤间隙水溶解性 CH₄ 浓度均值为

(56.61 \pm 22.70) $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$,最大值出现在涨潮后的 1 h. 整个观测期间,白天土壤间隙水溶解性 CH₄ 浓度显著高于夜间($P < 0.05$). 白天涨潮和非涨潮阶段,土壤间隙水溶解性 CH₄ 浓度均值分别为 72.35 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 42.15 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$,前者显著高于后者($P < 0.01$);夜间涨潮和非涨潮阶段,溶解性 CH₄ 浓度均值分别为 73.19 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 46.92 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$,亦呈现前者显著高于后者的特征($P < 0.01$).

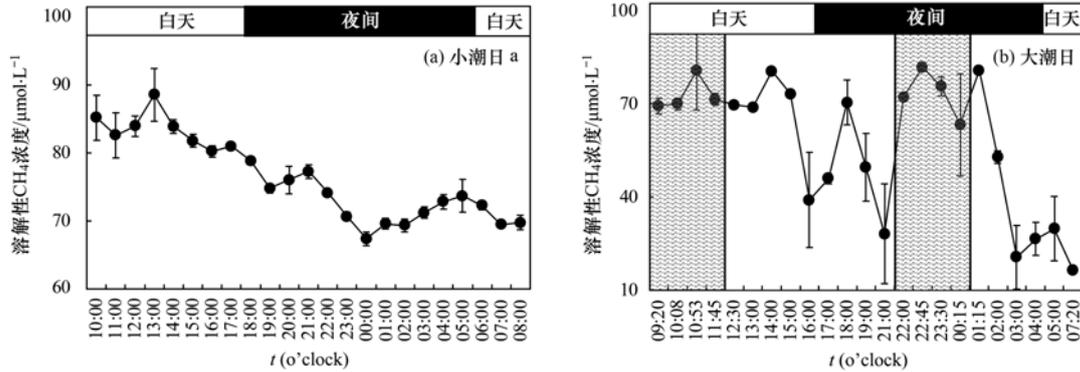


图 2 9月土壤间隙水溶解性 CH₄ 浓度的日变化

Fig. 2 Diurnal variations of dissolved methane concentration in porewater in the brackish marsh in September

2.2 9月大、小潮日土壤间隙水溶解性 CO₂ 浓度日变化特征

9月小潮日,土壤间隙水溶解性 CO₂ 的浓度变化范围为 9.69 ~ 29.96 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$,平均值 (16.08 \pm 4.89) $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ [图 3(a)],日变异系数为 30%. 白天和夜间土壤间隙水溶解性 CO₂ 浓度均值分别为 (15.12 \pm 1.19) $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 (16.97 \pm 0.76) $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$; 其中,白天最小值出现在 11:00,之后整体呈上升趋势至 18:00 达到当天最大值,夜间土壤溶解性 CO₂ 浓度最大值出现在 20:00. 整个观测期间,白天土壤间隙水溶解性 CO₂ 浓度显著低于夜间($P < 0.01$).

9月大潮日,土壤间隙水溶解性 CO₂ 浓度在 19.33 ~ 40.11 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 之间,平均值为 (26.34 \pm 4.31) $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ [图 3(b)],日变异系数为 16%. 白天,土壤间隙水溶解性 CO₂ 浓度均值为 (25.04 \pm 1.39) $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$,从观测初始时刻开始,整体上呈现增加趋势,至 14:00 达到峰值,随后浓度呈现波动性降低与增加;夜间,土壤间隙水溶解性 CO₂ 浓度均值为 (27.63 \pm 0.52) $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$,期间浓度变化趋势较为平稳. 白天土壤间隙水溶解性 CH₄ 浓度显著低于夜间($P < 0.01$). 白天涨潮和非涨潮阶段,土壤间隙水溶解性 CO₂ 浓度均值分别为 21.21 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 27.44 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$,前者显著低于后者(P

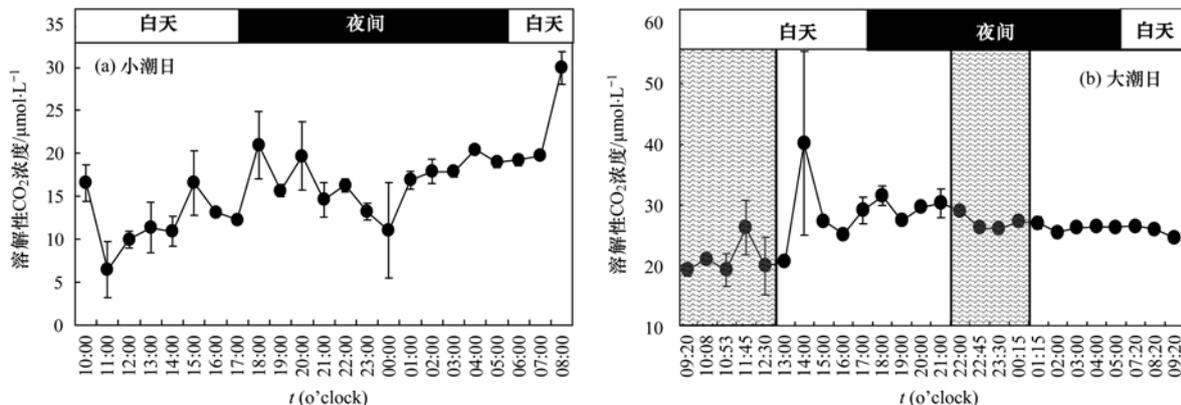


图 3 9月土壤间隙水溶解性 CO₂ 浓度的日变化

Fig. 3 Diurnal variations of dissolved carbon dioxide concentration in porewater in the brackish marsh in September

<0.05); 夜间涨潮和非涨潮阶段, 土壤间隙水溶解性 CO_2 浓度均值分别为 $27.17 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $27.83 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$, 二者差异性不显著 ($P > 0.05$).

3 讨论

3.1 土壤间隙水溶解性 CH_4 和 CO_2 浓度日变化特征

由图 1 与图 2 可知, 4 月大、小潮日湿地土壤间隙水溶解性 CH_4 浓度均呈现夜间高于白天的特征, 而 9 月大潮日土壤间隙水溶解性 CH_4 浓度呈现昼高夜低的特征. 前者的日变化特征主要受以下因素的影响: 白天较强的太阳辐射增强了植物蒸腾作用和地表蒸发, CH_4 以传输效率较高的对流传输方式为主^[12], 易引起土壤间隙水中溶解性 CH_4 随同水分一起进入大气中^[13, 14], 进而造成土壤间隙水中溶解性 CH_4 浓度降低; 相反, 夜间较弱的地表蒸发和较低的土温有利于土壤系统中产生的 CH_4 气体溶解于土壤间隙水中^[15], 从而促使土壤间隙水 CH_4 浓度增加. 后者变化特征与昼夜间土壤间隙水 NH_4^+ -N 浓度变化有关. 有研究表明, NH_4^+ -N 作为甲烷氧化菌的电子受体, 会抑制其活性, 并且 NH_4^+ -N 在硝化过程中生成 NO_2^- -N 对甲烷氧化菌产生较为强烈的毒害作用^[16, 17]; 因此, 在高 NH_4^+ -N 浓度的湿地土壤系统通常保持着较高的甲烷浓度. 本研究发现, 9 月土壤间隙水 NH_4^+ -N 呈现昼高夜低的特征, 白天土壤间隙水 NH_4^+ -N 浓度显著高于夜间 (表 1, $P < 0.01$), 并

且研究期间土壤间隙水溶解性 CH_4 浓度与 NH_4^+ -N 浓度呈现极显著正相关关系 (图 4, $P < 0.01$). 结果表明白天较高的 NH_4^+ -N 有利于土壤间隙水溶解性 CH_4 浓度增加.

由图 3 可知, 闽江河口潮汐沼泽湿地土壤间隙水溶解性 CO_2 浓度整体呈现昼低夜高的特征, 但昼夜差异性不显著 ($P > 0.05$). 正如前文所述, 这种日变化特征可能与昼夜间植物蒸腾作用、土壤蒸发强度、温度高低有关, 9 月土壤间隙水溶解性 CO_2 浓度与土温呈现显著的负相关 (图 5, $P < 0.05$). 与白天相比, 夜间土温较低导致植物蒸腾作用和土壤蒸发作用减弱^[12], 并且较低的土温更利于 CO_2 气体溶解于土壤间隙水中^[18], 夜间较强的植物根呼吸和土壤系统中微生物代谢活动产生了更多的 CO_2 气体, 进而促使土壤间隙水 CO_2 其浓度增加^[19]. 最后, 昼夜间土壤盐度差异是引起间隙水溶解性 CO_2 浓度时间动态的另一重要因素. 有研究表明, 潮汐湿地土壤微生物活性和代谢能力在高盐度范围内通常受渗透胁迫、离子毒害、营养失衡以及盐胁迫的次级反应等而降低或抑制^[20, 21]. 本文发现, 研究期间土壤盐度 (电导率表征) 均呈现夜间低于白天 (表 1), 且土壤间隙水溶解性 CO_2 浓度与盐度呈现显著负相关关系 [图 6(b), $P < 0.05$], 结果表明, 夜间较低的盐度是引起夜间土壤间隙水溶解性 CO_2 浓度高于白天的因素.

表 1 沼泽湿地土壤主要环境因子昼夜变化¹⁾

Table 1 Diurnal variation of soil environmental factors in the marsh

月份	土温/ $^{\circ}\text{C}$		电导率 $\text{EC}/\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$		NH_4^+ -N/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$		NO_3^- -N/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	
	白天	夜间	白天	夜间	白天	夜间	白天	夜间
4	(16.9 ± 5.4)	(16.7 ± 3.3)	(2.24 ± 0.96)	(2.30 ± 0.70)	(0.51 ± 0.43)	(0.40 ± 0.32)	(0.26 ± 0.21)	(0.27 ± 0.21)
9	(28.7 ± 0.8)	(28.4 ± 0.6)	(4.83 ± 3.39)	(4.08 ± 2.47)	(0.61 ± 0.40)	(0.39 ± 0.26)	(0.47 ± 0.38)	(0.36 ± 0.27)

1) 表中各因子的数值为该月大、小潮日的平均值

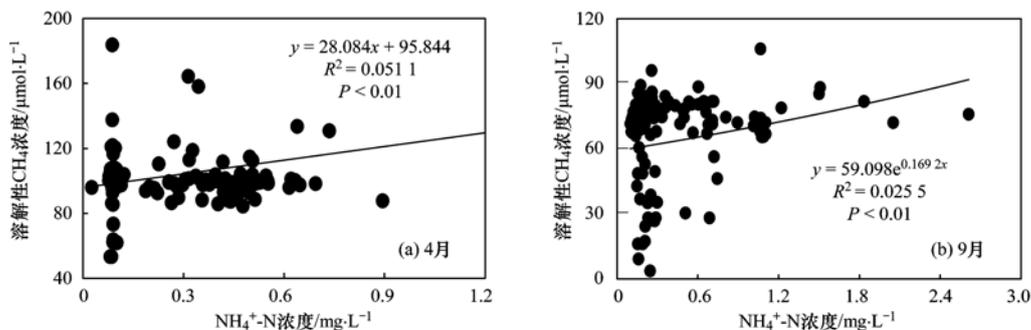


图 4 土壤间隙水 CH_4 浓度与土壤间隙水 NH_4^+ -N 浓度的关系

Fig. 4 Relationship between dissolved methane concentration and NH_4^+ -N in the porewater in the brackish marsh

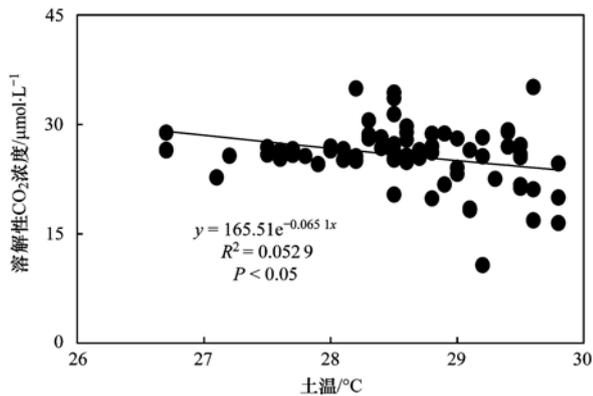


图5 9月土壤间隙水溶解性 CO₂ 浓度与土温的关系

Fig. 5 Relationship between porewater dissolved carbon dioxide concentration and soil temperature in the brackish marsh in September

3.2 潮汐对湿地土壤间隙水溶解性 CH₄ 和 CO₂ 浓度的影响

综合图 1~3 可知,在大潮日观测期间,多数情况下白天和夜间涨潮阶段的土壤间隙水溶解性 CH₄ 浓度平均值均要高于非涨潮阶段 ($P < 0.05$),而涨潮阶段的土壤间隙水溶解性 CO₂ 浓度均要高于非涨潮阶段,表明涨潮可能会增加溶解性 CH₄ 浓度,

但在一定程度上降低土壤间隙水溶解性 CO₂ 浓度。这一结果的主要机制与潮汐通过干湿交替改变沉积物氧化还原环境来影响不同微生物代谢活动有关。涨潮时,沉积物通常被潮水淹没且处于厌氧或缺氧状态^[22]。这种低氧环境抑制了沉积物中有氧微生物呼吸及其对有机物质分解的能力^[23~25],造成土壤系统所产生的 CO₂ 较少,进而导致溶解于土壤间隙水中的 CO₂ 亦较低;同时,处于深度淹水状态的沉积物却为甲烷产生菌提供了较为理想的厌氧环境,有利于促使微生物厌氧代谢产生 CH₄^[26],进而会促使土壤中产生的 CH₄ 溶解于间隙水。非涨潮阶段,尤其是退潮后,随着水位下降,沉积物会接触越来越多的空气,更多的氧气将渗透至土壤^[27],进而促进了有氧微生物呼吸及其对有机物质的分解^[28, 29],有利于增加土壤 CO₂ 溶解于土壤间隙水;而该种有氧环境有利于好氧的甲烷氧化菌生长和作用^[30, 31],因此,土壤间隙水溶解性 CH₄ 浓度会随甲烷氧化菌消耗 CH₄ 能力增强而降低。统计分析结果表明,涨潮阶段潮水水位均要显著高于非涨潮阶段或落潮后的水位,且潮汐水位与间隙水溶解性 CH₄ 和 CO₂ 浓度分别呈现负相关和正相关关系(图7),说明潮汐对

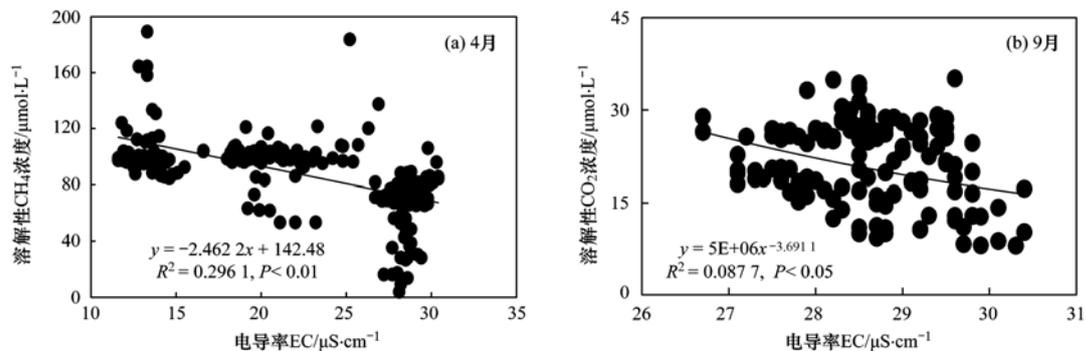


图6 土壤间隙水溶解性 CH₄ 和 CO₂ 浓度与电导率的关系

Fig. 6 Relationship between dissolved methane, carbon dioxide concentration and conductivity in the porewater in the brackish marsh

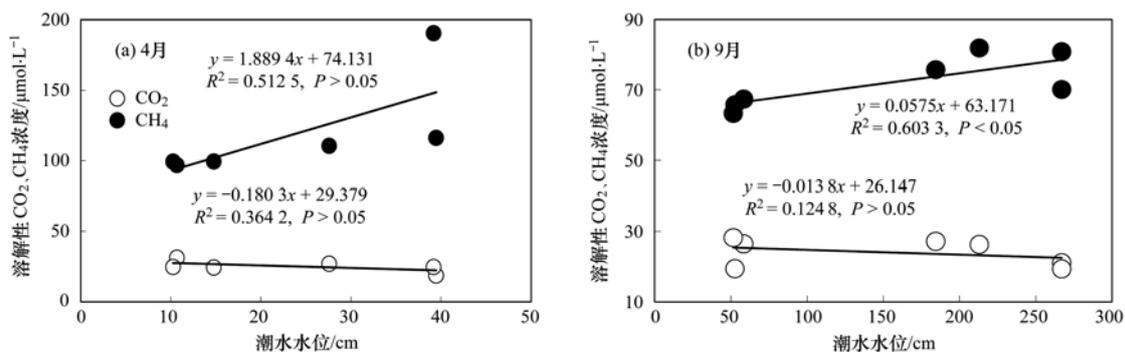


图7 土壤间隙水溶解性 CO₂、CH₄ 浓度与潮水水位的关系

Fig. 7 Relationship between porewater dissolved carbon dioxide, methane concentration and tidal levels in the brackish marsh

河口沼泽湿地土壤间隙水溶解性 CO_2 和 CH_4 浓度时间动态特征亦有重要影响。

4 结论

(1) 2010年4月与9月闽江河口短叶茳茳 + 芦苇沼泽湿地土壤间隙水溶解性 CH_4 浓度分别呈现昼低夜高 ($P > 0.05$) 和昼高夜低特征 ($P < 0.05$)，而9月土壤间隙水溶解性 CO_2 浓度呈现昼低夜高特征 ($P < 0.01$)。

(2) 温度、土壤间隙水 NH_4^+ -N 浓度的昼夜差异是影响沼泽湿地土壤间隙水溶解性 CH_4 浓度日变化的重要因素；土壤间隙水溶解性 CO_2 浓度日变化与土温与盐度昼夜差异有关。

(3) 潮汐对沼泽湿地土壤间隙水溶解性 CO_2 和 CH_4 浓度时间动态特征起着不可忽视的作用，潮汐通过水淹改变土壤氧化还原环境来影响土壤间隙水溶解性 CO_2 和 CH_4 浓度，在涨潮过程中降低了土壤间隙水溶解性 CO_2 浓度，但增加了土壤间隙水溶解性 CH_4 浓度。

参考文献:

- [1] IPCC. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel On Climate Change [M]. Cambridge, United Kingdom, New York, USA: Cambridge University Press, 2013.
- [2] Yang P, He Q H, Huang J F, et al. Fluxes of greenhouse gases at two different aquaculture ponds in the coastal zone of southeastern China[J]. Atmospheric Environment, 2015, **115**: 269-277.
- [3] Allen D E, Dalal R C, Rennenberg H, et al. Spatial and temporal variation of nitrous oxide and methane flux between subtropical mangrove sediments and the atmosphere[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2007, **39**(2): 622-631.
- [4] Kao-Kniffin J, Freyre D S, Balsler T C. Methane dynamics across wetland plant species[J]. Aquatic Botany, 2010, **93**(2): 107-113.
- [5] Sun Z G, Wang L L, Tian H Q, et al. Fluxes of nitrous oxide and methane in different coastal Suaeda salsa marshes of the Yellow River estuary, China[J]. Chemosphere, 2013, **90**(2): 856-865.
- [6] Chang T C, Yang S S. Methane emission from wetlands in Taiwan[J]. Atmosphere Environment, 2003, **37**(32): 4551-4558.
- [7] Tong C, Huang J F, Hu Z Q, et al. Diurnal variations of carbon dioxide, methane, and nitrous oxide vertical fluxes in a subtropical estuarine marsh on neap and spring tide days[J]. Estuaries and Coasts, 2013, **36**(3): 633-642.
- [8] 叶勇, 卢昌义, 林鹏, 等. 河口红树林湿地 CH_4 通量的日变化研究[J]. 海洋学报, 2000, **22**(3): 103-109.
- Ye Y, Lu C Y, Lin P, et al. Diurnal change of CH_4 fluxes from estuarine mangrove wetlands [J]. Acta Oceanologica Sinica, 2000, **22**(3): 103-109.
- [9] 金玉凤, 胡智强, 全川. 大、小潮日闽河口短叶茳茳 + 芦苇沼泽甲烷排放通量日变化特征[J]. 湿地科学, 2012, **10**(2): 228-234.
- Jin Y F, Hu Z Q, Tong C. Diurnal variations of methane emission flux from a marsh dominated by *Cyperus malaccensis* and *Phragmites australis* during neap and spring tidal days in Min river estuary[J]. Wetland Science, 2012, **10**(2): 228-234.
- [10] 郑彩虹, 曾从盛, 陈志强, 等. 闽江河口区湿地景观格局演变研究[J]. 湿地科学, 2006, **4**(1): 29-35.
- Zheng C H, Zeng C S, Chen Z Q, et al. A study on the changes of landscape pattern of estuary wetlands of the Minjiang river[J]. Wetland Science, 2006, **4**(1): 29-35.
- [11] 杨平, 张子川, 杜威宁, 等. 河口盐度梯度下短叶茳茳沼泽湿地土壤间隙水溶解性甲烷时空特征[J]. 环境科学, 2015, **36**(10): 3633-3640.
- Yang P, Zhang Z C, Du W N, et al. Porewater dissolved methane in *Cyperus malaccensis* marshes along salinity gradient in the Minjiang river estuary[J]. Environmental Science, 2015, **36**(10): 3633-3640.
- [12] 段晓男, 王效科, 欧阳志云. 维管植物对自然湿地甲烷排放的影响[J]. 生态学报, 2005, **25**(12): 3375-3382.
- Duan X N, Wang X K, Ouyang Z Y. Effects of vascular plants on methane emissions from natural wetlands[J]. Acta Ecologica Sinica, 2005, **25**(12): 3375-3382.
- [13] Nyerges G, Stein L Y. Ammonia cometabolism and product inhibition vary considerably among species of methanotrophic bacteria[J]. FEMS Microbiology Letters, 2009, **297**(1): 131-136.
- [14] Schrier-Uijl A P, Veraart A J, Leffelaar P A, et al. Release of CO_2 and CH_4 from lakes and drainage ditches in temperate wetlands[J]. Biogeochemistry, 2011, **102**(1-3): 265-279.
- [15] 刘冉, 王勤学, 唐立松, 等. 盐生荒漠地表水热与二氧化碳通量的季节变化及驱动因素[J]. 生态学报, 2009, **29**(1): 67-75.
- Liu R, Wang Q X, Tang L S, et al. Seasonal variation in water, heat and CO_2 fluxes and its driving forces over a saline desert [J]. Acta Ecologica Sinica, 2009, **29**(1): 67-75.
- [16] De Visscher A, Van Cleemput O. Induction of enhanced CH_4 oxidation in soils: NH_4^+ inhibition patterns[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2003, **35**(7): 907-913.
- [17] Castro M S, Peterjohn W T, Melillo J M, et al. Effects of nitrogen fertilization on the fluxes of N_2O , CH_4 , and CO_2 from soils in a Florida slash pine plantation[J]. Canadian Journal of Forest Research, 1994, **24**(1): 9-13.
- [18] 景卫华. 湿地植物芦苇日腾发量的测量实验及理论分析计算[D]. 西安: 西安理工大学, 2006.
- Jing W H. Measurement and theoretical calculation of daily evapotranspiration of the wetland plant-reeds[D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2006.
- [19] 刘绍辉, 方精云. 土壤呼吸的影响因素及全球尺度下温度的影响[J]. 生态学报, 1997, **17**(5): 469-476.
- Liu S H, Fang J Y. Effect factors of soil respiration and the temperature's effects on soil respiration in the global scale[J]. Acta Ecologica Sinica, 1997, **17**(5): 469-476.
- [20] Setia R, Marschner P, Baldock J, et al. Is CO_2 evolution in saline soils affected by an osmotic effect and calcium carbonate

- [J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2010, **46**(8): 781-792.
- [21] Morrissey E M, Berrier D J, Neubauer S C, *et al.* Using microbial communities and extracellular enzymes to link soil organic matter characteristics to greenhouse gas production in a tidal freshwater wetland [J]. *Biogeochemistry*, 2014, **117**(2-3): 473-490.
- [22] Chimner R A, Cooper D J. Influence of water table levels on CO₂ emissions in a Colorado subalpine fen: an in situ microcosm study [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2003, **35**(3): 345-351.
- [23] Yang J S, Liu J S, Hu X J, *et al.* Effect of water table level on CO₂, CH₄ and N₂O emissions in a freshwater marsh of Northeast China [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2013, **61**: 52-60.
- [24] 王海涛, 杨小茹, 郑天凌. 模拟潮汐和植被对湿地温室气体通量的影响研究 [J]. *环境科学学报*, 2013, **33**(12): 3376-3385.
- Wang H T, Yang X R, Zheng T L. Impact of simulated tide and vegetation on the wetland greenhouse gases fluxes [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2013, **33**(12): 3376-3385.
- [25] Blodau C, Moore T R. Mico-scale CO₂ and CH₄ dynamics in a peat soil during a water fluctuation and sulfate pulse [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2003, **35**(4): 535-547.
- [26] Kettunen A, Kaitala V, Lethinen A, *et al.* Methane production and oxidation potentials in relation to water table fluctuations in two boreal mires [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1999, **31**(12): 1741-1749.
- [27] Verville J H, Hobbie S E, Chapin III F S, *et al.* Response of tundra CH₄ and CO₂ flux to manipulation of temperature and vegetation [J]. *Biogeochemistry*, 1998, **41**(3): 215-235.
- [28] Silvola J, Alm J, Ahlholm U, *et al.* CO₂ fluxes from peat in boreal mires under varying temperature and moisture conditions [J]. *Journal of Ecology*, 1996, **84**(2): 219-228.
- [29] Nykänen H, Alm J, Silvola J, *et al.* Methane fluxes on boreal peatlands of different fertility and the effect of long-term experimental lowering of the water table on flux rates [J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 1998, **12**(1): 53-69.
- [30] Strack M, Waddington J M, Tuittila E S. Effect of water table drawdown on northern peatland methane dynamics: implications for climate change [J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 2004, **18**(4), doi: 10.1029/2003GB002209.
- [31] Van der Nat F J, Middelburg J. Methane emission from tidal freshwater marshes [J]. *Biogeochemistry*, 2000, **49**(2): 103-121.

CONTENTS

Source Apportionment of Volatile Organic Compounds and Health Assessment of Benzene Series in Northern Suburb of Nanjing in Winter	ZHANG Yu-xin, AN Jun-lin, LIN Xu, <i>et al.</i> (1)
Size Distribution and Mixing State of Black Carbon Aerosol in Nanjing During a Heavy Winter Pollution Event	JIANG Lei, TANG Li-li, PAN Liang-bao, <i>et al.</i> (13)
Interactive Effects of the Influencing Factors on the Changes of PM _{2.5} Concentration Based on GAM Model	HE Xiang, LIN Zhen-shan (22)
Particle Size Distribution and Diffusion for Simulated Cooking Fume	LI Shuang-de, XU Jun-bo, MO Sheng-peng, <i>et al.</i> (33)
Greenhouse Gas Fluxes at Water-Air Interface in Small Pond Using Flux-Gradient Method Based on Spectrum Analyzer	ZHAO Jia-yu, ZHANG Mi, XIAO Wei, <i>et al.</i> (41)
Diurnal Variations of Concentration of Porewater Dissolved CH ₄ and CO ₂ in a Brackish Marsh Dominated by <i>Cyperus malaccensis</i> and <i>Phragmites australis</i> During Neap and Spring Tidal Days in the Minjiang River Estuary	TAN Li-shan, YANG Ping, HE Lu-lu, <i>et al.</i> (52)
Comparisons Between Seasonal and Diurnal Patterns of Cave Air CO ₂ and Control Factors in Jiguan Cave, Henan Province, China	ZHANG Ping, YANG Yan, SUN Zhe, <i>et al.</i> (60)
Fluorescence Spectral Characteristics of Fluorescent Dissolved Organic Matter (FDOM) in the Surface Sediments from Lihu Lake	CHEN Jun-yi, WANG Shu-hang, JIANG Xia, <i>et al.</i> (70)
Sedimentary Characteristics and Sources of Organic Matter in Sediments of Dianchi Lake	HAN Xiu-xiu, HUANG Xiao-hu, YU Li-yan, <i>et al.</i> (78)
Seasonal Variation of Colloid Particles in the Shallow Well Water of a Small Watershed of Purple Soil	ZHANG Wei, TANG Xiang-yu, XIAN Qing-song (87)
Deposition Characteristics of Suspended Solids and the Response of Dissolved Nutrients in Spring in the Western Lakeside of Taihu Lake	QI Chuang, WANG Guo-xiang, WU Xin-ting, <i>et al.</i> (95)
Correlation Between LDI-based Land Use Types and Water Quality in Sanshan Island of Taihu Lake National Wetland Park, Suzhou	YANG Zhao-hui, SU Qun, CHEN Zhi-hui, <i>et al.</i> (104)
Response Characteristics of Algal Chlorophyll-a to Nitrogen, Phosphorus and Water Temperature in Lake Erhai Based on Quantile Regression	CHEN Xiao-hua, LI Xiao-ping, QIAN Xiao-yong, <i>et al.</i> (113)
Seasonal Succession Characteristics of the Morphologically-based Functional Groups (MBFG) in Deep-water Reservoir	YANG Yu, LU Jin-suo, ZHANG Ying (121)
Change and Influencing Factors of Dissolved Carbon and Dissolved Nitrogen in Water of the Three Gorges Reservoir	FAN Zhi-wei, HAO Qing-ju, HUANG Zhe, <i>et al.</i> (129)
Characteristics of Nitrogen and Phosphorus Emissions in the Gufu River Small Watershed of the Three Georges Reservoir Area	HUA Ling-ling, LI Wen-chao, ZHAI Li-mei, <i>et al.</i> (138)
Characteristics of Nitrogen Transport and Its Source Trace in Loess Plateau's Dam Watershed in Alternating Wet and Dry Seasons: A Case Study of Yangjuangou Watershed	JIA Jun-jie, GAO Yang, CHEN Wei-liang, <i>et al.</i> (147)
Comparison of Nitrogen and Phosphorus Uptake and Water Purification Ability of Five Submerged Macrophytes	JIN Shu-quan, ZHOU Jin-bo, BAO Wei-hong, <i>et al.</i> (156)
Pollution Level, Distribution Characteristics and Risk Assessment of 32 PPCPs in Surface Water of Luomahu Lake	ZHANG Qin, ZHANG Sheng-hu, WANG Zhen, <i>et al.</i> (162)
Distribution, Sources and Risk Assessment of the PAHs in the Surface Sediments and Water from the Daye Lake	ZHANG Jia-quan, HU Tian-peng, XING Xin-li, <i>et al.</i> (170)
Effects of pH and Complexing Agents on Sb(V) Adsorption onto Birnessite and Ferrihydrite Surface	WANG Hua-wei, LI Xiao-yue, LI Wei-hua, <i>et al.</i> (180)
Effects of UV Radiation on the Coagulation Process of Kaolin and Involved Mechanisms	WANG Wen-dong, WANG Chang-xin, LIU Hui, <i>et al.</i> (188)
Effect of Dissolved Humic Acid on Thyroid Receptor Antagonistic Activity of Zinc in Aquatic Environment	AI Yang, KONG Dong-dong, YU Chang, <i>et al.</i> (195)
Optimization and Validation of the Analytical Method to Detect Common Illicit Drugs in Wastewater	GAO Ting-ting, DU Peng, XU Ze-qiong, <i>et al.</i> (201)
Cathode Electric Field Enhanced Removal of Nitrobenzene from Aqueous Solution Based on Activated Carbon Fibers (ACF)-Ozone Technique	ZHAO Chun, ZHANG Shuai, ZHOU Yu, <i>et al.</i> (212)
Effect of PVDF Hollow Fiber Ultrafiltration Membranes Modification with Carbonnanotube on Membrane Fouling Control During Ultrafiltration of Sewage Effluent	WANG Li-ying, SHI Jie, WANG Kai-lun, <i>et al.</i> (220)
Enhanced Treatment of Petrochemical Secondary Effluent by Biological Aerated Filter (Fe ²⁺)-Ozonation Process	XU Min, WU Chang-yong, ZHOU Yue-xi, <i>et al.</i> (229)
Specificity of Intact Ladderane Lipids in Anaerobic Ammonium Oxidizing Bacteria from Four Reactors	WANG Han, FANG Fang, LI Kai, <i>et al.</i> (238)
Characteristics of Perchlorate Reduction and Analysis of Consortium Structure in a Sulfur-Based Reactor at a High Perchlorate Concentration	ZHANG Chao, TAO Hua-qiang, SONG Yuan-yuan, <i>et al.</i> (247)
Fast Start-up of SBAF System Assisted CANON Process and the Microbial Analysis	LIU Zhu-han, YUE Xiu, YU Guang-ping, <i>et al.</i> (253)
Mechanism for Effects of High Free Ammonia Loadings on Biological Nitrification	JI Min, LIU Ling-jie, ZHAI Hong-yan, <i>et al.</i> (260)
Impact of Biodegradable Organic Matter on the Functional Microbe Activities in Partial Nitrification Granules	WANG Shu-yong, QIAN Fei-yue, WANG Jian-fang, <i>et al.</i> (269)
Process of Enrichment and Culture of PAOs on a Novel Biofilm Process of Dephosphorization	ZHENG Ying, PAN Yang, ZHOU Xiao-hua, <i>et al.</i> (276)
Identification of Efficient Strain Applied to Mining Rehabilitation and Its Rock Corrosion Mechanism: Based on Boosted Regression Tree Analysis	WU Yan-wen, ZHANG Jin-chi, GUO Xiao-ping, <i>et al.</i> (283)
Effect of Cadmium on Biodegradation of Nonylphenol by <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	SHI Guang-yu, CHENG Yuan-yuan, SHI Wei-lin (294)
Effects of Different Agricultural Practices on Soil Carbon Pool in North China Plain	SHI Xiao-xia, ZHAO Yi, ZHANG Lin, <i>et al.</i> (301)
Seasonal Variations of Soil Microbial PLFAs and Soil Enzyme Activity Under the Citrus Plantation in Mt. Jinyun, Chongqing	LI Nan-jie, ZENG Qing-ping, HE Bing-hui, <i>et al.</i> (309)
Composition and Environmental Adaptation of Microbial Community in Shibabe Copper Tailing in Zhongtiao Mountain in Shanxi	LIU Jin-xian, LI Cui, JING Ju-hui, <i>et al.</i> (318)
Spatial Distribution and Source of Perfluorinated Compounds in Urban Soil from Part of Cities in Anhui Province, China	LI Fa-song, NI Hui, HUANG Han-yu, <i>et al.</i> (327)
Effects of Biochar Pyrolyzed at Varying Temperatures on Soil Organic Carbon and Its Components; Influence on the Soil Active Organic Carbon	ZHAO Shi-xiang, YU Xiao-ling, LI Zhong-hui, <i>et al.</i> (333)
Effects of Different Water Managements and Soil Eh on Migration and Accumulation of Cd in Rice	TIAN Tao, ZENG Min, ZHOU Hang, <i>et al.</i> (343)
Mechanism of Soil Eco-Functional Stability Under Pyrene/Cadmium Simplex and Combined Pollution Stress	CHEN Xin-yao, YANG Hui-zi, LI Min, <i>et al.</i> (352)
Fractions Transformation of Heavy Metals in Compound Contaminated Soil Treated with Biochar, Montmorillonite and Mixed Addition	GAO Rui-li, TANG Mao, FU Qing-ling, <i>et al.</i> (361)
Screening of the Reduction/Stabilization Reagent for Cr(VI) Contaminated Soil in a Planting Site and Reaction Process Monitoring	LI Pei-zhong, LÜ Xiao-jian, WANG Hai-jian, <i>et al.</i> (368)
Cd(II) Ion Adsorption and Sealing onto SBA-15 Mesoporous Particles and the Related Potential on Cd(II) Polluted Soil Remediation	HUANG Hui, NING Xi-cui, GUO Zhan-yu, <i>et al.</i> (374)
Bioaccumulation of Halogenated Flame Retardants in Fish of Dongjiang River	HE Ming-jing, YANG Ting, LI Qi, <i>et al.</i> (382)
Characteristics and Evaluation of Heavy Metal Pollution in Vegetables in Guangzhou	CHEN Zhi-liang, HUANG Ling, ZHOU Cun-yu, <i>et al.</i> (389)
Variation Characteristics of Vegetables Cadmium Uptake Factors and Its Relations to Environmental Factors	YANG Yang, LI Yan-ling, CHEN Wei-ping, <i>et al.</i> (399)
Effect of Sewage Sludge Compost Products Application on Total Mercury and Methylmercury in Soil and Plants	YU Ya-wei, YANG Yu-han, ZHANG Cheng, <i>et al.</i> (405)
Influencing Mechanism and Spatio-temporal Pattern of Stomatal Ozone Flux of Winter Wheat Under Ozone Pollution	ZHAO Hui, ZHENG You-fei, CAO Jia-chen, <i>et al.</i> (412)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 赵进才

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军
朱永官 刘志培 刘 毅 汤鸿霄 孟 伟 周宗灿 林金明
赵进才 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞
黄耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2017年1月15日 第38卷 第1期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 38 No. 1 Jan. 15, 2017

主 管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	赵进才	Editor-in -Chief		ZHAO Jin-cai
编 辑	《环境科学》编辑委员会 北京市2871信箱(海淀区双清路 18号, 邮政编码:100085) 电话:010-62941102, 010-62849343 传真:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science (HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel:010-62941102, 010-62849343; Fax:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出 版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷 装 订	北京宝昌彩色印刷有限公司	Printed	by	Beijing Baochang Color Printing Co., Ltd.
发 行	科 学 出 版 社 电话:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com	Distributed	by	Science Press Tel:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易集团有限公司 (北京399信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 140.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行

ISSN 0250-3301



9 770250 330172