

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第38卷 第11期

Vol.38 No.11

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

天津市非道路移动源污染物排放清单开发	张意, Andre Michel, 李东, 张欣, 吴琳, 张衍杰, 马超, 邹超, 毛洪钧 (4447)
基于移动监测和土地利用回归模型的上海市近地面黑碳浓度空间模拟	彭霞, 余倩楠, 龙凌波, 刘敏, 徐茜, 魏宁, 周陶冶 (4454)
鄂东典型工业城市大气 PM ₁₀ 中元素浓度特征和来源分析	占长林, 张家泉, 郑敬茹, 姚瑞珍, 刘红霞, 肖文胜, 刘先利, 曹军骥 (4463)
常州夏秋季 PM _{2.5} 中碳质气溶胶特征及来源	叶招莲, 刘佳澍, 李清, 马帅帅, 许澎 (4469)
徐州市冬季大气细颗粒物水溶性无机离子污染特征及来源解析	范美益, 曹芳, 张园园, 鲍孟盈, 刘晓妍, 张雯淇, 高嵩, 章炎麟 (4478)
南宁市一次污染过程大气颗粒物理化特性及来源	刘慧琳, 陈志明, 李宏姣, 蒋靖坤, 张强, 黄炯丽, 毛敬英, 梁桂云, 杨俊超, 张达标, 莫招育 (4486)
西安市秋冬季不同空气质量下可培养微生物气溶胶浓度和粒径分布	李婉欣, 路瑞, 谢铮胜, 王金龙, 范春兰, 刘鹏霞, 李彦鹏 (4494)
黄渤海海域秋季营养盐及有色溶解有机物分布特征	唐永, 孙语嫣, 石晓勇, 韩秀荣, 苏荣国 (4501)
华东沿海滩涂区表层沉积物重金属含量特征及风险评价	张明, 鲍征宇, 陈国光, 雍太健, 朱意萍, 梁晓红 (4513)
基于地球化学特性的海州湾海洋牧场沉积物重金属研究	李大鹏, 张硕, 张中发, 罗娜, 魏青青, 张瑞, 黄宏 (4525)
尼洋河流域水化学特征及其控制因素	张涛, 蔡五田, 李颖智, 张智印, 耿婷婷, 边超, 赵森, 蔡月梅 (4537)
南亚热带地区水库夏季铁、锰垂直分布特征	杨思远, 赵剑, 余华章, 彭亮, 肖利娟 (4546)
辽河流域地表水中典型抗生素污染特征及生态风险评估	张晓娇, 柏杨巍, 张远, 马淑芹, 郭昌胜, 张莉 (4553)
东太湖渔业养殖对沉积物营养盐的影响	何肖微, 储瑜, 曾巾, 赵大勇, 陆建明, 曹萍, 吴庆龙 (4562)
浑太河不同水生态区营养盐对底栖硅藻的影响及阈值	张莉, 林佳宁, 张远, 王书平, 臧小苗, 张晓娇 (4570)
水环境条件对三峡库区消落带狗牙根根磷养分淹水浸泡释放的影响	肖丽微, 朱波 (4580)
野鸭湖湿地芦苇根际微生物多样性与磷素形态关系	滕泽栋, 李敏, 朱静, 宋明阳 (4589)
人为扰动背景下城市边缘溪流底质硝化-反硝化潜力分析	李如忠, 郑侠, 高苏蒂, 叶舟 (4598)
不同扰动下外源磷在形态磷间的分布规律	蔡顺智, 李大鹏, 唐鑫煜, 李浩冉, 朱伟, 黄勇 (4607)
伊乐藻-高效脱氮微生物协同作用对污染水体氮素脱除机制的影响	王浩, 李正魁, 张一品, 丁帮璟 (4617)
零价铁活化过硫酸钠去除废水中的砷(V)	周孜迈, 邓文娜, 杨艺琳, 孙艳秋, 王悦, 柳听义, 王中良 (4623)
nZVI/AC 复合材料对水中锑的去除	蒋婷, 鲍玥, 李威, 方荣业, 史惠祥 (4632)
流态对生物添加强化硝化效果的影响	于莉芳, 杜倩倩, 张茹, 杨秀玲, 李初, 渭思思, 冯云堂 (4641)
温度对 SBR 生物脱氮效能及胞外聚合物的影响	孙洪伟, 陈翠忠, 吴长峰, 赵华南, 于雪, 方晓航 (4648)
温度对间歇曝气 SBR 短程硝化及硝化活性的影响	刘宏, 彭永臻, 卢炯元, 李慧, 南彦斌, 王瑾, 陈永志 (4656)
不同诱导模式下 CAST 工艺的亚硝酸盐型反硝化除磷能力	马娟, 王瑾, 俞小军, 张伟, 魏雪芬, 陈永志, 田文清 (4664)
污水处理厂 CANON 工艺小试	李冬, 赵世勋, 王俊安, 朱金凤, 关宏伟, 张杰 (4673)
SBR 加载不同粒径磁性活性炭对其污泥颗粒化进程的影响机制	信欣, 管蕾, 郭俊元, 刘洁, 冯梅, 余婷婷 (4679)
常温下厌氧氨氧化污泥的储存及活性恢复	黄佳路, 王小龙, 高大文 (4687)
同步脱氮除磷好氧颗粒污泥培养过程微生物群落变化	高景峰, 王时杰, 樊晓燕, 潘凯玲, 张丽芳, 张树军, 高永青, 张帅 (4696)
硫酸盐和 Fe(II) EDTA-NO ₃ /Fe(III) EDTA 厌氧还原过程特性及微生物群落分析	张玉, 万方, 周集体 (4706)
SBR 系统外加磁场对微生物群落多样性和处理效果的影响	耿淑英, 付伟章, 王静, 郑书联 (4715)
安徽某铁矿排土场废矿石中产酸微生物群落	杜泽瑞, 郝春博, 裴理鑫, 卫朋飞, 张鑫, 鲁艳春 (4725)
典型集雨人饮地区窖水微生物群落多样性及差异解析	杨浩, 张国珍, 杨晓妮, 武福平, 赵炜, 张洪伟, 张翔 (4733)
表层沉积物中 6:2 氟调醇生物降解对细菌群落结构的影响	王丹, 侯珍, 张琪, 周莹, 卢晓霞 (4747)
外源环烷酸在土壤中的降解过程及对微生物群落结构的影响	刘艳秋, 赵嫣然, 刘梦娇, 樊灏, 黄艺 (4756)
1 株异养硝化-好氧反硝化细菌 DK1 的分离鉴定及其脱氮特性	牟东阳, 靳鹏飞, 彭永臻, 李夕耀, 张琼, 何建中 (4763)
重庆缙云山 4 种典型植被覆盖下汞的释放通量及影响因素	杨光, 孙涛, 安思危, 马明 (4774)
模拟氮沉降对闽江口淡水感潮沼泽湿地 CO ₂ 、CH ₄ 排放通量的短期影响	李冬冬, 仝川, 谭立山, 陈坤龙, 孙东耀, 黄佳芳 (4782)
地膜覆盖对稻-油轮作农田 CH ₄ 和 N ₂ O 排放的影响	石将来, 郝庆菊, 冯迪, 张凯莉, 石孝均, 江长胜 (4790)
西安市公园土壤多环芳烃污染特征、来源及风险评价	周燕, 卢新卫 (4800)
不同沙生灌木下土壤颗粒及重金属空间分布特征	代豫杰, 郭建英, 董智, 李锦荣, 李红丽 (4809)
不同水分梯度下 UV-B 辐射对 2 个稻田土壤碳氮转化的影响	蒋梦蝶, 王秋敏, 徐鹏, 周维, 郭磊, 胡荣桂 (4819)
喀斯特灌丛土壤丛枝菌根真菌群落结构及丰度的影响因子	梁月明, 苏以荣, 何寻阳, 陈香碧, 胡亚军 (4828)
生物炭和草酸活化磷矿粉对镉镍复合污染土壤的应用效果	段然, 胡红青, 付庆灵, 寇长林 (4836)
反复冻融与高温老化对神污染土壤固化稳定化效果的影响	杨洁, 钱赵秋, 王旌 (4844)
皂角苷和柠檬酸联合对污泥中 Cu、Pb 和 Zn 的去除及其稳定性特征	叶涛, 黄丽, 张克强, 张斌, 常红, 刘智杰, 杜连柱 (4850)
针铁矿与胡敏酸的交互作用及其复合物的稳定性	王锐, 朱朝菊, 向文军, 方敦, 杨小洪, 吴少尉, 魏世勇 (4860)
塑胶跑道中有机磷酸酯的含量及健康风险	印红玲, 刘琴, 廖林群, 王震, 罗怡, 邓旭, 丁凌刚, 唐铭 (4868)
农业废物堆肥化中理化参数对 GH6 家族基因影响	陈耀宁, 苟宇, 黎媛萍, 伍艳馨, 陈艳容, 李辉, 刘耀, 汪元南, 张道利, 朱福造, 曾光明 (4874)
F/M 及 HRT 对果蔬垃圾厌氧发酵产氢的影响	李标, 孔晓英, 李连华, 李颖, 袁振宏, 孙永明, 吕鹏梅 (4882)
环境模型中敏感性分析方法评述	陈卫平, 涂宏志, 彭驰, 侯鹰 (4889)
《环境科学》征稿简则 (4462)	
《环境科学》征订启事 (4672)	
信息 (4647, 4705, 4789)	

地膜覆盖对稻-油轮作农田 CH₄ 和 N₂O 排放的影响

石将来¹, 郝庆菊¹, 冯迪¹, 张凯莉¹, 石孝均^{1,2}, 江长胜^{1*}

(1. 西南大学资源环境学院, 三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400716; 2. 国家紫色土肥力与肥料效益监测基地, 重庆 400716)

摘要: 以位于西南大学农业部重庆紫色土生态环境重点野外科学观测试验站内的稻-油轮作农田为研究对象, 采用静态暗箱/气相色谱法, 对覆膜与常规(不覆膜)两种处理下稻-油轮作农田 CH₄ 和 N₂O 的排放特征及影响因素进行了为期一年的原位观测. 结果表明, 两种处理下, CH₄ 和 N₂O 的排放均主要集中在各作物的生长前期, 水稻季 CH₄ 和油菜季 N₂O 的排放通量均具有较明显的季节变化; 全年 CH₄ 的排放通量介于 $-0.45 \sim 1.90 \text{ mg} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1}$, N₂O 的排放通量介于 $-46.1 \sim 2040.7 \text{ } \mu\text{g} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1}$. 地膜覆盖提高了 CH₄ 和 N₂O 排放总量, 其中覆膜处理全年 CH₄ 排放总量为 $(27.22 \pm 4.48) \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 相比常规处理 $(19.93 \pm 0.56) \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 提高了 26.22%; 覆膜处理 N₂O 的年排放总量为 $(13.14 \pm 0.82) \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 较常规处理下 $(11.27 \pm 2.77) \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 增加了 16.6%. 覆膜显著提高了油菜季土壤含水率, 而对全年各作物季土壤温度(地下 5 cm 温度和地表温度)没有明显的影响. 覆膜处理下油菜季 CH₄ 和 N₂O 的排放与土壤含水率呈负相关, 幼苗期达显著负相关; 两种处理下, 各作物季 CH₄ 和 N₂O 的排放与土壤温度的相关性均很小. 研究表明, 地膜覆盖影响作物各生育期内 CH₄ 和 N₂O 的排放规律, 改变了作物各生育期内 2 种气体排放占全季排放量的比例, 促进了稻-油轮作农田 CH₄ 和 N₂O 的排放. 在 100 a 时间尺度上, 覆膜处理下全年排放的 CH₄ 和 N₂O 所引起的综合 GWP(CO₂ 量)为 $4213.00 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 较常规处理 $3454.17 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 提高了 22.0%, 表明覆膜不是一种有效的碳减排措施.

关键词: 地膜覆盖; 稻-油轮作; CH₄; N₂O; 排放通量; 全球增温潜势(GWP)

中图分类号: X144 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2017)11-4790-10 DOI: 10.13227/j.hjxx.201612243

Effects of Plastic Film Mulching on Methane and Nitrous Oxide Emissions from a Rice-Rapeseed Crop Rotation

SHI Jiang-lai¹, HAO Qing-ju¹, FENG Di¹, ZHANG Kai-li¹, SHI Xiao-jun^{1,2}, JIANG Chang-sheng^{1*}

(1. Key Laboratory of Eco-environments in Three Gorges Reservoir Region, Ministry of Education, College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400716, China; 2. National Monitoring Station of Soil Fertility and Fertilizer Efficiency on Purple Soils, Chongqing 400716, China)

Abstract: A field experiment was conducted in the Key Field Station for Monitoring of Eco-Environment of Purple Soil of the Ministry of Agriculture of China in the farm of Southwest University in Chongqing. Static opaque chamber and gas chromatography methods were used to study the effect of plastic film mulching on CH₄ and N₂O emissions characteristics from a rice-rapeseed crop rotation *in situ* for one year. The results showed that CH₄ and N₂O emissions are mainly concentrated in the early stages of the growth of each crop and there is a clear seasonal variation of CH₄ emissions during the rice growing period and N₂O in the rapeseed growing period. The CH₄ flux changed from -0.45 to $1.90 \text{ mg} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1}$ and the N₂O flux varied between -46.1 and $2040.7 \text{ } \mu\text{g} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1}$ over the entire year. Plastic film mulching was found to increase the total emissions of CH₄ and N₂O, with the total CH₄ emission of $(27.22 \pm 4.48) \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ over the entire year, which is 26.22% higher than that of the non-mulching treatment $(19.93 \pm 0.56) \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$. The total amount of N₂O emissions under film mulching treatment increased 16.6% from $(11.27 \pm 2.77) \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ under no mulching treatment to $(13.14 \pm 0.82) \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$. The results analyzed for soil moisture and soil temperature showed that mulching significantly increased the soil moisture during the rapeseed season, while there was no obvious correlation with soil temperature (at depths of 5 cm and for the surface temperature) for each crop season. During the rapeseed growing season, CH₄ and N₂O emissions negatively correlated with soil moisture and has a significant negative correlation during the seedling period with film mulching treatment. Moreover, under the two treatments, the correlation between CH₄ and N₂O emissions and soil temperature was negligible. This study indicates that plastic film mulching impacts CH₄ and N₂O emissions at different growth stages of the crops, which changes the proportion of the emission of the two gases over the whole growth period, and promotes the emission of CH₄ and N₂O in the rice-rapeseed system. In the time scale of 100 years, the integrated global warming potentials (GWP) of CH₄ and N₂O emission under plastic film was a CO₂ equivalent of $4213.00 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ compared with that under conventional treatment of $3454.17 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$. Conventional emits 22.0% less CO₂,

收稿日期: 2016-12-28; 修订日期: 2017-06-05

基金项目: 国家自然科学基金项目(41275160, 40975095); 中央高校基本科研业务费专项(XDJK2015A013, XDJK2013A009)

作者简介: 石将来(1993~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为农田生态系统碳氮循环, E-mail: 2473985448@qq.com

* 通信作者, E-mail: jiangcs@126.com

indicating that plastic film mulching is not an effective measure for carbon sequestration.

Key words: plastic film mulching; rice-rapeseed rotation; CH_4 ; N_2O ; emission flux; global warming potential (GWP)

气候变暖是当今国际社会普遍关注的全球性问题,也是当今全球面临的重大挑战^[1, 2]. CH_4 和 N_2O 是大气中的重要温室气体,与 CO_2 相比, CH_4 和 N_2O 含量占温室气体总量的比例相对较小,但其对全球增温潜力相对较大,增温效应仅次于 CO_2 ^[3]. 在 100 a 时间尺度上,单位质量的 CH_4 和 N_2O 的全球增温潜势 (GWP) 分别是 CO_2 的 28 和 265 倍,对温室效应的贡献率分别约占 15% 和 5%^[4~6]. 据估计,大气中每年有 15% ~ 30% 的 CH_4 和 80% ~ 90% 的 N_2O 来源于土壤. 大量研究表明,稻田是大气 CH_4 和 N_2O 的重要来源^[1, 7~11].

水稻是我国最主要的谷类作物之一,其种植面积约占全世界的 17.8%^[3]. 因此,中国地区水稻田 CH_4 的排放对中国乃至世界 CH_4 源的贡献都非常重要. 水旱轮作是西南地区稻田重要的种植模式之一,且在水旱轮作条件下稻田旱作季 N_2O 的排放量远高于水稻生长季^[12]. 地膜覆盖对土壤水分、温度、养分、生物性质和作物产量具有显著影响^[13]. 目前,国内外有不少关于地膜覆盖对旱地土壤温室气体 (CO_2 、 CH_4 和 N_2O) 排放的影响研究的报道^[14~16]. 然而,为了减少早春低温和干旱的影响,在西南地区有不少农民在栽种水稻时也使用地膜覆盖技术,在水旱轮作方式下地膜覆盖对温室气体的排放产生影响的研究报道还较少. 因此,本试验以

西南地区典型的水稻-油菜轮作系统为研究对象,探讨地膜覆盖对农田生态系统 CH_4 和 N_2O 排放及其温室效应的影响,以期为西南地区稻-油菜轮作下稻田温室气体的精确估算及合理减排措施的制定提供更多理论依据.

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

试验区设在西南大学农业部重庆紫色土生态环境重点野外科学观测试验站内,该站位于西南大学试验农场,位于东经 $106^{\circ}26'$,北纬 $30^{\circ}26'$,海拔 230 m,年平均温度与降雨量分别为 18.3°C 和 1 150.4 mm,主要降雨分布在 5 ~ 9 月,年均日照为 1 276.7 h,年均无霜期为 334 d. 土壤为紫色砂泥岩母质上发育的中性紫色水稻土,土壤的基本理化性质为:有机质 $23.51 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,总氮 $0.57 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,碱解氮 $78.61 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,全磷 $521.91 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,全钾 $8.40 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,有效磷 $8.39 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,有效钾 $65.46 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,pH 6.83. 试验期间当地的日平均气温和降雨量的季节变化见图 1.

1.2 研究方法

1.2.1 试验设计

本试验共设覆膜与不覆膜两个处理,每个处理设置成规格为 $5.2 \text{ m} \times 2.5 \text{ m}$ 的单个小区,各处理分

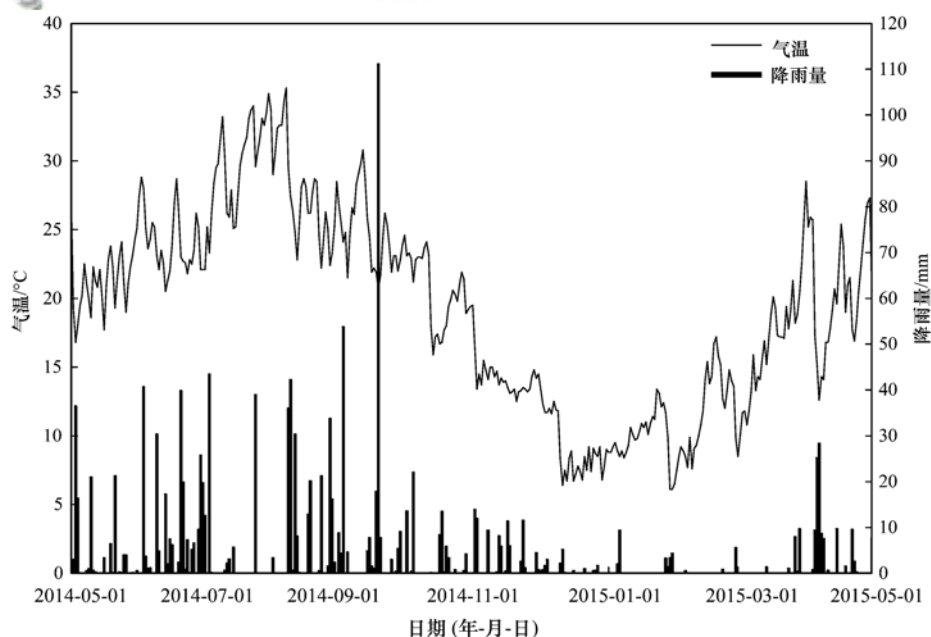


图1 采样区日平均气温和降雨量的季节变化

Fig. Seasonal changes of daily totals for precipitation and daily mean air temperature

别设置两个重复. 试验前将小区内土壤深翻 3 遍, 并平整地块, 使样地耕层土壤尽可能均匀平整. 试验时在各小区内平地起垄, 垄长 2.5 m、垄宽 0.8 m、高 0.15 m, 垄间距 0.3 m, 每小区内共有 5 条垄. 其中, 覆膜处理选用 1.2 m 宽、0.005 mm 厚的聚乙烯透明薄膜, 垄面上覆膜, 两边用泥土压实, 作物生育期和休闲期均全程覆膜(见图 2). 试验观测从 2014 年 5 月 16 日起至 2015 年 4 月 24 日止. 2014 年 5 月 14 日, 对试验田小区依次进行翻耕、施肥、覆膜、蓄水, 并在各小区内选择中间两垄上分别按“品”字型埋入 3 个长 50 cm、宽 50 cm、高 20 cm 的不锈钢底座(底座内于水稻季栽 4 窝水稻, 每窝 2 株; 油菜季栽 2 窝油菜, 每窝 1 株), 底座上端有深、宽各 3 cm 的密封水槽. 在埋设底座时, 先将地膜铺好, 在埋放底座的位置将地膜留好褶皱并在四周挖好约 20 cm 深的细沟, 将底座小心压放在地膜上并在底座外四周用土壤压实, 同时底座中央在覆膜前也多堆放一定土, 待底座放好后, 隔着地膜将底座内土推平, 使底座与垄面齐平. 在水稻(或油菜)种植后, 于覆膜破口处用适量土封住, 垄面地膜(含底座内)除每窝水稻留有十字小孔外, 均保持平整无损, 直到作物换茬时, 重新将小区内土壤翻耕, 并如以上方法重新敷设地膜. 2014 年 5 月 15 日, 移栽长势均匀的水稻幼苗, 移栽行间距为 25 cm × 20 cm; 2014 年 8 月 21 日, 收割水稻, 烤田, 进入休闲期. 2014 年 10 月 27 日, 对稻田翻耕(稻茬留田)、施肥、覆膜以及安放底座, 覆膜和底座安放与移栽水稻时一致. 2014 年 10 月 28 日, 移栽长势均匀的油菜幼苗, 移栽行间距为 25 cm × 30 cm; 2015 年 4 月 21 日收割油菜. 水稻和油菜季均以尿素作为氮肥、过磷酸钙为磷肥、氯化钾为钾肥, 3 种肥料混合后作为底肥一次性均匀撒播, 施肥量设置为: 纯氮 200 kg·hm⁻²、P₂O₅ 为 200 kg·hm⁻²、K₂O 为 100 kg·hm⁻². 试验水稻品种为 Y 两优 199, 油菜品种为圣光 302, 均于北碚种子公司购买.

1.2.2 气样采集与分析

本试验采用静态暗箱法采集 CH₄ 和 N₂O. 用于气体采集的箱体均设计成分节组合式标准箱, 由顶箱、延长箱和底座组成. 顶箱和延长箱均由不锈钢制成, 箱体尺寸均为 50 cm × 50 cm × 50 cm, 箱体外覆白色棉被, 防止在太阳辐射下箱内温度升高. 顶箱上部装有 2 个轴流扇, 用于混合箱内气体, 侧面安装有电源插头和气体样品采集口. 采样时视作物生长情况适时增加延长箱, 将顶箱或延长箱罩在 50

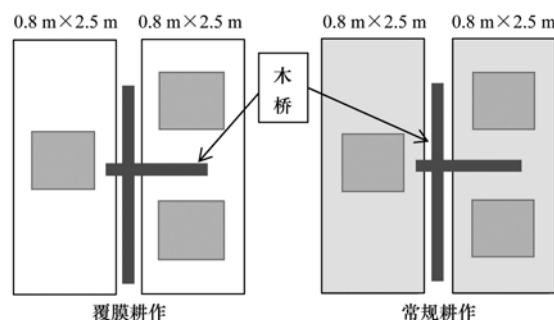


图 2 2014~2015 年稻-油轮作试验设计示意

Fig. 2 Experiment design map in rice-rape seed rotation cropland during 2014-2015

cm × 50 cm × 50 cm 不锈钢底座上, 用水密封. 采样频率为每周一次, 时间均为为星期天(若遇恶劣天气, 则延迟采样), 每次采样时间控制在上午 09:00 ~ 11:00 进行. 为了尽量减少扰动, 采样时通过特氟龙 F46 采气管线站在离水面 40 cm 高的固定木桥上, 在采样时同期测定采样开始时和结束时的箱外温度(离地面 1.5 m 处)、箱内温度(由 JM624 型便携式测温计测定)、地表温度(水稻季淹水期测定水面温度和地下 5 cm 土壤温度. 扣箱后立刻用 60 mL 的三通阀注射器采集第一次样品, 之后每隔 10 min 采集一次, 共采集 4 次样品, 采样后立即将样品带回实验室分析.

气体样品采用安捷伦 GC-7890A 气相色谱仪进行分析, CH₄ 用 FID 检测器, N₂O 用 ECD 检测器, 具体分析及工作条件详见文献[17]. 标准气体由中国计量科学研究院提供(摩尔分数分别为 CH₄ 10.3 × 10⁻⁶ mol·mol⁻¹ 和 N₂O 407 × 10⁻⁹ mol·mol⁻¹), 根据 4 个气样浓度随采样时间的变化率, 参照文献方法[18], 计算排放通量. 通过内插累加法[详见公式(1)]求得全年 CH₄ 和 N₂O 的季节排放总量, 从而求得平均排放量.

$$A_{ij} = F_i \times 24 + \sum_{k=i}^{j-1} \left(\frac{F_k + F_{k+1}}{2} \times 24 \right) + F_j \times 24 \quad (1)$$

式中, i, j 代表第 i, j 次采样 ($i < j$); F_k 为第 k 次采样时的排放通量, $\text{mg} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1}$; A_{ij} 代表第 i 次至第 j 次温室气体的累积排放量.

1.2.3 数据处理

运用 SPSS 19.0 对各种数据进行统计分析. 变量间气体通量、排放量、各温度以及 GWP 之间的差异显著性采用配对 t 检验分析. 相关关系采用 Pearson 相关统计进行分析. 除图 2 外, 其余图形均为 Origin 9.1 所作.

2 结果与分析

2.1 CH_4 排放通量的季节排放特征

图 3 为覆膜和常规处理下农田水稻季、水稻休闲期、油菜季 CH_4 排放通量的季节变化曲线. 两种处理下 CH_4 排放通量变化趋势基本一致, 除水稻休闲期外, 水稻季和油菜季均呈现出较为明显的季节变化差异. 在水稻季, 两种处理 CH_4 的排放都主要集中在水稻生长期, 尤其是在水稻抽穗扬花之前, 覆膜处理和常规处理的最大值分别为 $1.31 \text{ mg} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1}$ 和 $1.48 \text{ mg} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1}$, 差异不显著 ($P > 0.05$). 覆膜处理的 CH_4 排放通量呈多峰型排放,

峰值出现在分蘖期, 较常规处理延迟了 7~15 d. 进入水稻休闲期, CH_4 的排放速率显著下降, 其中除常规处理期间有一个明显的负排放峰值 [$-0.45 \text{ mg} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1}$] 外, 其余时间段内波动较小, 而覆膜处理虽排放量下降, 但均呈现出正排放, 最大值为 $0.46 \text{ mg} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1}$, 两种处理差异显著 ($P < 0.05$). 油菜季与水稻季 CH_4 的排放情况不同, 覆膜处理较常规处理提前达到最大排放通量. 两种处理除幼苗期(移栽后 2 个月内)出现明显的季节波动外, 其余时间波动较小且 CH_4 排放通量很低, 并且多次出现负值, 排放通量在 $-0.1 \sim 0.6 \text{ mg} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1}$ 之间, 呈现出排放-吸收交替现象.

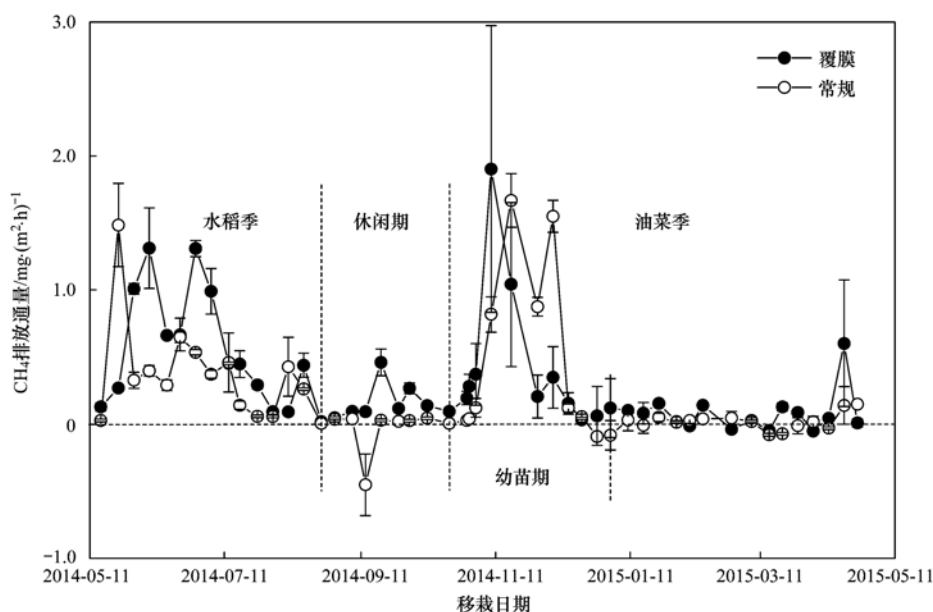


图 3 2014~2015 年稻-油轮作 CH_4 排放通量

Fig. 3 CH_4 emission fluxes from rice-rape seed rotation cropland during 2014-2015

2.2 N_2O 排放通量的季节排放特征

图 4 是整个观测时期内两种处理下 N_2O 排放通量的季节变化曲线. 从中可知, 两种曲线的变化趋势基本一致, 除休闲期外, 在水稻季和油菜季 N_2O 的排放呈现出明显的季节变化差异. 全年 N_2O 的排放通量介于 $-46.1 \sim 2040.7 \mu\text{g} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1}$, 各作物季 N_2O 的排放都主要集中在移栽后 30 d 以内, 最大排放通量均出现在施肥后 2 周左右, 且常规处理均高于覆膜处理, 休闲期基本无排放. 由于覆膜阻隔了土壤 N_2O 向大气的扩散, 导致其出峰延迟, 且峰值小于常规处理, 这在水稻季和油菜季都有明显呈现, 但覆膜改变了各生育期占整个生育期 N_2O 排放量的比例. 不同的是, 水稻季后期除在分蘖期有明显的 N_2O 排放外, 其余时间段均呈较低的排放趋势; 而在油菜季后期则有明显的排放起伏. 在水稻季,

N_2O 的排放呈单峰型, 覆膜处理与常规处理同时具有最大通量值, 分别为 $747.9 \mu\text{g} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1}$ 和 $1150.7 \mu\text{g} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1}$, 两者差异显著 ($P < 0.05$). 在油菜季, N_2O 的排放量明显较水稻季大, 在幼苗移栽后的 15 d 和 30 d 内, 常规和覆膜处理分别达到排放最大峰值, 分别为 $2040.7 \mu\text{g} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1}$ 和 $1224.7 \mu\text{g} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1}$, 覆膜处理滞后于常规处理 10~15 d.

2.3 不同阶段 CH_4 和 N_2O 排放总量及平均排放通量

由图 5(a) 可见, 整个观测期内, 覆膜处理全年 CH_4 排放总量为 $(27.22 \pm 4.48) \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 相比常规处理 $(19.93 \pm 0.56) \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 高 26.22%. 覆膜处理 CH_4 排放主要集中在水稻季, 排放量为 $(13.79 \pm 0.24) \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 占全年的 50.6%; 而休闲期为

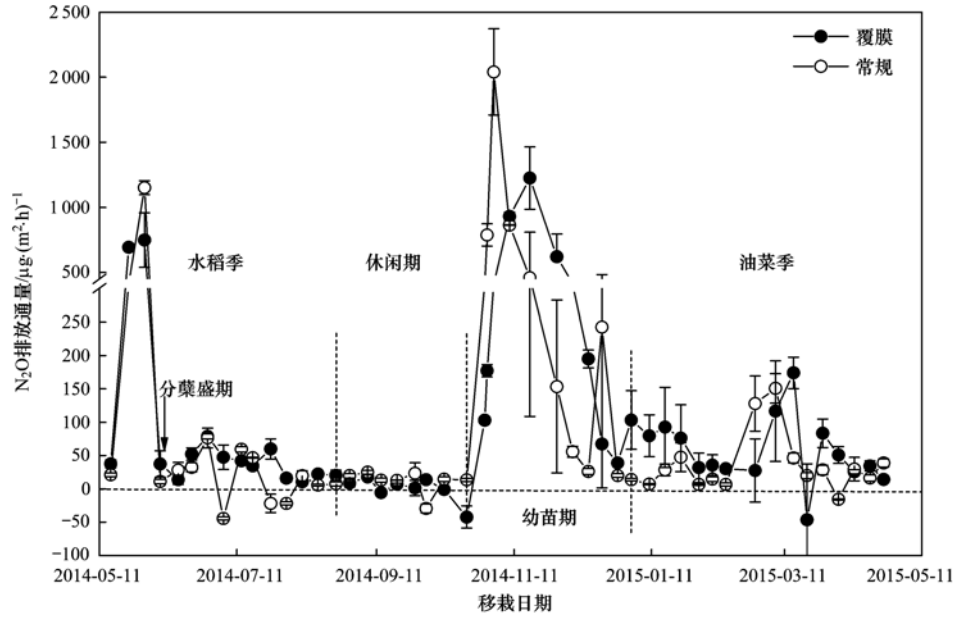
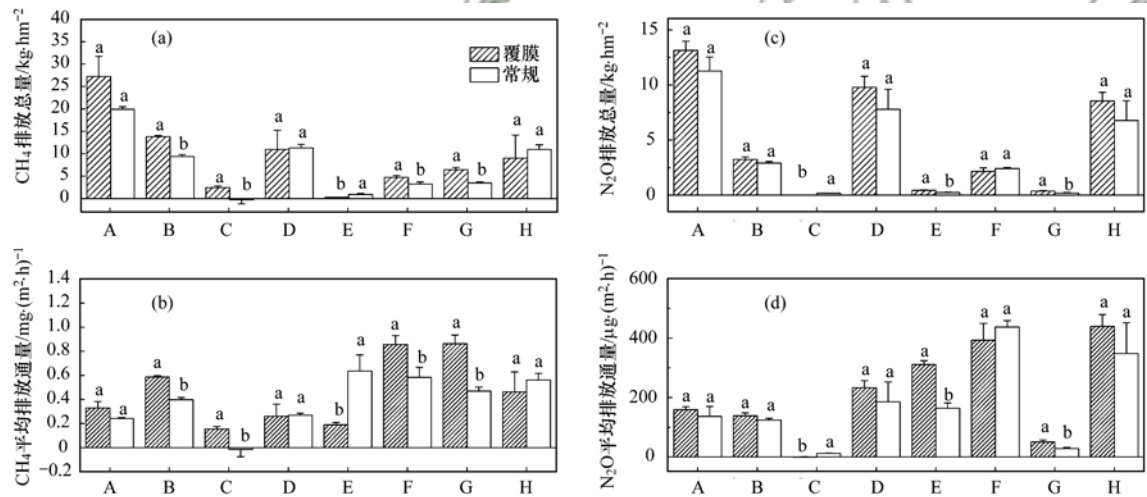


图 4 2014 ~ 2015 年稻-油菜轮作 N_2O 排放通量

Fig. 4 N_2O emission fluxes from rice-rapeseed rotation cropland during 2014-2015



A: 全年 (2014-05-16 ~ 2015-04-24); B: 水稻季 (2014-05-16 ~ 2014-08-21); C: 休闲期 (2014-08-22 ~ 2014-10-26); D: 油菜季 (2014-10-29 ~ 2015-04-21); E: 返青期 (2014-05-16 ~ 2014-05-21); F: 分蘖期 (2014-05-22 ~ 2014-06-13); G: 拔节孕穗期 (2014-06-14 ~ 2014-07-14); H: 幼苗期 (2014-10-29 ~ 2015-01-17)

图 5 2014 ~ 2015 年作物生长不同阶段 CH_4 和 N_2O 的排放量和平均排放速率

Fig. 5 Accumulative emissions and mean emission rates of CH_4 and N_2O during each growth stage of 2014-2015

(2.44 ± 0.35) $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 较常规处理的 (-0.25 ± 0.96) $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 提高了 $2.69 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 达到显著差异 ($P < 0.05$)。在水稻季, 覆膜处理 CH_4 排放量主要集中于分蘖期和拔节孕穗期, 占全季排放量的 80.9%, 水稻季内排放量拔节孕穗期 > 分蘖期 > 返青期。常规处理与覆膜处理排放趋势基本一致, CH_4 排放量主要也集中在分蘖期和拔节孕穗期, 占全季的 71.8%, 但覆膜处理对水稻季各生育期内 CH_4 排放量影响显著, 相比常规处理, 显著地提高了分蘖期

和拔节孕穗期 CH_4 排放量, 增加量分别为 $1.50 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $2.92 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ($P < 0.05$), 但极显著降低了返青期 CH_4 排放量, 降幅为 $0.64 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ($P < 0.01$)。表明覆膜显著影响水稻生长前期 CH_4 排放量。在油菜季, 覆膜处理和常规处理 CH_4 排放量非常接近, 分别为 (10.93 ± 4.29) $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 (11.30 ± 0.76) $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 两种处理的 CH_4 排放量都主要集中在幼苗期, 各占全季的 82.3% 和 96.5%。由图 5(b) 可知, 除油菜季和水稻返青期外, 覆膜处理的

其余各时期 CH_4 平均排放量都高于常规处理. 覆膜处理下的 CH_4 年平均排放量为 $[(0.33 \pm 0.05) \text{ mg} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1}]$ 较常规处理 $[(0.24 \pm 0.01) \text{ mg} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1}]$ 提高了 37.5%. 在水稻季覆膜处理 CH_4 平均排放通量表现为先低后高的趋势, 表现为拔节孕穗期 > 分蘖期 > 返青期; 而常规处理则与覆膜处理相反, 表现为返青期 > 分蘖期 > 拔节孕穗期, 各生育期差异显著 ($P < 0.05$).

由图 5(c) 所示, 覆膜处理下 N_2O 的年排放总量为 $(13.14 \pm 0.82) \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 较常规处理下 N_2O 年排放总量的 $(11.27 \pm 2.77) \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 提高了 16.6%. 在水稻季, 覆膜处理 N_2O 的排放总量为 $(3.26 \pm 0.23) \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 常规处理 N_2O 的排放总量为 $(2.91 \pm 0.15) \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 其中两种处理下水稻季 N_2O 排放量又主要集中在分蘖期, 分别各占全季排放的 66.8% 和 82.8% 以上. 在油菜季, 两种处理 N_2O 的排放主要集中在幼苗期, 占全季排放的 85% 以上. 覆膜处理增加了水稻季和油菜季 N_2O 排放 ($P > 0.05$), 但显著降低了休闲期内 N_2O 排放, 表现为 N_2O 吸收, 吸收量为 $0.01 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 相比常规处理降低了 $0.18 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ($P < 0.05$). 如图 5(d) 所示, 覆膜处理下, 油菜季幼苗期 N_2O 的平均排放量最大, 达 $[(439.57 \pm 40.26) \mu\text{g} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1}]$, 而常规处理则在水稻季分蘖期排放最大, 为 $[(437.11 \pm 22.05) \mu\text{g} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1}]$, 覆膜处理较常规处理在返青期和拔节孕穗期显著增加了 N_2O 的排放量 ($P < 0.05$).

2.4 环境因子对 CH_4 和 N_2O 排放的影响

2.4.1 土壤含水率对 CH_4 和 N_2O 排放的影响

油菜季观测期间, 覆膜和常规处理地表层 0 ~ 20 cm 土壤含水率季节变化如图 6 所示, 全季平均含水率分别为 34.49% 和 31.31%, 两者差异显著 ($P < 0.05$). 对覆膜处理油菜季 CH_4 和 N_2O 排放通量分别与土壤含水率的相关分析表明, 二者之间都存在负相关, 差异不显著; 而对覆膜处理幼苗期的 CH_4 和 N_2O 排放通量和土壤含水率的相关分析表明, 二者之间都存在显著负相关 ($R^2 = -0.614, n = 11, P < 0.05$ 和 $R^2 = -0.653, n = 11, P < 0.05$), 表明覆膜处理下, 油菜季土壤含水率是 CH_4 和 N_2O 排放的重要影响因子, 对该时期内 CH_4 和 N_2O 排放具有一定的阻碍作用. 对常规处理油菜季、幼苗期的 CH_4 和 N_2O 排放量分别与土壤含水率进行相关分析表明, 油菜季与幼苗期的 2 种排放气体与土壤含水率都呈正相关 ($P > 0.05$), 这与覆膜处理的结果恰

好相反.

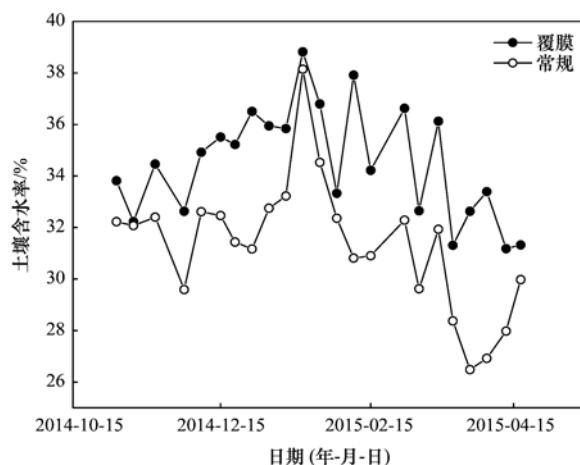


图 6 2014 ~ 2015 年油菜季土壤含水率

Fig. 6 Soil moisture content for rapeseed in 2014-2015

2.4.2 温度对 CH_4 和 N_2O 排放的影响

对覆膜处理和常规处理全年各作物季地下 5 cm 温度与地表温度分别进行配对 t 检验, 结果分析显示, 除休闲期差异显著外 ($P < 0.05$), 其余各时期差异均不明显, 表明覆膜对 2 种温度的影响不显著. 由表 1 可以看出, 无论覆膜处理还是常规处理, 不同阶段 CH_4 和 N_2O 的排放通量与 2 种温度的相关性均很小, 除个别处理外相关性均不显著; 其中水稻季 CH_4 的排放通量与 2 种温度均呈负相关. 覆膜处理休闲期的 N_2O 排放通量与 2 种温度的相关性最好, 均达到了显著水平, 其中与地表温度达到了极显著水平. 综合来看, 覆膜处理下各生育期 CH_4 和 N_2O 的排放通量与 2 种温度大多呈正相关, 而常规处理下大多呈负相关.

2.5 地膜覆盖对 CH_4 和 N_2O 的 GWP 的影响

全球增温潜势 (GWP) 可用于定量衡量不同温室气体对全球变暖的相对影响, 以 CO_2 当量值表示. 最新的 IPCC 报告提供的数据表明, 在 100 a 时间尺度上, 单位质量 CH_4 和 N_2O 的 GWP 分别为 CO_2 的 28 倍和 265 倍^[6]. GWP 的计算如下:

$$\text{GWP}(\text{CH}_4) = f(\text{CH}_4) \times 28$$

$$\text{GWP}(\text{N}_2\text{O}) = f(\text{N}_2\text{O}) \times 265$$

式中, $f(\text{CH}_4)$ 为 CH_4 净排放量 (kg), $f(\text{N}_2\text{O})$ 为 N_2O 净排放量 (kg).

表 2 为 2014 ~ 2015 年稻-油轮作农田各生产阶段 CH_4 和 N_2O 排在 100 a 时间尺度所引起的 GWP. 从中可知, 覆膜处理下全年产生的 CH_4 和 N_2O 所引起的综合 GWP (CO_2 量) 为 4 213.00

$\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 较常规处理 $3\,454.17\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 提高了 22.0% ($P>0.05$). 在水稻季和休闲期, 覆膜处理下 CH_4 的 GWP 显著高于常规处理 ($P<0.05$), 而在油菜季, 两者无明显差异, 全年 CH_4 的综合 GWP 覆膜处理高于常规处理. 而 N_2O 的 GWP 在水稻季, 覆膜处理与常规处理无明显差异. 在休闲期, N_2O 的

GWP 覆膜显著低于常规处理, 全年覆膜处理所产生的 N_2O 的综合 GWP 高于常规处理. 总体而言, 两种处理下, 除了常规处理油菜季产生的 CH_4 的 GWP 和休闲期产生的 N_2O 的 GWP 高于覆膜处理以外, 其余时间段, 无论是 CH_4 还是 N_2O 的 GWP, 覆膜处理均高于常规处理.

表 1 温度对 CH_4 和 N_2O 通量的 Pearson 相关及显著性分析¹⁾

Table 1 Pearson correlation and significance analysis between CH_4 or N_2O fluxes and temperature

处理	时期	CH_4		N_2O	
		地下 5 cm 温度	地表温度	地下 5 cm 温度	地表温度
覆膜	全年	0.27	0.238	-0.163	-0.124
	水稻季	-0.324	-0.538 *	-0.285	0.320
	休闲期	-0.027	0.184	0.706 *	0.803 **
	油菜季	0.172	0.126	0.007	0.213
常规	全年	-0.02	0.259	-0.1	-0.171
	水稻季	-0.371	-0.237	-0.376	-0.151
	休闲期	-0.251	-0.129	-0.082	-0.057
	油菜季	-0.053	-0.081	0.177	0.110

1) ** 表示 $P<0.01$, * 表示 $P<0.05$

表 2 2014~2015 年稻-油轮作 CH_4 和 N_2O 的 GWP/ $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$

Table 2 Corresponding CO_2 equivalents of CH_4 and N_2O in rice-rapeseed rotation during 2014-2015/ $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$

处理	覆膜			常规		
	水稻季	休闲期	油菜季	水稻季	休闲期	油菜季
CH_4	386.05	68.27	306.07	262.01	-6.88	316.29
N_2O	862.91	-2.43	2 592.13	771.95	47.99	2 062.83
$\text{CH}_4 + \text{N}_2\text{O}$ (全年)		4 213.00			3 454.17	

3 讨论

3.1 地膜覆盖对 CH_4 和 N_2O 排放的影响

本研究结果表明, CH_4 排放通量介于 $-0.45 \sim 1.90\text{ mg}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{h})^{-1}$ 之间, 这与李曼莉等^[19]的研究结果一致. 在不同作物种植期内, 覆膜栽培改变了 CH_4 的排放特征, 改变了各生育期占全年 CH_4 排放量的比例, CH_4 的排放峰值也都集中在作物生长前期 (30 d 以内), 与张军科等^[20]的研究结果存在差异, 可能与氮肥施入量有关, 本研究中氮肥作为底肥一次性施入, 施入量为张军科等研究的 2 倍左右. 而易琼等^[3]的研究认为稻田 CH_4 排放量随氮肥施用量的增加呈增加趋势, 稻田 CH_4 排放呈单峰型, 其峰值主要出现在水稻移栽后 16~23 d, 与本研究结果一致. 在水稻季, 覆膜处理的最大峰值较常规处理延迟降低, 这主要是因为地膜直接阻碍了土壤与大气间气体交换, 延迟 CH_4 排放, 并使得基肥施入后所出峰值略低于常规处理; 由于地膜的保肥作用使第二个出峰时期具有充足的养分, 从而使该峰值显著高于常规处理, 这与张怡等^[21]的研究发现水

稻覆膜栽培 CH_4 排放峰值均降低的结果略有差异, 可能是田间水分管理差异引起的. 本研究在水稻成熟期之前, 田间水分水位一直没过垄面 2~3 cm, 而张怡的研究中覆膜栽培厢沟水位保持在厢面下 3~12 cm, 在一定程度上抑制未被淹水部分土壤 CH_4 的产生, 促进厌氧区域产生的 CH_4 氧化, 从而降低 CH_4 的排放. 在油菜季, CH_4 的排放主要集中在幼苗期, 平均排放速率大, 但覆膜降低了幼苗期占全季 CH_4 排放的比例, 这可能是因为翻耕后苗期前期表层土壤中 O_2 充足, 覆膜导致 CH_4 在表层土壤中滞留时间延长, 大量 CH_4 被氧化. 由于地膜的保水保肥作用, 使苗期后 CH_4 排放量高于常规处理, 但随着温度降低以及养分消耗等因素, CH_4 排放量逐渐降低, 甚至出现 CH_4 吸收, 这与旱作农田的相关研究结果一致^[22,23].

地膜覆盖提高了作物全季 N_2O 的排放量, 但没达到显著差异, 这与 Cuello 等^[14]的研究结果略有不同. 稻田 N_2O 的排放主要集中在施肥后, 与张怡等的^[21,24]研究结果相同, 此时, 田间水量充足, 氮肥施用为硝化过程和反硝化过程的进行提供了充足的底

物,从而导致 N_2O 大量排放. 施肥效应过后,在水稻季,检测到常规处理 N_2O 脉冲式的排放,主要是因为期间发生强烈的降雨,而覆膜条件下,土壤水分变化缓慢,降雨对土壤表面扰动小,因此排放比较平缓. 从 N_2O 排放量来看,地膜覆盖没有改变 N_2O 在作物各生育期的分布规律,只是改变了各生育期占全季 N_2O 排放量的比例;水稻季各生育期内 CH_4 和 N_2O 平均排放通量符合“此消彼长”的排放规律,与以往研究结果一致^[25]. 董玉红等^[26]认为氮肥施用明显增加 N_2O 的排放,本研究结果也显示,水稻覆膜处理返青期和分蘖期 N_2O 排放总量与常规处理相当,表明施肥引起定量的 N_2O 排放,而地膜对此阶段 N_2O 排放量的多少并无直接影响. 大多数研究发现^[27,28],地膜覆盖具有增加土壤水分、土壤温度从而提高微生物活性的作用,卜玉山等^[29]还发现地膜覆盖可以增强土壤有机质的矿化,显著提高土壤速效氮含量,这也许就是施肥效应消失后,覆膜处理下各作物其余生育期 N_2O 排放高于常规处理的原因.

3.2 环境因子对 CH_4 和 N_2O 排放通量的影响

3.2.1 土壤含水率

CH_4 产生于严格的厌氧环境,秦晓波等^[30]认为稻田 CH_4 的排放主要集中在水稻生长季中前期的淹水期(含排放峰值),此时水稻生长旺盛,土壤养分充足,本研究结果也表明,2种处理下稻田 CH_4 的排放主要集中在分蘖期和拔节孕穗期,占全季70%以上. 也有研究认为地膜覆盖阻止了土壤水分的蒸发以及土壤易氧化有机质的分解,在一定程度上会导致土壤厌氧环境的形成,促使 CH_4 排放^[23],但当土壤低于最适土壤含水率时,土壤 CH_4 排放通量随着土壤含水率的增加而降低^[31]. 相关分析显示,覆膜处理油菜季 CH_4 的排放与土壤含水率呈负相关,幼苗期的 CH_4 排放与土壤含水率呈显著负相关,而常规处理油菜季 CH_4 的排放与土壤含水率呈正相关,表明土壤含水率是影响稻田旱作季 CH_4 排放通量的重要影响因素,这与张岳芳等^[12]的研究结果一致. 田间水分状况是决定 N_2O 排放的重要因素,本研究中,水稻季和休闲期 N_2O 排放量较低,季节规律也并不明显. 这可能是因为土壤含水率过高,土壤空隙较为饱和,阻碍了气体在土壤中的运动、分布及扩散,使 N_2O 在土壤滞留时间延长,而更可能的被进一步还原成 N_2 . 在油菜季,土壤含水率比水稻季低得多, N_2O 的排放量显著增加,尤其是在土壤干湿交替的时间段(土壤的干湿交替促进 N_2O 生成的同时抑制了反硝化过程的深度还原),使土壤中的N

以 N_2O 形式排放到大气中^[32],季节规律也比较明显.

3.2.2 温度

土壤温度是影响 CH_4 和 N_2O 排放的主要因素之一,主要通过影响土壤微生物的活性以及植株的 CH_4 和 N_2O 传输与释放能力,从而影响生态系统 CH_4 和 N_2O 排放^[10]. 整个观测期间,地下5 cm处土壤温度介于5.5~28.2℃,地表温度介于4.6~30.3℃,对2种不同处理不同生育期的 CH_4 和 N_2O 的排放通量分别与地下5 cm温度、地表温度进行了相关分析,结果显示无论是覆膜处理还是常规处理,温度是影响湿地 CH_4 排放的主要因素,这与丁维新等^[33]的研究结果相同,但温度对稻田旱作季的 CH_4 排放影响较小,这与张岳芳等^[12]的研究结果一致. 土壤培养试验表明,硝化和反硝化作用的最适温度分别为28℃和35℃,在未达到最适温度前,随着土壤温度的升高,硝化和反硝化作用加强^[32]. 在本研究中,夏季6~8月时,平均土壤温度为25.5℃,水稻生长旺盛,吸收了大量的 NO_3^- ,使反硝化作用受到抑制导致 N_2O 排放通量降低;休闲期内,土壤温度逐渐降低,微生物活性日趋减弱, N_2O 排放通量降低,甚至出现 N_2O 吸收. 1月之后,土壤温度开始回升,微生物活性日趋增强,促使反硝化作用加强,从而使 N_2O 排放通量增大,这与于亚军等^[34]的研究结果一致.

总体而言,地膜覆盖增加了稻-油轮作系统 CH_4 和 N_2O 的排放,但本研究只针对地膜覆盖对于农田生态系统 CH_4 和 N_2O 排放特征的影响研究,并没有涉及到相关机制,如土壤微生物种类、土壤有机质、土壤氧化还原电位对于温室气体排放的影响,因此,有待进一步深入研究.

4 结论

(1)相比常规处理,地膜覆盖提高了 CH_4 和 N_2O 的年排放总量,显著提高了水稻季和休闲期的 CH_4 排放总量,表明地膜覆盖会促进稻-油轮作农田 CH_4 和 N_2O 的排放.

(2)地膜覆盖增加或减少了作物生长季各生育期内 CH_4 和 N_2O 的排放总量和平均排放量,影响作物各生育期内 CH_4 和 N_2O 的排放规律,改变了作物各生育期内2种气体排放占全季排放量的比例.

(3)地膜覆盖显著提高了油菜季土壤含水率,而对地下5 cm温度和地表温度没有显著影响;在

油菜季, CH_4 和 N_2O 的排放通量与土壤含水率呈负相关, 幼苗期更是呈显著负相关, 表明覆膜处理下, 油菜季土壤含水率是 CH_4 和 N_2O 排放的重要影响因素。

参考文献:

- [1] 张玉铭, 胡春胜, 张佳宝, 等. 农田土壤主要温室气体 (CO_2 、 CH_4 、 N_2O) 的源/汇强度及其温室效应研究进展[J]. 中国生态农业学报, 2011, **19**(4): 966-975.
Zhang Y M, Hu C S, Zhang J B, *et al.* Research advances on source/sink intensities and greenhouse effects of CO_2 , CH_4 and N_2O in agricultural soils [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2011, **19**(4): 966-975.
- [2] 沈仕洲, 王风, 薛长亮, 等. 施用有机肥对农田温室气体排放影响研究进展[J]. 中国土壤与肥料, 2015, (6): 1-8.
Shen S Z, Wang F, Xue C L, *et al.* Research advances on effect of organic fertilizer on farmland greenhouse gas emissions [J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2015, (6): 1-8.
- [3] 易琼, 逢玉万, 杨少海, 等. 施肥对稻田甲烷与氧化亚氮排放的影响[J]. 生态环境学报, 2013, **22**(8): 1432-1437.
Yi Q, Fang Y W, Yang S H, *et al.* Methane and nitrous oxide emissions in paddy field as influenced by fertilization [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2013, **22**(8): 1432-1437.
- [4] 宋文质, 王少彬, 苏维翰, 等. 我国农田土壤的主要温室气体 CO_2 、 CH_4 和 N_2O 排放研究[J]. 环境科学, 1996, **17**(1): 85-88.
Song W Z, Wang S B, Su W H, *et al.* Agricultural activities and emissions of greenhouse gases in China region [J]. Environmental Science, 1996, **17**(1): 85-88.
- [5] 周再兴, 郑循华, 王明星, 等. 华东稻麦轮作农田 CH_4 、 N_2O 和 NO 排放特征[J]. 气候与环境研究, 2007, **12**(6): 751-760.
Zhou Z X, Zheng X H, Wang M X, *et al.* CH_4 , N_2O and NO emissions from a rice-wheat rotation cropping field in east China [J]. Climatic and Environmental Research, 2007, **12**(6): 751-760.
- [6] IPCC. Special report on emissions scenarios, working group III, intergovernmental panel on climate change [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2013.
- [7] 蔡祖聪, 谢德体, 徐华, 等. 冬灌田影响水稻生长期甲烷排放量的因素分析[J]. 应用生态学报, 2003, **14**(5): 705-709.
Cai Z C, Xie D T, Xu H, *et al.* Factors influencing CH_4 emissions from a permanently flooded rice field during rice growing period [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2003, **14**(5): 705-709.
- [8] 侯爱新, 陈冠雄, 吴杰, 等. 稻田 CH_4 和 N_2O 排放关系及其微生物学机理和一些影响因素[J]. 应用生态学报, 1997, **8**(3): 270-274.
Hou A X, Chen G X, Wu J, *et al.* Relationship between CH_4 and N_2O emissions from rice field and its microbiological mechanism and impacting factors [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 1997, **8**(3): 270-274.
- [9] 江长胜, 王跃思, 郑循华, 等. 耕作制度对川中丘陵区冬灌田 CH_4 和 N_2O 排放的影响[J]. 环境科学, 2006, **27**(2): 207-213.
Jiang C S, Wang Y S, Zheng X H, *et al.* Effects of tillage-cropping systems on methane and nitrous oxide emissions from permanently flooded rice fields in a central Sichuan hilly area of southwest China [J]. Environmental Science, 2006, **27**(2): 207-213.
- [10] 牟晓杰, 刘兴土, 仝川, 等. 闽江河口短叶荳芡湿地 CH_4 和 N_2O 排放对氮输入的短期响应[J]. 环境科学, 2012, **33**(7): 2482-2489.
Mou X J, Liu X T, Tong C, *et al.* Short-term effects of exogenous nitrogen on CH_4 and N_2O effluxes from *Cyperus malaccensis* marsh in the Min River estuary [J]. Environmental Science, 2012, **33**(7): 2482-2489.
- [11] 张翰林, 吕卫光, 郑宪清, 等. 不同秸秆还田年限对稻麦轮作系统温室气体排放的影响[J]. 中国生态农业学报, 2015, **23**(3): 302-308.
Zhang H L, Lü W G, Zheng X Q, *et al.* Effects of years of straw return to soil on greenhouse gas emission in rice/wheat rotation systems [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2015, **23**(3): 302-308.
- [12] 张岳芳, 郑建初, 陈留根, 等. 水旱轮作稻田旱作季种植不同作物对 CH_4 和 N_2O 排放的影响[J]. 生态环境学报, 2012, **21**(9): 1521-1526.
Zhang Y F, Zheng J C, Chen L G, *et al.* Effects of different upland crops cultivation on CH_4 and N_2O emissions during upland-growing season from paddy rice-upland crop rotation field [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2012, **21**(9): 1521-1526.
- [13] Berger S, Kim Y, Kettering J, *et al.* Plastic mulching in agriculture-Friend or foe of N_2O emissions? [J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2013, **167**: 43-51.
- [14] Cuervo J P, Hwang H Y, Gutierrez J, *et al.* Impact of plastic film mulching on increasing greenhouse gas emissions in temperate upland soil during maize cultivation [J]. Applied Soil Ecology, 2015, **91**: 48-57.
- [15] Li Z, Zhang R, Wang X, *et al.* Effects of plastic film mulching with drip irrigation on N_2O and CH_4 emissions from cotton fields in arid land [J]. The Journal of Agricultural Science, 2014, **152**(4): 534-542.
- [16] 朱咏莉, 吴金水, 韩建刚. 地膜覆盖对土壤中 N_2O 释放的影响[J]. 农业工程学报, 2004, **20**(3): 222-225.
Zhu Y L, Wu J S, Han J G. Effects of clear plastic film mulching on soil N_2O discharge flux [J]. Transactions of the CSAE, 2004, **20**(3): 222-225.
- [17] Wang Y S, Wang Y H. Quick measurement of CH_4 , CO_2 and N_2O emissions from a short-plant ecosystem [J]. Advances in Atmospheric Sciences, 2003, **20**(5): 842-844.
- [18] Ghosh S, Majumdar D, Jain M C. Methane and nitrous oxide emissions from an irrigated rice of North India [J]. Chemosphere, 2003, **51**(3): 181-195.
- [19] 李曼莉, 徐阳春, 沈其荣, 等. 旱作及水作条件下稻田 CH_4 和 N_2O 排放的观察研究[J]. 土壤学报, 2003, **40**(6): 864-869.
Li M L, Xu Y C, Shen Q R, *et al.* Methane and nitrous oxide fluxes in aerobic and waterlogged production systems of rice crop [J]. Acta Pedologica Sinica, 2003, **40**(6): 864-869.
- [20] 张军科, 江长胜, 郝庆菊, 等. 耕作方式对紫色水稻土农田

- 生态系统 CH_4 和 N_2O 排放的影响[J]. 环境科学, 2012, **33**(6): 1979-1986.
- Zhang J K, Jiang C S, Hao Q J, *et al.* Effects of tillage-cropping systems on methane and nitrous oxide emissions from agro-ecosystems in a purple paddy soil[J]. Environmental Science, 2012, **33**(6): 1979-1986.
- [21] 张怡, 吕世华, 马静, 等. 水稻覆膜节水综合高产技术对稻田 CH_4 排放的影响[J]. 生态环境学报, 2013, **22**(6): 935-941.
- Zhang Y, Lü S H, Ma J, *et al.* Effect of high-yield rice planting technique integrated with plastic mulching for water saving on methane emission from rice fields [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2013, **22**(6): 935-941.
- [22] 宋利娜, 张玉铭, 胡春胜, 等. 华北平原高产农区冬小麦农田土壤温室气体排放及其综合温室效应[J]. 中国生态农业学报, 2013, **21**(3): 297-307.
- Song L N, Zhang Y M, Hu C S, *et al.* Comprehensive analysis of emissions and global warming effects of greenhouse gases in winter-wheat fields in the high-yield agro-region of North China Plain[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2013, **21**(3): 297-307.
- [23] 李志国, 张润花, 赖冬梅, 等. 膜下滴灌对新疆棉田生态系统净初级生产力、土壤异氧呼吸和 CO_2 净交换通量的影响[J]. 应用生态学报, 2012, **23**(4): 1018-1024.
- Li Z G, Zhang R H, Lai D M, *et al.* Effects of drip irrigation with plastic mulching on the net primary productivity, soil heterotrophic respiration, and net CO_2 exchange flux of cotton field ecosystem in Xinjiang, northwest China [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2012, **23**(4): 1018-1024.
- [24] 张怡, 吕世华, 马静, 等. 控释肥料对覆膜栽培稻田 N_2O 排放的影响[J]. 应用生态学报, 2014, **25**(3): 769-775.
- Zhang Y, Lü S H, Ma J, *et al.* Effect of controlled release fertilizer on nitrous oxide emission from paddy field under plastic film mulching cultivation [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2014, **25**(3): 769-775.
- [25] 邹建文, 黄耀, 宗良纲, 等. 稻田 CO_2 、 CH_4 和 N_2O 排放及其影响因素[J]. 环境科学学报, 2003, **23**(6): 758-764.
- Zou J W, Huang Y, Zong L G, *et al.* A field study on CO_2 , CH_4 and N_2O emissions from rice paddy and impact factors[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2003, **23**(6): 758-764.
- [26] 董玉红, 欧阳竹, 李鹏, 等. 长期定位施肥对农田土壤温室气体排放的影响[J]. 土壤通报, 2007, **38**(1): 97-100.
- Dong Y H, Ou Y Z, Li P, *et al.* Influence of long-term fertilization on greenhouse gas fluxes from agricultural soil [J]. Chinese Journal of Soil Science, 2007, **38**(1): 97-100.
- [27] 杨青华, 韩锦峰. 棉田不同覆盖方式对土壤微生物和酶活性的影响[J]. 土壤学报, 2005, **42**(2): 348-351.
- Yang Q H, Han J F. Effects of mulching on soil microorganisms and enzyme activities in cotton field[J]. Acta Pedologica Sinica, 2005, **42**(2): 348-351.
- [28] 宋秋华, 李凤民, 王俊, 等. 覆膜对春小麦农田微生物数量和土壤养分的影响[J]. 生态学报, 2002, **22**(12): 2125-2132.
- Song Q H, Li F M, Wang J, *et al.* Effect of various mulching durations with plastic film on soil microbial quantity and plant nutrients of spring wheat field in semi-arid loess plateau of China [J]. Acta Ecologica Sinica, 2002, **22**(12): 2125-2132.
- [29] 卜玉山, 苗果园, 周乃健, 等. 地膜和秸秆覆盖土壤肥力效应分析与比较[J]. 中国农业科学, 2006, **39**(5): 1069-1075.
- Bu Y S, Miao G Y, Zhou N J, *et al.* Analysis and comparison of the effects of plastic film mulching and straw mulching on soil fertility[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2006, **39**(5): 1069-1075.
- [30] 秦晓波, 李玉娥, 刘克樱, 等. 不同施肥处理稻田甲烷和氧化亚氮排放特征[J]. 农业工程学报, 2006, **22**(7): 143-148.
- Qin X B, Li Y E, Liu K Y, *et al.* Methane and nitrous oxide emission from paddy field under different fertilization treatments [J]. Transactions of the CSAE, 2006, **22**(7): 143-148.
- [31] Gullledge J, Schimel J P. Moisture control over atmospheric CH_4 consumption and CO_2 production in diverse Alaskan soils [J]. Soil Biology and Biochemistry, 1998, **30**(8-9): 1127-1132.
- [32] 荆光军, 朱波, 李登煜. 成都平原水稻-油菜轮作系统油菜季 N_2O 排放通量的研究[J]. 土壤通报, 2007, **38**(3): 482-485.
- Jing G J, Zhu B, Li D Y. N_2O emission flux in the rice-rape rotation system in the Chengdu Plain [J]. Chinese Journal of Soil Science, 2007, **38**(3): 482-485.
- [33] 丁维新, 蔡祖聪. 温度对甲烷产生和氧化的影响[J]. 应用生态学报, 2003, **14**(4): 604-608.
- Ding W X, Cai Z C. Effect of temperature on methane production and oxidation in soils [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2003, **14**(4): 604-608.
- [34] 于亚军, 王小国, 朱波. 紫色土菜地生态系统土壤 N_2O 排放及其主要影响因素[J]. 生态学报, 2012, **32**(6): 1830-1838.
- Yu Y J, Wang X G, Zhu B. N_2O emissions from vegetable farmland with purple soil and the main factors influencing these emissions [J]. Acta Ecologica Sinica, 2012, **32**(6): 1830-1838.

CONTENTS

Development of a Non-Road Mobile Source Emissions Inventory for Tianjin	ZHANG Yi, Andre Michel, LI Dong, <i>et al.</i> (4447)
Spatial Simulation of Black Carbon Concentrations Based on a Land Use Regression Model and Mobile Monitoring over Shanghai, China	PENG Xia, SHE Qian-nan, LONG Ling-bo, <i>et al.</i> (4454)
Characteristics and Sources of Elements of a PM ₁₀ Measurements from a Typical Industrial City in Eastern Hubei Province	ZHAN Chang-lin, ZHANG Jia-quan, ZHENG Jing-ru, <i>et al.</i> (4463)
Characteristics and Source Identification of Carbonaceous Aerosols in PM _{2.5} Measurements During Summer and Fall in Changzhou	YE Zhao-lian, LIU Jia-shu, LI Qing, <i>et al.</i> (4469)
Characteristics and Sources of Water Soluble Inorganic Ions in Fine Particulate Matter During Winter in Xuzhou	FAN Mei-yi, CAO Fang, ZHANG Yuan-yuan, <i>et al.</i> (4478)
Physiochemical Properties and Sources of Atmospheric Particulate Matter During Pollution Monitoring in Nanning, China	LIU Hui-lin, CHEN Zhi-ming, LI Hong-jiao, <i>et al.</i> (4486)
Concentration and Size Distribution Characteristics of Culturable Bioaerosols at Various Air Quality Levels During Fall and Winter in Xi'an, China	LI Wan-xin, LU Rui, XIE Zheng-sheng, <i>et al.</i> (4494)
Distribution Characteristics of Chromophoric Dissolved Organic Matter and Nutrients from the Yellow Sea and Bohai Sea in Autumn	TANG Yong, SUN Yu-yan, SHI Xiao-yong, <i>et al.</i> (4501)
Characteristics and Risks of Heavy Metals Content in Surface Sediment of Tidal Flat Areas in Eastern China	ZHANG Ming, BAO Zhen-yu, CHEN Guo-guang, <i>et al.</i> (4513)
Heavy Metals in Sediments from the Haizhou Bay Marine Ranching Based on Geochemical Characteristics	LI Da-peng, ZHANG Shuo, ZHANG Zhong-fa, <i>et al.</i> (4525)
Major Ionic Features and Their Possible Controls in the Water of the Niyang River Basin	ZHANG Tao, CAI Wu-tian, LI Ying-zhi, <i>et al.</i> (4537)
Vertical Distribution Characteristics of Fe and Mn in Subtropical Reservoirs During Summer	YANG Si-yuan, ZHAO Jian, YU Hua-zhang, <i>et al.</i> (4546)
Occurrence, Distribution, and Ecological Risk of Antibiotics in Surface Water in the Liaohe River Basin, China	ZHANG Xiao-jiao, BAI Yang-wei, ZHANG Yuan, <i>et al.</i> (4553)
Effects of Optimized Fish Farming on the Sediment Nutrients of Eastern Lake Taihu	HE Xiao-wei, CHU Yu, ZENG Jin, <i>et al.</i> (4562)
Responses of the Benthic Diatom Community to Nutrients and the Identification of Nutrient Thresholds in Three Aquatic Ecoregions of the Huntai River, Northeast China	ZHANG Li, LIN Jia-ning, ZHANG Yuan, <i>et al.</i> (4570)
Impacts of Environmental Conditions on the Soaking Release of Nitrogen and Phosphorus from <i>Cynodon dactylon</i> (Linn.) Pers. in the Water-level Fluctuation Zone of the Three Gorges Reservoir Region	XIAO Li-wei, ZHU Bo (4580)
Effects of Soil Microbial Diversity on the Phosphate Fraction in the Rhizosphere of <i>Phragmites communis</i> in the Yeyahu Wetland in Beijing, China	TENG Ze-dong, LI Min, ZHU Jing, <i>et al.</i> (4589)
Nitrification and Denitrification Potential of Benthic Sediments in a Suburban Stream under Intense Human Disturbance Scenarios	LI Ru-zhong, ZHENG Xia, GAO Su-di, <i>et al.</i> (4598)
Distribution of External Phosphorus in the Sedimentary Phosphorus forms Under Different Disturbances	CAI Shun-zhi, LI Da-peng, TANG Xin-yu, <i>et al.</i> (4607)
Effect of <i>Elodea nuttallii</i> -Immobilized Nitrogen Cycling Bacteria on the Mechanism of Nitrogen Removal in Polluted River Water	WANG Hao, LI Zheng-kui, ZHANG Yi-pin, <i>et al.</i> (4617)
Zero-Valent Iron (ZVI) Activation of Persulfate (PS) for Oxidation of Arsenic (V) Form Aqueous Solutions	ZHOU Zi-mai, DENG Wen-na, YANG Yi-lin, <i>et al.</i> (4623)
Removal of Antimony from Water by Nano Zero-Valent Iron/Activated Carbon Composites	JIANG Ting, BAO Yue, LI Wei, <i>et al.</i> (4632)
Effect of the Flow Patterns of Main-stream Reactors on the Efficiency of Nitrification Enhancement with Bioaugmentation	YU Li-fang, DU Qian-qian, ZHANG Ru, <i>et al.</i> (4641)
Effect of Temperature on Nitrogen Removal Performance and the Extracellular Polymeric Substance (EPS) in a Sequencing Batch Reactor (SBR)	SUN Hong-wei, CHEN Cui-zhong, WU Chang-feng, <i>et al.</i> (4648)
Effects of Temperature on Shortcut Nitrification and Nitrification Activity of Nitrification in an Intermittent Aeration Sequencing Batch Reactor	LIU Hong, PENG Yong-zhen, LU Jiong-yuan, <i>et al.</i> (4656)
Nitrite Type Denitrifying Phosphorus Removal Capacity of Cycle Activated Sludge Technology Processes Under Different Inducing Patterns	MA Juan, WANG Jin, YU Xiao-jun, <i>et al.</i> (4664)
Laboratory-scale CANON Processes Applied to Wastewater Treatment Plants	LI Dong, ZHAO Shi-xun, WANG Jun-an, <i>et al.</i> (4673)
Effects of Magnetic Activated Carbon with Different Particle Sizes on Sludge Granulation in a SBR System	XIN Xin, GUAN Lei, GUO Jun-yuan, <i>et al.</i> (4679)
Storage and Reactivation of Anaerobic Ammonium Oxidation (ANAMMOX) Sludge at Room Temperature	HUANG Jia-lu, WANG Xiao-long, GAO Da-wen (4687)
Microbial Population Dynamics During Sludge Granulation in a Simultaneous Nitrogen and Phosphorus Removal System	GAO Jing-feng, WANG Shi-jie, FAN Xiao-yan, <i>et al.</i> (4696)
Anaerobic Reduction Process Characteristics and Microbial Community Analysis for Sulfate and Fe(II) EDTA-NO ₃ /Fe(III) EDTA	ZHANG Yu, WAN Fang, ZHOU Ji-ti (4706)
Treatment Efficiency and Microbial Community Diversity in a Magnetic Field Enhanced Sequencing Batch Reactor (SBR)	GENG Shu-ying, FU Wei-zhang, WANG Jing, <i>et al.</i> (4715)
Molecular Research of Acid-Generating Microbial Communities in Abandoned Ores in the Waste Dump of an Iron Mine in Anhui Province	DU Ze-rui, HAO Chun-bo, PEI Li-xin, <i>et al.</i> (4725)
Microbial Community Diversity and Differences in Cellar water of Typical Rainwater Harvesting Area	YANG Hao, ZHANG Guo-zhen, YANG Xiao-ni, <i>et al.</i> (4733)
Impact of the Biodegradation of 6:2 Fluorotelomer Alcohol on the Bacterial Community Structure of Surface Sediment	WANG Dan, HOU Zhen, ZHANG Qi, <i>et al.</i> (4747)
Degradation Process of Exogenous Naphthenic Acids and Their Effects on Microbial Community Structure in Soil	LIU Yan-qiu, ZHAO Yan-ran, LIU Meng-jiao, <i>et al.</i> (4756)
Identification and Nitrogen Removal Characteristics of the Heterotrophic Nitrification and Aerobic Denitrification Bacterial Strain DK1	MU Dong-yang, JIN Peng-fei, PENG Yong-zhen, <i>et al.</i> (4763)
Mercury Release Flux and Its Influencing Factors Under Four Typical Vegetation Covers at Jinyun Mountain, Chongqing	YANG Guang, SUN Tao, AN Si-wei, <i>et al.</i> (4774)
Short-term Effects of Nitrogen Deposition on CO ₂ and CH ₄ Fluxes from Wetlands in the Minjiang River Estuary	LI Dong-dong, TONG Chuan, TAN Li-shan, <i>et al.</i> (4782)
Effects of Plastic Film Mulching on Methane and Nitrous Oxide Emissions from a Rice-Rapeseed Crop Rotation	SHI Jiang-lai, HAO Qing-ju, FENG Di, <i>et al.</i> (4790)
Assessment of Pollution, Sources, and Risks of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Soil from Urban Parks in Xi'an City, China	ZHOU Yan, LU Xin-wei (4800)
Spatial Distribution of Soil Particles and Heavy Metals Under Different Psammophilic Shrubs in the Ulan Buh Desert	DAI Yu-jie, GUO Jian-ying, DONG Zhi, <i>et al.</i> (4809)
Effects of UV-B Radiation on Soil Carbon and Nitrogen Transformation under Different Soil Moisture Contents from Two Paddy Fields	JIANG Meng-die, WANG Qiu-min, XU Peng, <i>et al.</i> (4819)
Various effects on the Abundance and Composition of Arbuscular Mycorrhizal Fungal Communities in Soils in Karst Shrub Ecosystems	LIANG Yue-ming, SU Yi-rong, HE Xun-yang, <i>et al.</i> (4828)
Remediation of Cd/Ni Contaminated Soil by Biochar and Oxalic Acid Activated Phosphate Rock	DUAN Ran, HU Hong-qing, FU Qing-ling, <i>et al.</i> (4836)
Effects of Repeated Freezing and Thawing and High Temperature Aging on the Solidification and Stabilization of Arsenic Contaminated Soil	YANG Jie, QIAN Zhao-qiu, WANG Jing (4844)
Evaluation of the Combined Removal of Heavy Metals by Saponin and Citric Acid from Municipal Sewage Sludges and Metal Stability Features	YE Tao, HUANG Li, ZHANG Ke-qiang, <i>et al.</i> (4850)
Interactions between Goethite and Humic Acid and the Stability of Goethite-Humic Acid Complex	WANG Rui, ZHU Chao-ju, XIANG Wen-jun, <i>et al.</i> (4860)
Contents and Health Risks of Organic Phosphorus Esters in Plastic Runway Products	YIN Hong-ling, LIU Qin, LIAO Lin-qun, <i>et al.</i> (4868)
Effects on Physico-chemical Parameters of Glycoside Hydrolase Family 6 Genes During Composting of Agricultural Waste	CHEN Yao-ning, GOU Yu, LI Yuan-ping, <i>et al.</i> (4874)
Effect of the Food to Mass Ratio and Hydraulic Retention Time on Hydrogen Production from Fruit and Vegetable Waste	LI Biao, KONG Xiao-ying, LI Lian-hua, <i>et al.</i> (4882)
Comment on Sensitivity Analysis Methods for Environmental Models	CHEN Wei-ping, TU Hong-zhi, PENG Chi, <i>et al.</i> (4889)