

生态知库
Eco-Environmental
Knowledge Web

环境科学

ENVIRONMENTAL SCIENCE

ISSN 0250-3301 CODEN HCKHDV

HUANJING KEXUE

经济快速发展区场地污染特征、源-汇关系与管控对策专辑

我国经济快速发展区工业VOCs排放特征及管控对策

孟博文, 李永波, 孟晶, 李倩倩, 史斌, 周喜斌, 李金灵, 苏贵金



制药



喷涂



橡胶

京津冀

长三角

珠三角

■ 主办 中国科学院生态环境研究中心

■ 出版 科学出版社



2021年3月

第42卷 第3期

Vol.42 No.3

目次

经济快速发展区场地污染特征、源-汇关系与管控对策专辑

我国经济快速发展区工业 VOCs 排放特征及管控对策 孟博文, 李永波, 孟晶, 李倩倩, 史斌, 周喜斌, 李金灵, 苏贵金 (1023)

长江经济带湖北省人为源 VOCs 排放清单及变化特征 代伶文, 孟晶, 李倩倩, 史斌, 苏贵金, 黄利宏 (1039)

经济快速发展区六氯丁二烯的来源与分布特征 陶誉铭, 孟晶, 李倩倩, 史斌, 苏贵金, 郭立新 (1053)

近 20 年中国表层土壤中多环芳烃时空分布特征及源解析 马妍, 程芦, 阮子渊, 史鹏飞, 路超君, 运晓彤, 李璐嫣, 徐雁秋, 史怡 (1065)

电子废物拆解区微塑料与周围土壤环境之间的关系 柴炳文, 尹华, 魏强, 卢桂宁, 党志 (1073)

焦化场地内外土壤重金属空间分布及驱动因子差异分析 顾高铨, 万小铭, 曾伟斌, 雷梅 (1081)

典型石化工业城市土壤重金属源解析及空间分布模拟 孙雪菲, 张丽霞, 董玉龙, 朱林宇, 王政, 吕建树 (1093)

多功能区工业园土壤和地表灰尘重金属污染及生态风险差异分析 曾伟斌, 顾高铨, 万小铭, 雷梅 (1105)

龙岩市某铁锰矿区土壤重金属地球化学空间分布特征与来源分析 王蕊, 陈楠, 张二喜, 李小赛 (1114)

基于全周期场地概念模型的场地环境精准调查应用案例 李培中, 吴乃瑾, 王海见, 张骥, 荣立明, 李翔, 魏文侠, 宋云 (1123)

造纸厂土壤中短链和中链氯化石蜡的污染特征和风险评估 张佩萱, 高丽荣, 宋世杰, 乔林, 徐驰, 黄帝, 王爽, 蒋思静, 郑明辉 (1131)

典型再生铜冶炼厂周边土壤中 PCDD/Fs、PCBs 和 PCNs 的污染特征及健康风险评估 胡吉成, 郭静, 许晨阳, 金军 (1141)

柠檬酸与磷共存对土壤吸附镉的影响 宋子腾, 左继超, 胡红青 (1152)

两种能源草田间条件下对镉和锌的吸收累积 郑瑞伦, 石东, 刘文菊, 孙国新, 侯新村, 胡艳霞, 朱毅, 武菊英 (1158)

钒钛磁铁矿尾矿库复垦土地及周边土壤-玉米重金属迁移富集特征 孙厚云, 卫晓锋, 孙晓明, 贾凤超, 李多杰, 李健 (1166)

盐胁迫下八宝景天不同生态型对土壤中 Cd 积累特征 郭俊梅, 杨俊兴, 杨军, 万小铭, 孟晓飞, 陈同斌, 何孟轲, 周小勇, 徐铁兵 (1177)

水分条件对生物炭钝化水稻土铅镉复合污染的影响 汤家庆, 张绪, 黄国勇, 胡红青 (1185)

壳聚糖改性生物炭对水稻土甲基汞生成及其稻米积累的影响 杨雪玲, 王明星, 徐国敏, 王定勇 (1191)

铬污染对土壤细菌群落结构及其构建机制的影响 于皓, 安益君, 金德才, 靳拓, 王兴润 (1197)

研究报告

COVID-19 疫情期间京津冀大气污染物变化及影响因素分析 赵雪, 沈楠驰, 李令军, 武高峰, 陶静, 赵文吉 (1205)

2020 年初疫情管控对山东省空气质量影响的模拟 刘厚凤, 徐薇, 魏敏, 隋潇, 许鹏举, 李明燕, 张美根 (1215)

南京北郊 PM_{2.5} 中有机组分的吸光性质及来源 尚玥, 余欢, 茅宇豪, 王成, 谢鸣捷 (1228)

西安市大气棕碳污染特性及发色团种类 陈前, 陈庆彩 (1236)

淄博市道路尘颗粒物携带金属元素的来源与健康风险评价 郭清源, 白雯宇, 赵雪艳, 郭丽瑶, 王敬华, 耿春梅, 王晓雨, 王静, 杨文, 白志鹏 (1245)

北京市控制 PM_{2.5} 污染的健康效益评估 杜沛, 王建州 (1255)

西宁市大气污染来源和输送季节特征 刘娜, 余晔, 马学谦 (1268)

青岛近海不同污染过程下大气颗粒态氮磷浓度分布特征 袁刚, 祁建华, 丁雪 (1280)

基于走航监测的长三角工业园区周边大气挥发性有机物污染特征 王红丽, 高雅琴, 景盛翱, 楼晟荣, 胡馨遥, 安静宇, 吴宇航, 高伟, 朱亮, 黄成 (1298)

山地型城市冬季大气重污染过程特征及成因分析 刘伟诚, 牛月圆, 吴婧, 闫雨龙, 胡冬梅, 邱雄辉, 彭林 (1306)

兰-白城市群主要大气污染物网格化排放清单及来源贡献 王文鹏, 王占祥, 李继祥, 高宏, 黄韬, 毛潇萱, 马建民 (1315)

2012~2019 年北京市储油库 VOCs 去除及排放水平变化监测分析 华岚英, 崔彤, 李金香, 邹本东, 杨妍妍, 程刚 (1328)

生活垃圾无害化处理大气污染物排放清单 马占云, 姜显聪, 任佳雪, 张阳, 冯鹏, 高庆先, 孟丹 (1333)

长江口邻近海域表层沉积物中的细菌藎多醇及对低氧区的响应判别 尹美玲, 段丽琴, 宋金明, 张乃星 (1343)

鄱阳湖流域水体和水产品中苯酚的暴露特征及人体健康风险评估 徐倩云, 艾舜豪, 高祥云, 王晓南, 刘征涛, 赵师晴, 葛刚, 李霖 (1354)

衡水湖湿地水环境质量时空变化特征及污染源分析 刘魏魏, 郭子良, 王大安, 张曼胤, 张余广 (1361)

丹江口水库及其入库支流水体中微塑料组成与分布特征 潘雄, 林莉, 张胜, 翟文亮, 陶晶祥, 李丹文 (1372)

金盆水库暴雨径流时空演变过程及水质评价 黄诚, 黄廷林, 李扬, 李楠, 齐允之, 司凡, 华逢耀, 赵凌云 (1380)

汛期暴雨径流对饮用水水库溶解性有机质 (DOM) 光谱特征的影响 李程遥, 黄廷林, 温成成, 梁伟光, 林子深, 杨尚业, 李凯, 蔡晓春 (1391)

苏州古城区河道碳氮磷类污染物的分布特征 白冬锐, 张涛, 陈坦, 王洪涛, 金曦, 郑凯旋, 李忠磊, 杨婷, 金军 (1403)

娘子关泉群水化学特征及成因 唐春雷, 赵春红, 申豪勇, 梁永平, 王志恒 (1416)

过氧化钙重塑底泥对水中磷酸盐的吸附作用 徐楚天, 李大鹏, 王子良, 吴宇涵, 许鑫澎, 黄勇 (1424)

亚热带丘陵区绿狐尾藻人工湿地处理养猪废水氮磷去向 王丽莎, 李希, 李裕元, 张满意, 吴金水 (1433)

紫外/亚硫酸盐高级还原工艺加速降解水中难降解含碘造影剂 刘子奇, 仇付国, 赖曼婷, 李津, 董慧岭, 强志民 (1443)

太阳能热活化过硫酸盐降解染料罗丹明 B 的效能 马萌, 许路, 金鑫, 金鹏康 (1451)

一步法 La@MgFe₂O₄ 的制备及其吸附水中磷的性能 白润英, 宋博文, 张彧, 郝俊峰, 刘建明, 刘宇红 (1461)

工程规模长填龄渗滤液膜生物-纳滤组合设施各单元污染物去除效能 邵立明, 邓樱桃, 仇俊杰, 吕凡, 章骅, 何晶晶 (1469)

ANAMMOX 培养物中硫酸盐型氨氧化生物转化机制 毕贞, 董石语, 黄勇 (1477)

不同季节城市污水处理厂微生物群落特性 贺赞, 李魁晓, 王佳伟, 王慰, 樊鹏超, 陈行行, 王军静 (1488)

麻黄碱在斑马鱼体内的器官特异性蓄积及毒代动力学 殷行行, 郭昌胜, 邓洋慧, 邱紫雯, 张艳, 滕彦国, 徐建 (1496)

内蒙古白云鄂博矿区土壤稀土元素污染特征及评价 王哲, 赵莹晨, 骆逸飞, 郑春丽, 卞园, 张光宇 (1503)

广西典型岩溶区农田土壤-作物系统 Cd 迁移富集影响因素 马宏宏, 彭敏, 郭飞, 刘飞, 唐世琪, 杨峰, 张富贵, 周亚龙, 杨柯, 李括, 刘秀金 (1514)

超顺磁性纳米材料对镉污染稻田土壤微生物和酶的影响 方丹丹, 张立志, 王强 (1523)

水分管理与施硅对水稻根表铁膜及砷镉吸收的影响 陈佳, 赵秀兰 (1535)

四环素类抗生素对土壤-生菜系统的生物效应及其迁移降解特性 王卫中, 迟苏琳, 徐卫红 (1545)

地膜覆盖对菜地垄沟 CH₄ 和 N₂O 排放的影响 熊维霞, 江长胜, 赵仲婧, 曾唯, 胡曼利, 涂婷婷, 陈俊江, 郝庆菊 (1559)

对比研究生物炭和秸秆对麦玉米轮作系统 N₂O 排放的影响 唐占明, 刘杏认, 张晴雯, 李贵春 (1569)

流域水生态空间管控下生境监测方法概述 阴琨, 刘海江, 王光, 金小伟 (1581)

《环境科学》征订启事 (1151) 《环境科学》征稿简则 (1342) 信息 (1402, 1415, 1580)

地膜覆盖对菜地垄沟 CH₄ 和 N₂O 排放的影响

熊维霞^{1,2}, 江长胜^{1,2}, 赵仲婧^{1,2}, 曾唯^{1,2}, 胡曼利^{1,2}, 涂婷婷^{1,2}, 陈俊江^{1,2}, 郝庆菊^{1,2*}

(1. 西南大学资源环境学院, 西南山地生态循环农业国家级培育基地, 重庆 400716; 2. 三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400715)

摘要: 为了探讨地膜覆盖对菜地垄沟温室气体 CH₄ 和 N₂O 排放的影响, 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辣椒-萝卜轮作菜地为研究对象, 采用静态暗箱/气相色谱法, 进行为期 1 a 的田间原位观测. 本试验设置常规和覆膜两种处理方式, 研究地膜覆盖对菜地垄沟中 CH₄ 和 N₂O 排放的影响. 结果表明, 地膜覆盖能极显著提高土壤全年 pH ($P < 0.01$), 显著提高全年的地表温度和地下 5 cm 温度 ($P < 0.05$), 显著提高萝卜季土壤含水率 ($P < 0.05$). 不论是辣椒季还是萝卜季, 覆膜显著降低了垄的 CH₄ 排放 ($P < 0.05$), 辣椒季垄的 CH₄ 平均排放通量常规和覆膜处理分别为 0.110 mg·(m²·h)⁻¹ 和 0.028 mg·(m²·h)⁻¹, 萝卜季分别为 0.011 mg·(m²·h)⁻¹ 和 -0.019 mg·(m²·h)⁻¹, 但覆膜对沟的 CH₄ 排放没有显著影响 ($P > 0.05$), 辣椒季常规和覆膜处理分别为 0.058 mg·(m²·h)⁻¹ 和 0.057 mg·(m²·h)⁻¹, 萝卜季分别为 0.083 mg·(m²·h)⁻¹ 和 0.092 mg·(m²·h)⁻¹, 对比垄和沟, 除了辣椒季常规处理下垄 CH₄ 排放量显著高于沟, 其它均为沟显著高于垄, 这与西南地区较高的降雨量下沟内较稳定的缺氧环境有关. 覆膜处理对 N₂O 没有显著影响, 辣椒季垄 N₂O 的平均排放通量常规和覆膜处理下分别为 65.41 μg·(m²·h)⁻¹ 和 68.39 μg·(m²·h)⁻¹, 萝卜季分别为 78.43 μg·(m²·h)⁻¹ 和 66.19 μg·(m²·h)⁻¹, 辣椒季沟 N₂O 的平均排放通量分别为 19.82 μg·(m²·h)⁻¹ 和 22.85 μg·(m²·h)⁻¹, 萝卜季分别为 35.80 μg·(m²·h)⁻¹ 和 40.00 μg·(m²·h)⁻¹, 均无显著差异 ($P > 0.05$), 对比垄和沟, 垄 N₂O 的排放量显著高于沟, N₂O 主要由垄向大气排放. CH₄ 排放通量与地表及地下 5 cm 温度呈显著正相关, N₂O 的排放通量仅与碱解氮和铵态氮含量呈显著正相关.

关键词: 地膜覆盖; 温室气体; 菜地; 垄沟; 排放通量

中图分类号: X144; X16 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2021)03-1559-10 DOI: 10.13227/j.hjxx.202007225

Effect of Plastic Film Mulching on Methane and Nitrous Oxide Emissions from the Ridges and Furrows of a Vegetable Field

XIONG Wei-xia^{1,2}, JIANG Chang-sheng^{1,2}, ZHAO Zhong-jing^{1,2}, ZENG Wei^{1,2}, HU Man-li^{1,2}, TU Ting-ting^{1,2}, CHEN Jun-jiang^{1,2}, HAO Qing-ju^{1,2*}

(1. State Cultivation Base of Eco-agriculture for Southwest Mountainous Land, College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400716, China; 2. Key Laboratory of the Three Gorges Reservoir Region's Eco-Environment, Ministry of Education, Chongqing 400715, China)

Abstract: Investigate the effects of plastic film mulching on CH₄ and N₂O emissions from a vegetable field, a one-year *in situ* field observation was conducted using a static opaque chamber in a pepper-radish cropping system at the Key Field Station for Monitoring of Eco-Environment of Purple Soil of the Ministry of Agriculture of China at Southwest University, Chongqing. Two treatments (conventional and film mulching) were used to study the influence of film mulching on CH₄ and N₂O emissions. The results showed that mulching significantly increased the annual average soil pH ($P < 0.01$), annual surface and subsurface (5 cm) temperature ($P < 0.05$), and soil moisture content during the radish-growing season ($P < 0.05$). The mulching also significantly reduced CH₄ emissions in the field ridges ($P < 0.05$); the average CH₄ flux from ridges during the pepper-growing season was 0.110 mg·(m²·h)⁻¹ and 0.028 mg·(m²·h)⁻¹, and 0.011 mg·(m²·h)⁻¹ and -0.019 mg·(m²·h)⁻¹ during the radish-growing season, under the conventional and film mulching treatments, respectively. However, across the entire experiment, CH₄ flux from field furrows was not significantly different between the two mulching treatments ($P > 0.05$), with mean flux values during the pepper-growing season of 0.058 mg·(m²·h)⁻¹ and 0.057 mg·(m²·h)⁻¹, and 0.083 mg·(m²·h)⁻¹ and 0.092 mg·(m²·h)⁻¹ during the radish-growing season, for conventional and plastic film mulching, respectively. Except for the conventional treatment during the pepper-growing season, CH₄ emissions from ridges were significantly higher than from furrows, but for other treatments, including conventional and film mulching treatments during radish-growing season and film mulching treatment during the pepper-growing season, the CH₄ emissions from furrows were all significantly higher than those from ridges. This was related to the stable anoxic environment created in furrows under high rainfall conditions in Southwest China. The N₂O emission flux from the ridges during the pepper-growing season was 65.41 μg·(m²·h)⁻¹ and 68.39 μg·(m²·h)⁻¹ under the conventional and film mulching treatments, respectively, and the N₂O emission flux during the radish-growing season was 78.43 μg·(m²·h)⁻¹ and 66.19 μg·(m²·h)⁻¹, respectively. The N₂O flux between

收稿日期: 2020-07-23; 修订日期: 2020-09-01

基金项目: 国家自然科学基金项目(41275160, 41977186); 重庆市基础研究与前沿探索项目(cstc2018jcyjAX0476, cstc2019jcyj-msxmX0425)

作者简介: 熊维霞(1996~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为农田生态系统碳氮循环, E-mail: 1224489013@qq.com

* 通信作者, E-mail: haoqingju@163.com

conventional treatment and film mulching treatment in ridges or furrows were not significantly different ($P > 0.05$), while the N_2O emissions from the ridges were significantly higher than that from the furrows. CH_4 emission flux was significantly positively correlated with surface and subsurface temperature, while N_2O emission flux was only significantly positively correlated with alkaline nitrogen and ammonium nitrogen content.

Key words: plastic film mulching; greenhouse gases; vegetable field; ridge and furrow; flux

20 世纪以来,全球平均地表温度上升了约(0.6 ± 0.2) °C^[1],这主要是由于人类活动导致大气中温室气体(CO_2 、 CH_4 和 N_2O)浓度增加,其中, CH_4 和 N_2O 的增温效应仅次于 CO_2 ,在 100a 的时间尺度上,单位质量的 CH_4 和 N_2O 的增温潜势分别为 CO_2 的 28 倍和 265 倍^[2]. 农业用地占地球陆地的 37%,产生的 CH_4 和 N_2O 分别占总排放的 50% 和 70%,是大气中 CH_4 和 N_2O 的重要来源^[1]. 因此,减少 CH_4 和 N_2O 的排放,有助于解决全球气候变暖等问题.

地膜覆盖可以促进植物生长发育,增加产量,减少土壤水分蒸发和养分浸出,同时减少害虫和杂草的发生^[3~7],因此在全世界范围内广泛应用于农业生产中^[8]. 目前国内外已有较多关于覆膜对旱地 CH_4 或 N_2O 排放的影响研究^[9~18],但这些研究中地膜覆盖对旱地 CH_4 或 N_2O 的排放存在不同影响:有研究发现覆膜会增强 CH_4 和 N_2O 的排放^[9],有研究发现覆膜能降低 N_2O 排放^[11],有研究表明覆膜能促进对大气 CH_4 的吸收^[15],还有研究发现覆膜处理对 N_2O 的排放存在季节性影响,辣椒季覆膜能显著降低 N_2O 的排放,而在萝卜季则没有显著影响^[10],以上研究都仅是通过对垄的观测得出的结论,而忽视了沟的温室气体排放. 已有的研究发现 N_2O 主要除了通过膜渗透从垄向大气排放温室气体外^[19,20],但沟中温室气体的排放也不容忽视. 地膜覆盖下菜地垄和沟中温室气体的排放有无差异? 国内关于这方面的研究还鲜见报道. 因此,本文以西南地区典型辣椒-萝卜轮作菜地为研究对象,探索地膜覆盖下菜地 CH_4 和 N_2O 的排放特征,以期西南地区菜地温室气体减排提供理论依据.

1 材料与方法

1.1 试验区域概况

试验地点选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,坐标为东经 106°26',北纬 30°26',海拔 230 m,年均日照为 1 276.7 h,年均无霜期为 334 d,气候类型为亚热带季风气候,年平均温度为 18.3 °C,年均降水量为 1 105 mm. 试验地土壤为中生代侏罗系沙溪庙组灰棕紫色沙泥岩母质上发育的中性紫色土,其基本理化性质为:有机质 25.29 $g \cdot kg^{-1}$,全氮含量约 1.35

$g \cdot kg^{-1}$,碱解氮 56.62 $mg \cdot kg^{-1}$,总磷含量 646.00 $mg \cdot kg^{-1}$,有效磷 5.94 $mg \cdot kg^{-1}$,总钾含量 9.44 $g \cdot kg^{-1}$,有效钾 102.47 $mg \cdot kg^{-1}$,pH 6.83.

1.2 试验设计

本试验时间为 2016 年 3 月至 2017 年 2 月,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进行,2016 年 3 月 28 号翻耕、平整菜地,然后分成各个小区,每个小区分别起垄,垄长 2.8 m,垄宽 0.8 m,垄高 0.15 m,沟宽 0.4 m. 菜地设置覆膜和不覆膜两种处理,每种处理均按照以上小区大小设置 3 次重复. 覆膜处理的小区进行垄上覆膜,选用 0.005 mm 聚乙烯透明的薄膜,覆膜处理的小区先挖好放置底座的沟槽,覆膜后再沿着挖好的沟槽放入底座,以此来避免地膜损坏,覆膜处理的小区进行蔬菜幼苗移栽时,用小刀在薄膜上划开十字口,然后移栽辣椒苗,辣椒品种选用重庆龙胜种子经营部购买的龙椒一号,移栽好后用土覆盖十字口,保证覆膜处理的密封性,每个底座内种植两窝辣椒,翻耕前一次性施入基肥,包括 150 $kg \cdot hm^{-2}$ 磷肥(P_2O_5)和 100 $kg \cdot hm^{-2}$ 钾肥(K_2O),氮肥(尿素)则在基肥和追肥时各施一半,共计 300 $kg \cdot hm^{-2}$,2016 年 6 月 12 日追施氮肥,由于辣椒遭受轻微虫害,在 6 月 23 日和 7 月 3 日喷洒农药,2016 年 9 月 13 日铲除所有辣椒,2016 年 9 月 26 日进行翻耕、施肥、播种萝卜籽并覆膜,萝卜品种选用广西横县子龙商贸有限公司购买的九斤王,除了氮肥施入量为 200 $kg \cdot hm^{-2}$,田间管理与辣椒季的完全相同,2016 年 12 月 5 日追肥,最后于 2017 年 2 月底一次性收获全部萝卜. 在整个试验期间,除了自然降雨外,不进行人为灌溉.

1.3 样品采集与分析

1.3.1 气体样品采集

采用静态暗箱法采集 CH_4 和 N_2O ,垄采样箱设计为分节组合式标准箱,由顶箱、延长箱和底座组成,底座尺寸为长 50 cm、宽 50 cm 和高 20 cm,顶箱和延长箱尺寸均为长 50 cm、宽 50 cm 和高 50 cm,箱体外覆白色棉被,防止太阳辐射使箱内温度升高,延长箱的使用根据作物生长高度而定. 暗箱的顶箱上部装有两个轴流风扇,用以混合箱内气流,侧面安装电源插头和气体采集口. 垄内底座(长 50 cm、宽 50 cm 和高 20 cm)架设在每个处理小区的中间,对

于地膜覆盖处理,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 15 cm 深的细沟,将底座小心压放在地膜上并在底座外四周用细土压实,同时底座中央在覆膜前也多堆放一定土,待底座放入后,隔着地膜将底座内土推平. 在作物生长期底座都固定在采样点上. 沟采样箱分为底座和小型不锈钢圆筒,底座尺寸为直径 20 cm 和高 5 cm,不锈钢圆筒尺寸为直径 20 cm 和高 25 cm,箱顶中间装有采气的导管. 采样时,将顶箱盖在底座上,并用水密封,在 30 min 的时间内每隔 10 min 采集一次样品,共采集 4 个气体样品. 沟底座埋设在相同处理小区的沟内. 垄的采样周期为一周一次,沟为两周一次,在每次施肥和追肥后分别在垄上和垄沟内进行了连续 3 d 的气体样品加密采样. 采样时间均为 09:00 ~ 11:00,气样采集的同时测定采集开始和结束时箱内、箱外土壤的温度,以及地表和地下 5 cm 的土壤温度.

气体采集后在 24 h 内使用 Agilent 7890A 气相色谱仪进行分析测定,具体工作条件见文献[21],CH₄ 采用 FID 检测器测定浓度,N₂O 用 ECD 检测器测定浓度,并根据采样箱内气体浓度随采样时间的变化来计算气体的排放通量^[22],用线性内插法计算季节和全年累积排放量,得到垄和沟中的气体排放总量分别为 A_s 和 A_g ,通过对应的采样面积加权平均得到气体的季节和全年排放总量,公式如下:

$$A = (A_s \times S_s + A_g \times S_g) / S \quad (1)$$

式中, S_s 代表垄的面积 (m^2), S_g 代表沟的面积 (m^2), S 代表垄和沟的总面积 (m^2).

1.3.2 土壤指标测定方法

作物生长期,每隔 7 ~ 10 d 采集一次垄上 0 ~ 20 cm 的耕作层土壤,带回实验室,一部分风干处理后测量土壤 pH,使用酸度计测 pH,土壤有机碳(SOC)使用重铬酸钾容量法,碱解氮使用碱解扩散法,全氮(TN)使用凯氏定氮法,一部分保存在 4℃ 的冰箱里用于测量其他土壤指标,用烘干法测定重量含水率,铵态氮和硝态氮使用 KCl 浸提苯酚-次氯酸钠比色法和双波长法^[23].

1.4 数据处理

使用 SPSS 21.0 配对样品 t 检验分析常规和覆膜处理间土壤温度、含水率、SOC、ROC、碱解氮、硝态氮、铵态氮、TN、CH₄ 和 N₂O 排放通量的显著差异性,以及相同处理下垄和沟间的 CH₄ 和 N₂O 排放通量的显著差异性;常规和覆膜处理间作物产量、CH₄ 和 N₂O 累积排放量的显著差异性采用 LSD 单因素方差分析;相同处理下土壤温度、含水率及各项土壤理化性质与 CH₄ 和 N₂O 排放通量的相关性

采用 Pearson 相关性分析,并使用 Origin 8.5 作图.

2 结果与分析

2.1 土壤理化性质

2.1.1 土壤温度

图 1 是常规和覆膜处理下土壤地表温度和地下 5 cm 温度的季节变化,可以看出,地表温度和地下 5 cm 温度的变化趋势相同,均为单峰型,从 3 月开始,随着时间增加,气温逐渐升高,并在 7 月和 8 月出现峰值,常规和覆膜地表温度的峰值分别为 36.1℃ 和 34.6℃,常规和覆膜地下 5 cm 温度分别为 31.2℃ 和 33.15℃,然后随时间增加,温度逐渐降低,并在 1 月降到最低. 配对 t 检验结果表明,辣椒季平均地表温度为覆膜(23.94℃) > 常规(22.82℃) ($P < 0.05$),平均地下 5 cm 温度为覆膜(25.29℃) > 常规(24.33℃) ($P < 0.01$),表明覆膜显著提高了辣椒季地表及地下 5 cm 温度. 萝卜季平均地表温度为覆膜(14.99℃) > 常规(13.73℃) ($P < 0.05$),平均地下 5 cm 温度为覆膜(14.66℃) > 常规(14.09℃) ($P < 0.05$).

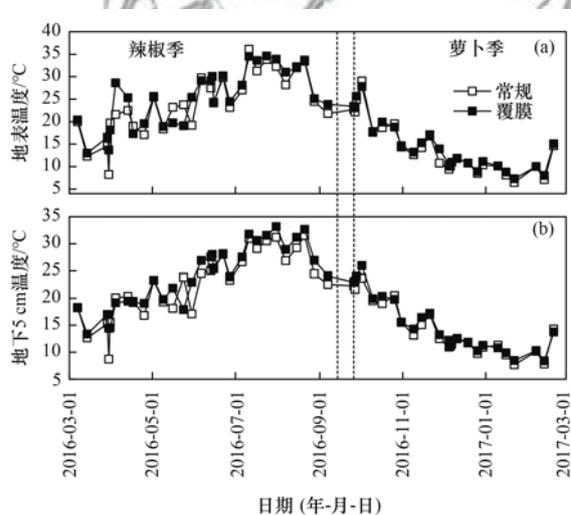


图 1 常规和覆膜下土壤温度的季节变化

Fig. 1 Seasonal changes in soil temperature under conventional and plastic film mulching treatments

2.1.2 土壤含水率和 pH

由图 2 可知,两种处理下土壤 pH 和含水率的变化形式相同,表明覆膜不会改变土壤 pH 与含水率的季节变化趋势. 辣椒季土壤 pH 整体高于萝卜季,辣椒季常规和覆膜 pH 范围分别为 5.45 ~ 6.33 和 5.78 ~ 6.34,配对 t 检验下覆膜(6.06) > 常规(5.83) ($P < 0.01$),萝卜季分别为 4.69 ~ 5.23 和 4.85 ~ 5.26,平均 pH 为覆膜(5.04) > 常规(4.94) ($P < 0.01$).

辣椒季土壤含水率在常规和覆膜处理下的变化范围分别为 24.00% ~ 68.03% 和 20.47% ~ 62.58%,

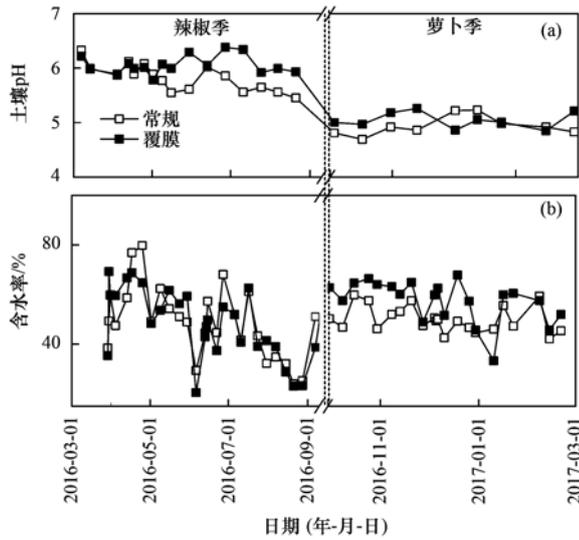


图 2 常规和覆膜下土壤 pH 和含水率的季节变化

Fig. 2 Seasonal changes in soil pH and moisture under conventional and plastic film mulching treatments

平均含水率为常规 48.74% 和覆膜 48.72%，没有显著差异，萝卜季整体为覆膜高于常规，常规和覆膜含水量变化范围分别为 42.10% ~ 59.82% 和 33.24% ~ 66.38%，平均含水率为覆膜 (57.62%) > 常规 (50.38%) ($P < 0.05$)。

2.1.3 土壤碳氮含量

从图 3(a) 可以看出，辣椒季土壤 SOC 在两种

处理下的变化趋势相同，且常规高于覆膜，平均值为常规 ($24.80 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$) > 覆膜 ($23.65 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$) ($P < 0.05$)，萝卜季常规下在施肥、播种后有机质急剧降低到最低值，从 $26.24 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 到 $12.18 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，降低 53.58%，而覆膜下变化不大，随后两种处理的变化趋势相同，整体为覆膜高于常规，平均值为覆膜 ($20.39 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$) > 常规 ($16.22 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$) ($P < 0.01$)。

TN 含量在两种处理下呈现相同季节变化趋势图 3(b)，虽然没有呈现出明显的季节变化高峰，但施肥和追肥后全氮含量有一定的上升，在辣椒季和萝卜季，覆膜处理对土壤全氮含量影响均不显著 ($P > 0.05$)，辣椒季常规与覆膜处理平均含量分别为 $0.87 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $0.88 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，萝卜季分别为 $1.18 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $1.00 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

对于碱解氮，两种处理下季节变化趋势相同图 3(c)，辣椒季碱解氮含量常规下变化范围为 $43.44 \sim 155.89 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，在 6 月 13 日追肥时出现峰值 $155.89 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，此后逐渐降低，覆膜处理下没有明显的季节变化，范围为 $76.29 \sim 127.42 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，覆膜对土壤碱解氮含量没有明显影响 ($P > 0.05$)，常规和覆膜处理下碱解氮平均含量分别为 $101.74 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $111.64 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。萝卜季出现明显的双峰，分别出现在施肥和追施氮肥后，最高峰值为施肥

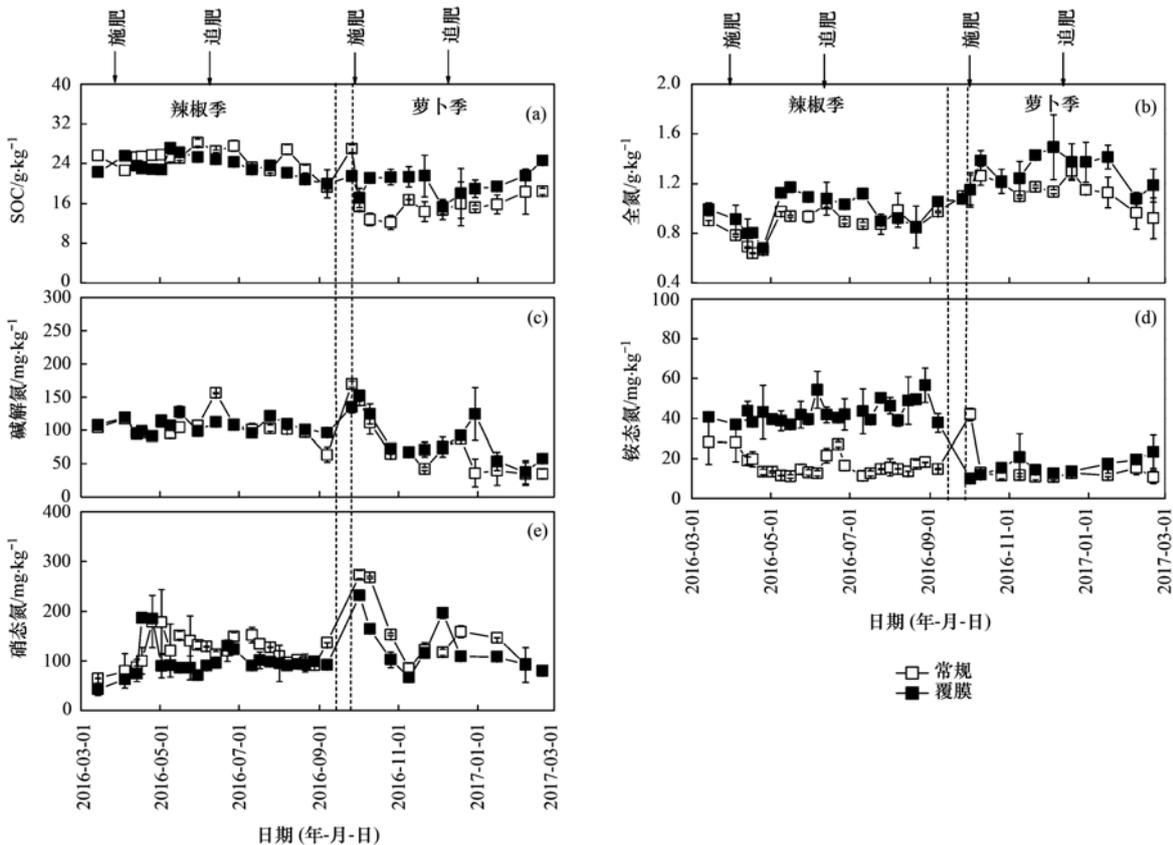


图 3 常规和覆膜下土壤碳氮的季节变化

Fig. 3 Seasonal changes in soil carbon and nitrogen under conventional and plastic film mulching treatments

时,常规和覆膜分别为 169.41 mg·kg⁻¹ 和 214.47 mg·kg⁻¹,随后在萝卜发芽期和苗期含量迅速降低,再趋于平缓,并于 12 月 5 日追肥时出现次峰值 86.53 mg·kg⁻¹ (常规) 和 124.25 mg·kg⁻¹ (覆膜),覆膜对土壤碱解氮含量没有明显影响 ($P > 0.05$),覆膜和常规处理下碱解氮平均含量分别 88.99 mg·kg⁻¹ 和 76.90 mg·kg⁻¹.

对于铵态氮,辣椒季覆膜明显高于常规图 3(d),覆膜下铵态氮含量范围为 36.93 ~ 56.65 mg·kg⁻¹,常规为 11.09 ~ 28.06 mg·kg⁻¹,配对 t 检验下覆膜 (43.00 mg·kg⁻¹) > 常规 (16.63 mg·kg⁻¹) ($P < 0.01$),萝卜季铵态氮在两种处理下的变化范围为 10.02 ~ 41.95 mg·kg⁻¹,平均值为 15.04 mg·kg⁻¹ (常规) 和 15.93 mg·kg⁻¹ (覆膜) ($P > 0.05$).

对于硝态氮图 3(e),两种处理下变化趋势也相同,覆膜明显降低了硝态氮含量,辣椒季硝态氮平均含量为常规 (121.43 mg·kg⁻¹) > 覆膜 (98.80 mg·kg⁻¹) ($P < 0.01$),萝卜季平均值为 149.94 mg·kg⁻¹ (常规) 和 126.73 mg·kg⁻¹ (覆膜),没有显著差异.

2.2 蔬菜产量

覆膜处理下两种作物的产量稍微高于常规处理,但均无显著性差异.辣椒的平均产量分别为 15.53 t·hm⁻² (常规) 和 16.67 t·hm⁻² (覆膜) ($P > 0.05$),萝卜的平均产量分别为 126.95 t·hm⁻² (常规) 和 134.87 t·hm⁻² (覆膜) ($P > 0.05$).

2.3 CH₄ 排放通量的季节排放特征

由图 4(a) 可以看出,垄 CH₄ 的排放通量在辣椒季为单峰型,在 6 ~ 8 月多雨天气时排放量明显升高,尤其是常规处理尤为明显,常规和覆膜在 7 月 17 日出现最大峰值,分别为 0.58 mg·(m²·h)⁻¹ 和 0.17 mg·(m²·h)⁻¹,平均排放通量为常规 0.11 mg·(m²·h)⁻¹ > 覆膜 0.03 mg·(m²·h)⁻¹ ($P < 0.05$),说明辣椒季覆膜降低了向大气的 CH₄ 排放.相比之下,萝卜季 CH₄ 通量的季节变化要相对平缓,呈现出更多的吸收通量,平均排放通量为常规 0.01 mg·(m²·h)⁻¹ > 覆膜 -0.02 mg·(m²·h)⁻¹ ($P < 0.05$),说明了在萝卜季,覆膜使菜地由 CH₄ 的弱排放源转变为弱吸收汇.

沟 CH₄ 的排放通量在常规和覆膜下表现出相同的变化趋势图 4(b),且整体上为萝卜季排放通量高于辣椒季.辣椒季常规和覆膜下平均排放通量分别为 0.058 mg·(m²·h)⁻¹ 和 0.057 mg·(m²·h)⁻¹,萝卜季分别为 0.083 mg·(m²·h)⁻¹ 和 0.092 mg·(m²·h)⁻¹,均没有显著差异性 ($P > 0.05$).对比垄和沟,垄既是 CH₄ 的源,也是 CH₄ 的汇,而沟中仅

表现为 CH₄ 的源,且沟 CH₄ 的排放通量波动范围较垄小,为 0.019 ~ 0.121 mg·(m²·h)⁻¹,表明沟的土壤环境比较稳定,且主要为缺氧环境,配对 t 检验下,除了辣椒季的常规处理,其它均为沟 CH₄ 的排放通量显著高于垄 ($P < 0.05$),表明沟 CH₄ 的排放量不容忽视.

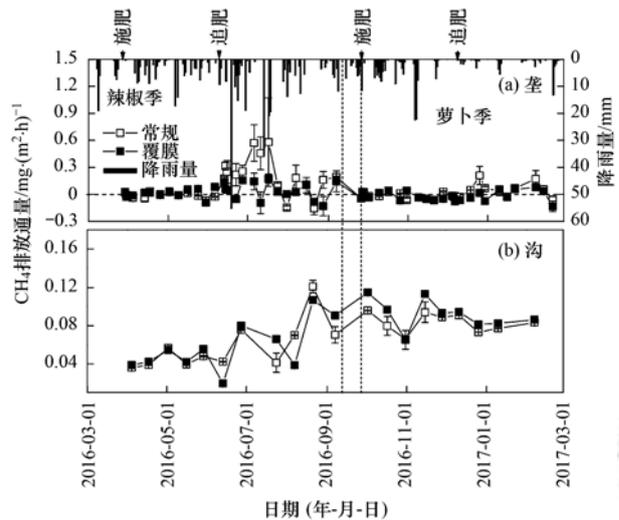


图 4 CH₄ 排放通量的季节变化
Fig. 4 Seasonal changes in CH₄ flux

2.4 N₂O 排放通量的季节排放特征

由图 5 可知,覆膜处理没有改变 N₂O 排放通量的变化趋势,整个观测期 N₂O 的排放通量表现为向大气排放,对于垄 N₂O 的排放通量图 5(a),在辣椒季和萝卜季均能明显看出存在约 3 个峰值,辣椒季分别出现在施肥、追肥和 8 月连续降雨后,萝卜季分别为施肥、追肥和 2 月连续降雨后,辣椒季常规和覆膜最大峰值分别为 254.83 μg·(m²·h)⁻¹ 和 325.23 μg·(m²·h)⁻¹,萝卜季常规和覆膜最大峰值分别为 269.49 μg·(m²·h)⁻¹ 和 180.40 μg·(m²·h)⁻¹,在辣椒季和萝卜季,覆膜对垄 N₂O 排放均无显著影响,辣椒季常规和覆膜处理下 N₂O 的平均排放通量为 58.53 μg·(m²·h)⁻¹ 和 66.65 μg·(m²·h)⁻¹ ($P > 0.05$);萝卜季分别为 79.02 μg·(m²·h)⁻¹ 和 66.20 μg·(m²·h)⁻¹ ($P > 0.05$).

对于沟 N₂O 的排放通量图 5(b),常规和覆膜处理下 N₂O 排放通量的季节变化趋势相同,整体上,覆膜处理下 N₂O 的排放通量高于常规处理.在辣椒季,覆膜对沟 N₂O 通量无明显影响,N₂O 的平均排放通量常规和覆膜分别为 20.64 μg·(m²·h)⁻¹ 和 21.51 μg·(m²·h)⁻¹ ($P > 0.05$);在萝卜季常规和覆膜平均排放通量分别为 35.79 μg·(m²·h)⁻¹ 和 40.00 μg·(m²·h)⁻¹ ($P > 0.05$).在施肥、追肥前沟 N₂O 的变化幅度较小,而在施肥、追肥后的 1 ~ 2 d

内常规和覆膜处理均出现明显的高峰,且均为覆膜高于常规,但沟中并不施肥,表明存在垄 N_2O 向沟扩散的现象,但常规和覆膜间沟 N_2O 的排放通量没有显著差异,表明覆膜下虽然会增加由垄向沟扩散的气体含量,但增加量较少, N_2O 主要还是通过膜渗透由垄排放. 对比垄和沟, N_2O 的排放通量在常规和覆膜处理下均为垄显著高于沟,表明 N_2O 主要由垄向大气排放.

2.5 CH_4 和 N_2O 的累积排放量

由表 1 可知,常规和覆膜处理下 CH_4 的加权平均值在辣椒季和全年下表现出显著差异性 ($P < 0.05$),这表明覆膜能显著减少全年 CH_4 的排放量. N_2O 的加权平均值在常规和覆膜下没有显著差异,表明覆膜处理对菜地中 N_2O 的排放总量没有显著影响 ($P > 0.05$).

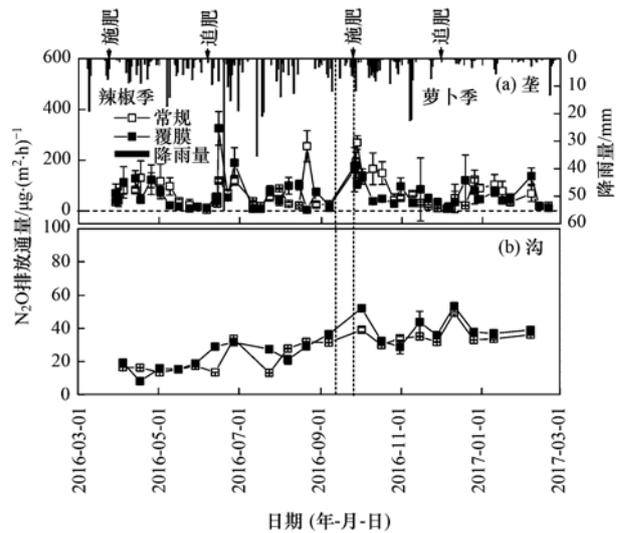


图 5 N_2O 排放通量的季节变化

Fig. 5 Seasonal changes in N_2O flux

表 1 常规和覆膜处理下 CH_4 和 N_2O 的累积排放量^[1]/ $kg \cdot hm^{-2}$

Table 1 Cumulative CH_4 and N_2O emissions under conventional and plastic mulching treatments/ $kg \cdot hm^{-2}$

时期	采样点	CH_4		N_2O	
		常规	覆膜	常规	覆膜
辣椒季	垄	4.29 ± 1.46Aa	1.12 ± 0.32Bb	2.44 ± 0.55Aa	2.56 ± 0.19Aa
	沟	2.39 ± 0.09Ba	2.40 ± 0.02Aa	0.85 ± 0.003Ba	0.86 ± 0.02Ba
	加权平均值	3.66 ± 0.94a	1.55 ± 0.21b	1.91 ± 0.357a	1.99 ± 0.12a
萝卜季	垄	0.79 ± 0.41Ba	-0.33 ± 0.10Bb	2.48 ± 0.23Aa	2.25 ± 0.43Aa
	沟	2.91 ± 0.04Aa	3.20 ± 0.04Aa	1.26 ± 0.002Ba	1.40 ± 0.004Ba
	加权平均值	1.50 ± 0.28a	0.89 ± 0.05a	2.07 ± 0.15a	1.97 ± 0.28a
全年	垄	5.31 ± 0.55Aa	0.94 ± 0.55Bb	5.24 ± 0.51Aa	5.16 ± 0.54Aa
	沟	5.56 ± 0.14Aa	5.93 ± 0.05Aa	2.22 ± 0.01Ba	2.28 ± 0.03Ba
	加权平均值	5.39 ± 0.71a	2.60 ± 0.36b	4.24 ± 0.34a	4.20 ± 0.36a

1) 表中不同小写字母表示常规和覆膜处理间差异显著 ($P < 0.05$), 不同大写字母表示同一作物生长季节垄和沟之间的差异显著 ($P < 0.05$)

2.6 环境因子与 CH_4 和 N_2O 排放通量的相关性

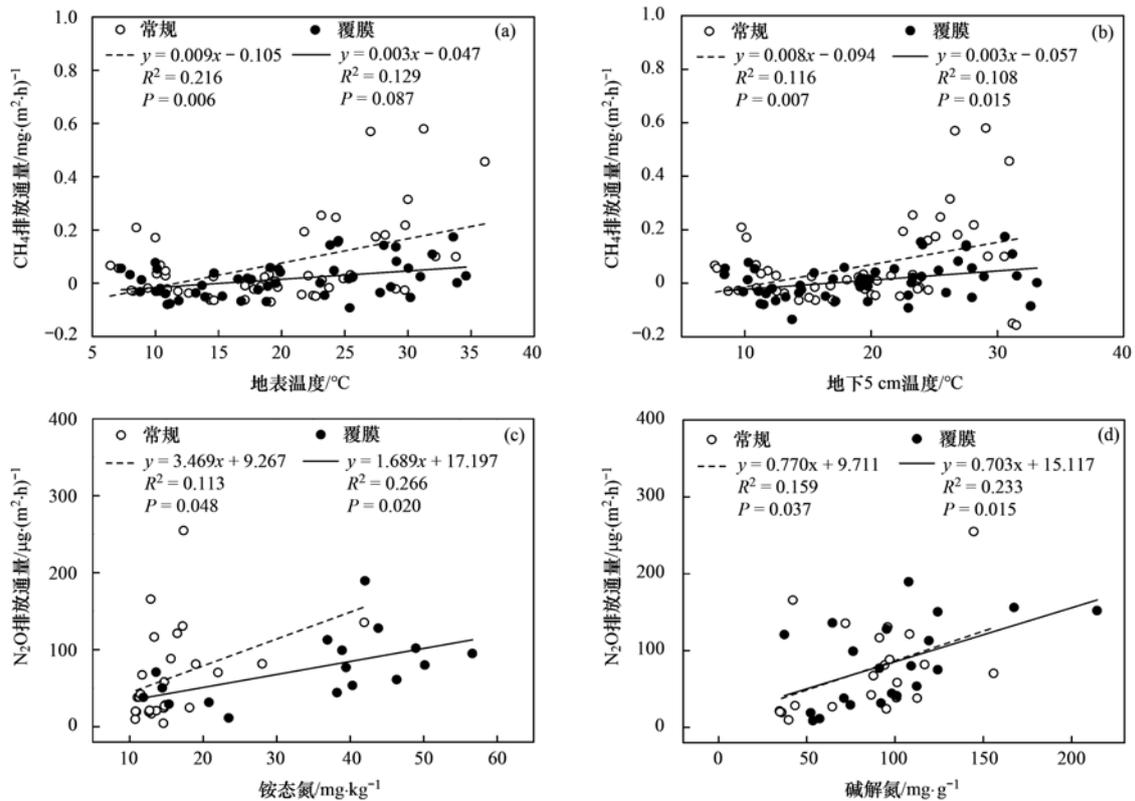
从图 6 可以看出,地表温度和地下 5 cm 温度在常规和覆膜处理下与 CH_4 的排放通量均呈现正相关. 常规下,地表温度和地下 5 cm 温度与 CH_4 的排放通量呈现极显著正相关 ($P < 0.01$),覆膜下,地表温度和地下 5 cm 温度与 CH_4 的排放通量呈现显著正相关 ($P < 0.05$),铵态氮、碱解氮与 N_2O 的排放通量在常规和覆膜下均呈现显著正相关 ($P < 0.05$).

3 讨论

3.1 地膜覆盖对 CH_4 排放的影响

当产甲烷菌产生的 CH_4 超过甲烷氧化菌消耗的 CH_4 时,即为 CH_4 的源,导致 CH_4 的排放,当 CH_4 的消耗超过它的生产时,即为 CH_4 的汇^[24]. 本研究发现,除萝卜季的覆膜处理下垄表现为 CH_4 的吸收汇,菜地主要为 CH_4 的排放源,即本研究菜地中产甲烷菌产生的 CH_4 超过产甲烷菌消耗的 CH_4 ,这与众多研究结果^[15~17]不同, CH_4 的排放或吸收受多种

因素影响,包括施肥、灌溉和耕作等人类活动和有机质、pH、土壤含水率和 NH_4^+ 等土壤性质^[25],其中土壤温度和含水率对 CH_4 的氧化影响很大,且土壤含水率的影响要远高于温度^[26],Crill 等^[27]的研究中也提出 CH_4 氧化与土壤水分密切相关,当土壤中含水率过高,水分会填充土壤的孔隙,阻碍 CH_4 和 O_2 在土壤中的扩散^[25],从而影响土壤中 CH_4 的氧化以及大气中 CH_4 向土壤的迁移,本研究中辣椒季平均含水率为 48.73%,萝卜季平均含水率为 54.00%,土壤水分含量较高,阻碍 O_2 在土壤中的扩散,造成土壤局部缺氧环境,这更利于产甲烷菌的活动^[28],同时 CH_4 的排放或吸收还受氮肥的影响,已有研究表明^[29], NH_4^+ 对 CH_4 氧化有很强的抑制作用,这是由于 NH_3 和 CH_4 在被甲烷单氧酶氧化上存在竞争关系,甲烷单氧酶对底物氧化的专一性极低,土壤中的 NH_4^+ 首先被甲烷单氧酶氧化,直到 NH_4^+ 被消耗殆尽, CH_4 氧化才得以开始,因此,在土壤水分和氮肥影响下,土壤中的产甲烷菌产生 CH_4 的速度超过甲

图6 环境因子与 CH₄ 和 N₂O 排放通量的相关性Fig. 6 Correlation between environmental factors and CH₄ and N₂O emission fluxes

烷氧化菌消耗 CH₄ 的速度,使得本研究中菜地主要表现为 CH₄ 的排放源。

在辣椒季,覆膜能显著增加土壤温度,但覆膜下 CH₄ 的排放量却显著低于常规,这是由于在复杂的农田生态系统中,CH₄ 的排放受到多种因素的影响,覆膜能直接阻隔部分 CH₄,增加 CH₄ 的氧化时间,CH₄ 氧化菌对温度的敏感度要低于产甲烷菌^[25],且覆膜能显著降低辣椒季 SOC(图 3),产甲烷菌得不到充足的反应底物,从而显著减少了辣椒季 CH₄ 的排放量。Nan 等^[15]在关于覆膜对玉米地中温室气体的影响研究中发现覆膜能显著降低 CH₄ 的排放,其试验时间在 5 月~9 月,这与本研究在辣椒季的发现一致。在萝卜季,垄的排放表现为常规处理下的弱源和覆膜处理下的弱汇(表 1),这表明萝卜季覆膜处理有利于垄 CH₄ 的吸收,即甲烷氧化菌氧化 CH₄ 的速度高于产甲烷菌产生 CH₄ 的速度,本研究中萝卜季 MBC 为覆膜(243.51 mg·kg⁻¹) > 常规(181.84 mg·kg⁻¹),意味着覆膜增加了土壤中的好氧微生物量,从而促进了甲烷的氧化^[30],且覆膜直接阻碍 CH₄ 的排放,延长 CH₄ 的氧化时间,这也促进了 CH₄ 的氧化,加之覆膜并没有完全阻隔大气,大气中的 CH₄ 还是可以扩散到土壤中^[17],这很可能是覆膜下垄成为弱汇的原因。

垄作覆膜下垄高于沟,沟中更有利于雨水的聚

集,使得沟在收集雨水方面起着关键作用^[31,32],因此沟中的土壤含水率往往高于垄,尤其在降雨之后,常常出现积水现象,这很可能是沟为 CH₄ 的排放源且全年排放量都较高的原因,这也能解释沟 CH₄ 的排放通量在连续降雨和高降雨量后出现的峰值。常规雨水可以直接渗入垄上,多余的径流进入邻近的沟中,但覆膜下雨水被塑料膜阻挡,流入沟中,因此覆膜较常规相比沟中聚集的雨水更多,这也能解释辣椒季和萝卜季覆膜下沟 CH₄ 含量都高于常规,萝卜季在 10 月有“华西秋雨”,且温度较低,土壤水分蒸发较少,因此土壤含水率较高,这有利于形成厌氧环境^[33],不利于 CH₄ 的氧化,所以萝卜季沟 CH₄ 的排放量高于辣椒季,且覆膜下沟的 CH₄ 排放量较高。

对比垄和沟,除了辣椒季常规下垄 CH₄ 的平均排放通量显著高于沟,其他均为沟显著高于垄,这是由于垄 CH₄ 的排放通量存在季节性特征,辣椒季较高,萝卜季较低,且本研究中覆膜处理下改变了垄的土壤环境,促进了 CH₄ 的氧化,与垄相比沟在全年的排放通量变化幅度更小,很可能是由于沟的土壤环境比较稳定, Berger 等^[8]的研究也发现沟的土壤温度和含水率变化幅度较小,本研究中由于西南地区降雨量较多,沟中常常处于缺氧环境,所以沟 CH₄ 的排放量在辣椒季和萝卜季均较高,因此,西南地区

进行起垄耕作时,注意及时进行沟内多余积水的排除更有利于 CH_4 的减排. 辣椒季常规下垄的排放通量较大,这与 6~8 月的高温和高雨量有很大关系(图 4),较多的降雨量造成土壤的缺氧环境,高温更有利于产甲烷菌的活动^[25],同时辣椒季常规下土壤 SOC 含量较高,为产甲烷菌反应提供了充足的 SOC(图 3),这是造成辣椒季常规下垄 CH_4 的平均排放通量显著高于沟的主要原因.

同时,覆膜处理不会导致部分垄 CH_4 向邻近沟扩散. 气体在土壤中的扩散系数主要取决于土壤的温度和空气孔隙率,并随绝对温度的平方和空气孔隙率的变化成比例变化^[34, 35],本研究中覆膜能够显著增加土壤温度,但常规和覆膜处理间辣椒季温差最大不超过 10°C ,且温度对气体扩散的影响较小,主要由空气孔隙率决定,而辣椒季覆膜对土壤含水率没有显著影响,同时覆膜阻隔了雨水渗透,较常规处理而言环境相对稳定^[19],因此空气孔隙率变化较小,所以覆膜对辣椒季垄 CH_4 的气体扩散影响不大,在 CH_4 的气体扩散不受影响的情况下,垄 CH_4 的排放量降低,但邻近沟 CH_4 的排放量没有显著变化,表明覆膜能够直接显著减少垄 CH_4 的排放量,且不会向沟扩散增加 CH_4 气体. 萝卜季覆膜下土壤含水率显著增加,不利于 CH_4 的扩散,且覆膜下垄主要为 CH_4 的汇, CH_4 的氧化能力更强,因此覆膜下沟 CH_4 的排放量显著增加的主要原因不是垄 CH_4 的扩散,沟的缺氧环境是主要原因.

3.2 地膜覆盖对 N_2O 排放的影响

覆膜处理对垄和沟 N_2O 的季节和全年累积排放量均没有显著影响. Nishimura 等^[19]的研究中发现,与不覆膜相比,覆膜能显著增加 N_2O 的排放,这是由于覆膜下存在较高的温度和含水率,这些均与本研究结果不同,本研究结果中在辣椒季和萝卜季覆膜对垄 N_2O 的累积排放量均没有显著影响,与 Liu 等^[36]的研究结果一致. N_2O 的排放通量会受到土壤水分和温度的影响^[37],本研究中 N_2O 的排放通量也随着降雨量的增高而增高(图 5),且在土壤温度较高的 6~9 月(图 1)出现较大的波动幅度(图 5),同时,还受到氮肥的影响,在施肥和追肥后均出现明显的峰值(图 5),但本研究中温度和水分与 N_2O 的排放通量没有显著相关性,这与 Berger 等^[8]的研究结果相同,这是由于 N_2O 的排放还与氮素含量有关,无机氮素形态对 N_2O 的排放影响较大,土壤微生物将 NH_4^+ 氧化为 NO_3^- 的硝化过程中、将 NO_3^- 和 NO_2^- 转化成低价氮的氧化物的反硝化过程中,都会有 N_2O 的产生^[10],本研究结果中覆膜对全

氮、碱解氮的含量没有显著影响,辣椒季虽然能显著增加铵态氮含量,但同时又能显著降低硝态氮的含量(图 3),因此辣椒季常规和覆膜下 N_2O 的排放量无显著差异.

Nishimura 等^[19]的研究表明,覆膜下垄 N_2O 的排放量远高于沟,这与本研究结果相同,覆膜与常规处理下均为垄的平均排放通量显著高于沟, N_2O 主要由垄向大气排放(图 5),Ou 等^[38]的研究发现,将熏蒸剂甲基溴注入到 PE 膜覆盖的土壤中,可以通过膜的大量渗透释放到大气中,这也表明塑料膜只能阻隔小部分气体,大部分气体还是可以直接渗透出去. 有研究表明^[19, 20],垄作覆膜能显著增加邻近沟中的 N_2O 的排放量,这是由于覆膜增加了垄向沟扩散的 N_2O 气体,这与本研究结果不同,本研究结果中存在垄 N_2O 气体向沟扩散,但含量较低,且覆膜不会增加垄向沟扩散的气体,这与 Berger 等^[8]的研究结果一致,覆膜下沟 N_2O 的排放通量较低, N_2O 主要通过膜渗透由垄上排放,覆膜对沟 N_2O 的排放通量没有显著影响,这与土壤含水率有很大关系,覆膜下土壤水分显著增加,土壤中的空气孔隙率降低,导致气体扩散受到阻碍^[30, 31],从而使得覆膜下沟 N_2O 的排放通量与常规没有明显差异.

4 结论

(1) 覆膜的全年保温效果好,萝卜季保水效果更好,极显著增加土壤 pH,对土壤氮素有一定的维持作用.

(2) 覆膜能够显著降低菜地辣椒季垄 CH_4 的排放量,在萝卜季使垄由常规下的 CH_4 源转变为汇,同时,垄和沟间除了辣椒季的常规下,其它均为沟 CH_4 的排放量显著高于垄. 覆膜下不会导致 CH_4 由垄向邻近沟扩散. CH_4 的排放通量与土壤温度呈显著正相关.

(3) 覆膜对垄和沟中 N_2O 的排放均没有显著影响,但垄和沟间 N_2O 的排放有显著差异,表现为垄高于沟. 在常规和覆膜下均存在垄 N_2O 向邻近沟扩散的现象,覆膜会增加扩散气体,但并不显著,覆膜下膜渗透向大气排放的 N_2O 气体含量占主要部分. N_2O 的排放通量与碱解氮、铵态氮呈显著正相关.

参考文献:

- [1] IPCC. Changes in atmospheric constituents and in radiative forcing [A]. In: Solomon S, Qin D, Manning M, et al (Eds.). Climate Change 2007: the Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [M]. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2007.
- [2] IPCC. Anthropogenic and natural radiative forcing [A]. In:

- Stocker T F, Qin D, Plattner G K M, *et al* (eds.). 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 and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2013.
- [3] Farias-Larios J, Orozco-Santos M. Effect of polyethylene mulch colour on aphid populations, soil temperature, fruit quality, and yield of watermelon under tropical conditions [J]. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 1997, **25** (4): 369-374.
- [4] Walters S A. Suppression of watermelon mosaic virus in summer squash with plastic mulches and rowcovers [J]. *HortTechnology*, 2003, **13** (2): 352-357.
- [5] Ghosh P K, Dayal D, Bandyopadhyay K K, *et al*. Evaluation of straw and polythene mulch for enhancing productivity of irrigated summer groundnut [J]. *Field Crops Research*, 2006, **99** (2-3): 76-86.
- [6] Diaz-Pérez J C, Gitaitis R, Mandal B. Effects of plastic mulches on root zone temperature and on the manifestation of tomato spotted wilt symptoms and yield of tomato [J]. *Scientia Horticulturae*, 2007, **114** (2): 90-95.
- [7] Decoteau D R. Leaf area distribution of tomato plants as influenced by polyethylene mulch surface color [J]. *HortTechnology*, 2007, **17** (3): 341-345.
- [8] Berger S, Kim Y, Kettering J, *et al*. Plastic mulching in agriculture—Friend or foe of N₂O emissions? [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2013, **167**: 43-51.
- [9] Cuello 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.
- [10] 冯迪, 郝庆菊, 张凯莉, 等. 地膜覆盖对菜地生态系统 N₂O 排放的影响 [J]. *环境科学*, 2017, **38** (10): 4380-4389.
- Feng D, Hao Q J, Zhang K L, *et al*. Effects of plastic film mulching on nitrous oxide emissions from a vegetable field [J]. *Environmental Science*, 2017, **38** (10): 4380-4389.
- [11] Yu Y X, Jia H T, Zhao C Y. Evaluation of the effects of plastic mulching and nitrapyrin on nitrous oxide emissions and economic parameters in an arid agricultural field [J]. *Geoderma*, 2018, **324**: 98-108.
- [12] Li Z, Zhang R, Wang X, *et al*. Effects of plastic film mulching with drip irrigation on N₂O and CH₄ emissions from cotton fields in arid land [J]. *The Journal of Agricultural Science*, 2014, **152** (4): 534-542.
- [13] 韩建刚, 白红英, 曲东. 地膜覆盖对土壤中 N₂O 排放通量的影响 [J]. *中国环境科学*, 2002, **22** (3): 286-288.
- Han J G, Bai H Y, Qu D. Effects of clear plastic film mulch on the change of soil N₂O discharge flux [J]. *China Environmental Science*, 2002, **22** (3): 286-288.
- [14] 朱咏莉, 吴金水, 韩建刚. 地膜覆盖对土壤中 N₂O 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 N₂O discharge flux [J]. *Transactions of the CSAE*, 2004, **20** (3): 222-225.
- [15] Nan W G, Yue S C, Huang H Z, *et al*. Effects of plastic film mulching on soil greenhouse gases (CO₂, CH₄ and N₂O) concentration within soil profiles in maize fields on the Loess Plateau, China [J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2016, **15** (2): 451-464.
- [16] 张凯莉, 郝庆菊, 冯迪, 等. 地膜覆盖对蔬菜地甲烷排放的影响 [J]. *环境科学*, 2017, **38** (8): 3451-3462.
- Zhang K L, Hao Q J, Feng D, *et al*. Effect of plastic film mulching on methane emission from a vegetable field [J]. *Environmental Science*, 2017, **38** (8): 3451-3462.
- [17] 倪雪, 江长胜, 陈世杰, 等. 地膜覆盖和施氮对菜地 CH₄ 排放的影响 [J]. *环境科学*, 2019, **40** (5): 2404-2412.
- Ni X, Jiang C S, Chen S J, *et al*. Effects of plastic film mulching and nitrogen fertilizer application on CH₄ emissions from a vegetable field [J]. *Environmental Science*, 2019, **40** (5): 2404-2412.
- [18] 倪雪, 郝庆菊, 陈世杰, 等. 地膜覆盖和施氮对菜地 N₂O 排放的影响 [J]. *环境科学*, 2019, **40** (2): 893-903.
- Ni X, Hao Q J, Chen S J, *et al*. Effects of plastic film mulching and nitrogen fertilizer application on N₂O emissions from a vegetable field [J]. *Environmental Science*, 2019, **40** (2): 893-903.
- [19] Nishimura S, Komada M, Takebe M, *et al*. Nitrous oxide evolved from soil covered with plastic mulch film in horticultural field [J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2012, **48** (7): 787-795.
- [20] Nishimura S, Komada M, Takebe M, *et al*. Contribution of nitrous oxide emission from soil covered with plastic mulch film in vegetable field [J]. *Journal of Agricultural Meteorology*, 2014, **70** (2): 117-125.
- [21] Wang Y S, Wang Y H. Quick measurement of CH₄, CO₂ and N₂O emissions from a short-plant ecosystem [J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2003, **20** (5): 842-844.
- [22] 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.
- [23] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法 [M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
- [24] Le Mer J, Roger P. Production, oxidation, emission and consumption of methane by soils: a review [J]. *European Journal of Soil Biology*, 2001, **37** (1): 25-50.
- [25] 丁维新, 蔡祖聪. 温度对土壤氧化大气 CH₄ 的影响 [J]. *生态学杂志*, 2003, **22** (3): 54-58.
- Ding W X, Cai Z C. Effect of temperature on atmospheric CH₄ oxidation in soils [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2003, **22** (3): 54-58.
- [26] Klemetsson Å K, Klemetsson L. Methane uptake in Swedish forest soil in relation to liming and extra N-deposition [J]. *Biology and Fertility of Soils*, 1997, **25** (3): 296-301.
- [27] Crill P M, Martikainen P J, Nykänen H, *et al*. Temperature and N fertilization effects on methane oxidation in a drained peatland soil [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1994, **26** (10): 1331-1339.
- [28] Smith K A, Ball T, Conen F, *et al*. Exchange of greenhouse gases between soil and atmosphere: interactions of soil physical factors and biological processes [J]. *European Journal of Soil Science*, 2003, **54** (4): 779-791.
- [29] Hu R G, Hatano R, Kusa K, *et al*. Effect of nitrogen fertilization on methane flux in a structured clay soil cultivated with onion in Central Hokkaido, Japan [J]. *Soil Science and Plant Nutrition*, 2002, **48** (6): 797-804.
- [30] Inubushi K, Cheng W, Mizuno T, *et al*. Microbial biomass carbon and methane oxidation influenced by rice cultivars and elevated CO₂ in a Japanese paddy soil [J]. *European Journal of Soil Science*, 2011, **62** (1): 69-73.
- [31] 刘震, 王秀领, 徐玉鹏, 等. 环渤海低平原区青贮玉米垄作覆膜种植模式研究初报 [J]. *作物研究*, 2020, **34** (2): 137-

140.
Liu Z, Wang X L, Xu Y P, *et al.* Preliminary study on ridge planting pattern with film mulching of silage maize in the low plain area around the Bohai Sea[J]. *Crop Research*, 2020, **34**(2): 137-140.
- [32] 靳乐乐, 乔匀周, 董宝娣, 等. 起垄覆膜栽培技术的增产增效作用与发展[J]. *中国生态农业学报*, 2019, **27**(9): 1364-1374.
Jin L L, Qiao Y Z, Dong B D, *et al.* Crop yield increasing and efficiency improving effects and development of technology of ridge-furrow cultivation with plastic film mulching[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2019, **27**(9): 1364-1374.
- [33] Takahashi S, Uenosono S, Ono S. Short- and long-term effects of rice straw application on nitrogen uptake by crops and nitrogen mineralization under flooded and upland conditions[J]. *Plant and Soil*, 2003, **251**(2): 291-301.
- [34] Millington R J, Quirk J P. Permeability of porous solids[J]. *Transactions of the Faraday Society*, 1961, **57**: 1200-1207.
- [35] Suwa M, Katul G G, Oren R, *et al.* Impact of elevated atmospheric CO₂ on forest floor respiration in a temperate pine forest[J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 2004, **18**(2), doi: 10.1029/2003GB002182.
- [36] Liu J L, Zhu L, Luo S S, *et al.* Response of nitrous oxide emission to soil mulching and nitrogen fertilization in semi-arid farmland[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2014, **188**: 20-28.
- [37] Ruser R, Flessa H, Russow R, *et al.* Emission of N₂O, N₂ and CO₂ from soil fertilized with nitrate; effect of compaction, soil moisture and rewetting [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2006, **38**(2): 263-274.
- [38] Ou L T, Thomas J E, Allen L H Jr, *et al.* Emissions and distribution of methyl bromide in field beds applied at two rates and covered with two types of plastic mulches[J]. *Journal of Environmental Science and Health, Part B: Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes*, 2007, **42**(1): 15-20.



CONTENTS

Industrial Emission Characteristics and Control Countermeasures of VOCs in Chinese Rapid Economic Development Areas	MENG Bo-wen, LI Yong-bo, MENG Jing, <i>et al.</i>	(1023)
VOCs Emission Inventory and Variation Characteristics of Artificial Sources in Hubei Province in the Yangtze River Economic Belt	DAI Ling-wen, MENG Jing, LI Qian-qian, <i>et al.</i>	(1039)
Sources and Distribution Characteristics of HCBd in Rapid Economic Development Areas	TAO Yu-ming, MENG Jing, LI Qian-qian, <i>et al.</i>	(1053)
Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Surface Soil of China (2000-2020): Temporal and Spatial Distribution, Influencing Factors	MA Yan, CHENG Lu, RUAN Zi-yuan, <i>et al.</i>	(1065)
Relationships Between Microplastic and Surrounding Soil in an E-Waste Zone of China	CHAI Bing-wen, YIN Hua, WEI Qiang, <i>et al.</i>	(1073)
Analysis of the Spatial Distribution of Heavy Metals in Soil from a Coking Plant and Its Driving Factors	GU Gao-quan, WAN Xiao-ming, ZENG Wei-bin, <i>et al.</i>	(1081)
Source Apportionment and Spatial Distribution Simulation of Heavy Metals in a Typical Petrochemical Industrial City	SUN Xue-fei, ZHANG Li-xia, DONG Yu-long, <i>et al.</i>	(1093)
Heavy Metal Contents of Soil and Surface Dust and Its Ecological Risk Analysis in a Multifunctional Industrial Park	ZENG Wei-bin, GU Gao-quan, WAN Xiao-ming, <i>et al.</i>	(1105)
Geochemical Patterns and Source Analysis of Soil Heavy Metals in an Iron and Manganese Ore Area of Longyan City	WANG Rui, CHEN Nan, ZHANG Er-xi, <i>et al.</i>	(1114)
Application Case of Accurate Site Investigation with Life-Cycle Conceptual Site Model Development	LI Pei-zhong, WU Nai-jin, WANG Hai-jian, <i>et al.</i>	(1123)
Levels and Risk Assessment of Short and Medium-Chain Chlorinated Paraffins in Soil from Paper Mill Area	ZHANG Pei-xuan, GAO Li-rong, SONG Shi-jie, <i>et al.</i>	(1131)
Characterization and Health Risks of PCDD/Fs, PCBs, and PCNs in the Soil Around a Typical Secondary Copper Smelter	HU Ji-cheng, WU Jing, XU Chen-yang, <i>et al.</i>	(1141)
Effect of Citric Acid and Phosphorus Coexistence on Cadmium Adsorption by Soil	SONG Zi-teng, ZUO Ji-chao, HU Hong-qing, <i>et al.</i>	(1152)
Uptake and Accumulation of Cadmium and Zinc by Two Energy Grasses; A Field Experiment	ZHENG Rui-lun, SHI Dong, LIU Wen-ju, <i>et al.</i>	(1158)
Bioaccumulation and Translocation Characteristics of Heavy Metals in a Soil-Maize System in Reclaimed Land and Surrounding Areas of Typical Vanadium-Titanium Magnetite Tailings	SUN Hou-yun, WEI Xiao-feng, SUN Xiao-ming, <i>et al.</i>	(1166)
Cd Accumulation Characteristics in Different Populations of <i>Hylotelephium spectabile</i> Under Salt Stress	GUO Jun-mei, YANG Jun-xing, YANG Jun, <i>et al.</i>	(1177)
Effect of Water Regimes on Pb and Cd Immobilization by Biochar in Contaminated Paddy Soil	TANG Jia-qing, ZHANG Xu, HUANG Guo-yong, <i>et al.</i>	(1185)
Effects of Chitosan-modified Biochar on Formation of Methylmercury in Paddy Soils and Its Accumulation in Rice	YANG Xue-ling, WANG Ming-xing, XU Guo-min, <i>et al.</i>	(1191)
Effects of Chromium Pollution on Soil Bacterial Community Structure and Assembly Processes	YU Hao, AN Yi-jun, JIN De-cai, <i>et al.</i>	(1197)
Analysis of Changes and Factors Influencing Air Pollutants in the Beijing-Tianjin-Hebei Region During the COVID-19 Pandemic	ZHAO Xue, SHEN Nan-chi, LI Ling-jun, <i>et al.</i>	(1205)
Impact of Pollutant Emission Reduction on Air Quality During the COVID-19 Pandemic Control in Early 2020 Based on RAMS-CMAQ	LIU Hou-feng, XU Wei, WEI Min, <i>et al.</i>	(1215)
Light-absorbing Properties and Sources of PM _{2.5} Organic Components at a Suburban Site in Northern Nanjing	SHANG Yue, YU Huan, MAO Yu-hao, <i>et al.</i>	(1228)
Pollution Characteristics and Chromophore Types of Brown Carbon in Xi'an	CHEN Qian, CHEN Qing-cai, <i>et al.</i>	(1236)
Source and Health Risk Assessment of PM _{2.5} -Bound Metallic Elements in Road Dust in Zibo City	GUO Qing-yuan, BAI Wen-yu, ZHAO Xue-yun, <i>et al.</i>	(1245)
Health Benefit Assessment of PM _{2.5} Pollution Control in Beijing	DU Pei, WANG Jian-zhou, <i>et al.</i>	(1255)
Seasonal Characteristics of Air Pollutant Sources and Transport Pathways in Xining City	LIU Na, YU Ye, MA Xue-qian, <i>et al.</i>	(1268)
Concentrations and Patterns of Atmospheric Particulate Nitrogen and Phosphorus During Different Weather Conditions in Qingdao Coastal Region	YUAN Gang, QI Jian-hua, DING Xue, <i>et al.</i>	(1280)
Characterization of Volatile Organic Compounds (VOCs) Using Mobile Monitoring Around the Industrial Parks in the Yangtze River Delta Region of China	WANG Hong-li, GAO Ya-qin, JING Sheng-ao, <i>et al.</i>	(1298)
Characteristics and Cause Analysis of Heavy Air Pollution in a Mountainous City During Winter	LIU Zhuo-cheng, NIU Yue-yuan, WU Jing, <i>et al.</i>	(1306)
Gridded Emission Inventories of Major Criteria Air Pollutants and Source Contributions in Lan-Bai Metropolitan Area, Northwest China	WANG Wen-peng, WANG Zhan-xiang, LI Ji-xiang, <i>et al.</i>	(1315)
VOCs Removal and Emission Monitoring of Beijing Bulk Gasoline Terminals in 2012-2019	HUA Lan-ying, CUI Tong, LI Jin-xiang, <i>et al.</i>	(1328)
Emission Inventory of Air pollutants for the Harmless Treatment of Municipal Solid Waste	MA Zhan-yun, JIANG Yu-cong, REN Jia-xue, <i>et al.</i>	(1333)
Response of Bacteriophage-polysylls to Hypoxic Conditions in the Surface Sediments of the Yangtze Estuary and Its Adjacent Areas	YIN Mei-ling, DUAN Li-qin, SONG Jin-ming, <i>et al.</i>	(1343)
Human Health Risk Assessment of Phenol in Poyang Lake Basin	XU Qian-yun, AI Shun-hao, GAO Xiang-yun, <i>et al.</i>	(1354)
Spatial-Temporal Variation of Water Environment Quality and Pollution Source Analysis in Hengshui Lake	LIU Wei-wei, GUO Zi-liang, WANG Da-an, <i>et al.</i>	(1361)
Composition and Distribution Characteristics of Microplastics in Danjiangkou Reservoir and Its Tributaries	PAN Xiong, LIN Li, ZHANG Sheng, <i>et al.</i>	(1372)
Temporal and Spatial Evolution of Storm Runoff and Water Quality Assessment in Jinpen Reservoir	HUANG Cheng, HUANG Ting-lin, LI Yang, <i>et al.</i>	(1380)
Influence of Storm Runoff on the Spectral Characteristics of Dissolved Organic Matter (DOM) in a Drinking Water Reservoir During the Flood Season	LI Cheng-yao, HUANG Ting-lin, WEN Cheng-cheng, <i>et al.</i>	(1391)
Distribution Characteristics of Carbon, Nitrogen, and Phosphorus Bearing Pollutants in the Ancient Town Rivers of Suzhou	BAI Dong-rui, ZHANG Tao, CHEN Tan, <i>et al.</i>	(1403)
Chemical Characteristics and Causes of Groups Water in Niangziguan Spring	TANG Chun-lei, ZHAO Chun-hong, SHEN Hao-yong, <i>et al.</i>	(1416)
Adsorption Behavior of Phosphate by CaO ₂ Remolded Sediment	XU Chu-tian, LI Da-peng, WANG Zi-liang, <i>et al.</i>	(1424)
Nitrogen and Phosphorus Removal in Surface Flow Constructed Wetland Planted with <i>Myriophyllum elatinooides</i> Treating Swine Wastewater in Subtropical Central China	WANG Li-sha, LI Xi, LI Yu-yuan, <i>et al.</i>	(1433)
Accelerated Degradation of Aqueous Recalcitrant Iodinated Contrasting Media Using a UV/SO ₃ ²⁻ Advanced Reduction Process	LIU Zi-qi, QIU Fu-guo, LAI Man-ting, <i>et al.</i>	(1443)
Degradation of Dye Rhodamine B by Solar Thermally Activated Persulfate	MA Meng, XU Lu, JIN Xin, <i>et al.</i>	(1451)
One-step Preparation of Lanthanum-Magnesium Ferrite and Its Phosphate Adsorption Capacity in Aqueous Solutions	BAI Run-ying, SONG Bo-wen, ZHANG Yu, <i>et al.</i>	(1461)
Pollutant Removal Efficiency of Different Units Along a Mature Landfill Leachate Treatment Process in a Membrane Biological Reactor-Nanofiltration Combined Facility	SHAO Li-ming, DENG Ying-tao, QIU Jun-jie, <i>et al.</i>	(1469)
Biological Conversion Mechanism of Sulfate Reduction Ammonium Oxidation in ANAMMOX Consortia	BI Zhen, DONG Shi-yu, HUANG Yong, <i>et al.</i>	(1477)
Microbial Community Structure of Waste Water Treatment Plants in Different Seasons	HE Yun, LI Kui-xiao, WANG Jia-wei, <i>et al.</i>	(1488)
Organ-Specific Accumulation and Toxicokinetics of Ephedrine in Adult Zebrafish (<i>Danio rerio</i>)	YIN Xing-xing, GUO Chang-sheng, DENG Yang-hui, <i>et al.</i>	(1496)
Characteristics and Evaluation of Soil Rare Earth Element Pollution in the Bayan Obo Mining Region of Inner Mongolia	WANG Zhe, ZHAO Ying-chen, LUO Yi-fei, <i>et al.</i>	(1503)
Factors Affecting the Translocation and Accumulation of Cadmium in a Soil-Crop System in a Typical Karst Area of Guangxi Province, China	MA Hong-hong, PENG Min, GUO Fei, <i>et al.</i>	(1514)
Effects of Superparamagnetic Nanomaterials on Soil Microorganisms and Enzymes in Cadmium-Contaminated Paddy Fields	FANG Dan-dan, ZHANG Li-zhi, WANG Qiang, <i>et al.</i>	(1523)
Effects of Water Management and Silicon Application on Iron Plaque Formation and Uptake of Arsenic and Cadmium by Rice	CHEN Jia, ZHAO Xiu-lan, <i>et al.</i>	(1535)
Biological Effect of Tetracycline Antibiotics on a Soil-Lettuce System and Its Migration Degradation Characteristics	WANG Wei-zhong, CHI Sun-lin, XU Wei-hong, <i>et al.</i>	(1545)
Effect of Plastic Film Mulching on Methane and Nitrous Oxide Emissions from the Ridges and Furrows of a Vegetable Field	XIONG Wei-xia, JIANG Chang-sheng, ZHAO Zhong-jing, <i>et al.</i>	(1559)
Effects of Biochar and Straw on Soil N ₂ O Emission from a Wheat Maize Rotation System	TANG Zhan-ming, LIU Xing-ren, ZHANG Qing-wen, <i>et al.</i>	(1569)
Overview on Habitat Monitoring Methods Under Watershed Ecological Space Management	YIN Kun, LIU Hai-jiang, WANG Guang, <i>et al.</i>	(1581)