

方知库
Eco-Environmental
Knowledge Web

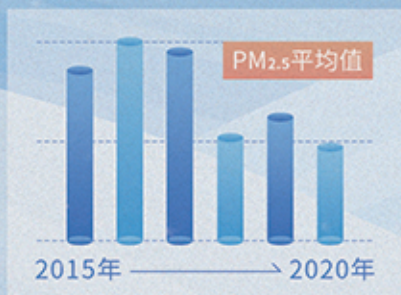
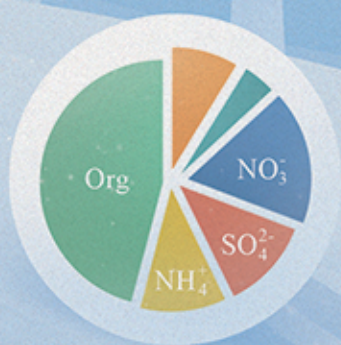
环境科学

ENVIRONMENTAL SCIENCE

ISSN 0250-3301 CODEN HCKHDV
HUANJING KEXUE

北京冬季奥运会历史同期大气PM_{2.5}污染特征分析

刘玥晨, 满睿琪, 裴彦挺, 杨佳炜, 王均睿, 谭瑞, 汤丽姿, 俞颖, 宋锴, 郭松, 陈仕意,
曾立民, 吴志军, 胡敏



■ 主办 中国科学院生态环境研究中心

■ 出版 科学出版社



2022年8月

第43卷 第8期
Vol.43 No.8

目次

北京冬季奥运会历史同期大气 PM _{2.5} 污染特征分析·····	刘玥晨, 满睿琪, 袁彦挺, 杨佳炜, 王均睿, 谭瑞, 汤丽姿, 俞颖, 宋锴, 郭松, 陈仕意, 曾立民, 吴志军, 胡敏 (3895)
天津城区 2019 年 2~3 月气溶胶粒径分布特征观测分析·····	郝团, 蔡子颖, 刘敬乐, 王晓佳, 姚青 (3903)
长江中游地区 PM _{2.5} 重污染过程的典型天气环流分型及区域传输影响·····	王莹, 智协飞, 白永清, 董甫, 张玲 (3913)
滇中典型工矿城市大气干湿沉降重金属等元素特征及健康风险评价·····	范晨子, 刘永兵, 袁继海, 郭威, 孙冬阳, 刘成海 (3923)
典型工业城市夏季 VOCs 污染特征及反应活性·····	秦涛, 李丽明, 王信梧, 杨文, 王晓丽, 徐勃, 耿春梅 (3934)
大连市夏季 VOCs 化学反应活性及来源·····	朱轲欣, 刘立忠, 刘焕武, 罗静期, 高冉冉 (3944)
河南省 18 个城市大气污染物分布特征、区域来源和传输路径·····	刘光瑾, 苏方成, 徐起翔, 张瑞芹, 王克 (3953)
京津冀臭氧污染特征、气象影响及基于神经网络的预报效果评估·····	朱媛媛, 刘冰, 桂海林, 李健军, 汪巍 (3966)
2006~2020 年中国大气本底站 BC 气溶胶的时空分布特征·····	王红磊, 颜雪, 沈利娟, 柳竞先, 赵天良, 管小彬, 赵德龙 (3977)
钢铁生产行业二噁英污染特征变化及其排放因子·····	杨艳艳, 谢丹平, 付建平, 陈晓燕, 尹文华, 韩静磊, 张素坤, 张璐, 肖滔 (3990)
长江流域着生藻类群落结构的格局及其生态评价·····	胡愈忻, 曹亮, 屈仁超, 黄杰, 胡圣, 周正, 王英才, 张静 (3998)
基于蒙特卡洛模拟与 PMF 模型的黄河流域沉积物重金属污染评价及源解析·····	庞阔, 李敏, 刘璐, 杨璐, 赵洪军 (4008)
梯级拦河堰对典型山地城市河流重金属元素的滞留效应: 以重庆市梁滩河为例·····	王超, 贾伯阳, 潘成勇, 何文战, 叶秋, 罗杉山, 张夏武 (4018)
基于土壤流失的农业面源 TN 和 TP 排海系数估算·····	王有霄, 黄翀, 刘高焕, 赵忠贺, 李贺, 刘庆生 (4032)
河湟谷地不同时空尺度下土地利用及空间格局对水质的影响·····	李好好, 黄懿梅, 郭威, 侯宏洋, 范梦苑, 齐照平, 贾鹏辉, 郭庆波 (4042)
联合 PMF 模型与稳定同位素的地下水污染溯源·····	张涵, 杜昕宇, 高菲, 曾卓, 程思茜, 许懿 (4054)
江西锦江流域抗生素污染特征与生态风险评价·····	李佳乐, 王萌, 胡发旺, 董一慧, 孙占学, 王瑶, 卫承芳, 燕雯 (4064)
天津市地表水中新型优先污染物筛选与管控对策·····	吴颜岐, 宋帅, 史雅娟, 刘莹, 杨胜杰 (4074)
宁夏第三排水沟中药物和个人护理品 (PPCPs) 的污染特征与生态风险评估·····	李富娟, 高礼, 李凌云, 郑兰香, 马兰, 杨桂钦 (4087)
再生水河道浮游生物多样性季节变化分析: 以北运河为例·····	袁训超, 王敏, 郭道宇, 吴东丽 (4097)
太湖草、藻湖区沉积物 WSOM 组成和分子结构分析·····	杜瑛珣, 戴家如, 张巧颖, 刘静静, 黄秀琳, 安世林, 文帅龙 (4108)
太湖氧化亚氮 (N ₂ O) 排放特征及潜在驱动因素·····	刘朝荣, 朱俊羽, 李宇阳, 俞晓琴, 陈慧敏, 杨艳, 周永强 (4118)
海绵城市生物滞留带重金属污染特征及风险评价·····	雷晓玲, 邱丽娜, 魏泽军, 杨程, 何博 (4127)
玉米芯和稻草秸秆强化潜流人工湿地对低 C/N 污水的处理效果·····	胡曼利, 郝庆菊, 马容真, 陈柯沁, 罗师旭, 江长胜 (4136)
环境 pH 条件下 Fe ²⁺ 活化过二硫酸盐降解有机污染物的效能与影响因素·····	刘颖, 郭依玮, 乔俊莲, 孙远奎 (4146)
新疆沙雅县不同植物类型农田环境中典型农药残留及其风险评价·····	谢宣宣, 艾力江·努尔拉, 买合木提·巴拉提, 仲乃福, 李南鑫 (4154)
宁夏养鸡场粪污和周边土壤中抗生素及抗生素抗性基因分布特征·····	沈聪, 张俊华, 刘吉利, 韩新宁, 尚天浩, 代金霞 (4166)
宁夏石嘴山市农用地土壤硒的富集因素·····	王莹, 刘海燕, 王泽晶, 张晓东, 王登红 (4179)
地块尺度重金属污染风险耕地安全利用区划方法·····	王锐, 余京, 李瑜, 周蛟, 贾中民, 余飞, 张云逸, 蒋玉莲 (4190)
姜湖贡米产地土壤重金属空间分布、源解析及生态风险评价·····	于林松, 万方, 范海印, 康桂玲, 刘辉, 王东平, 徐佳 (4199)
基于特定源风险评估模型的小麦籽粒铅超标风险预测·····	杨阳, 李艳玲, 牛硕, 陈卫平, 王天齐, 王美娥 (4212)
柳州地源性镉异常区稻米重金属累积效应与健康风险·····	朱亮亮, 王佛鹏, 唐乐斌, 肖乃川, 董心月, 韦美溜, 宋波 (4219)
不同玉米品种 Cd、Pb、Zn 和 As 积累与转运特性·····	任超, 肖建辉, 李竞天, 杜倩倩, 朱利文, 王浩, 朱瑞颖, 赵海洋 (4232)
橡胶草 (TKS) 对铅镉污染农田土壤的修复潜力·····	张恒, 熊明彪, 王乾鑫, 孙博文, 饶逸驰, 程章, 徐小逊, 杨占彪, 鲜骏仁, 朱雪梅, 杨绍平, 杨远祥 (4253)
3 种地被竹对重金属复合污染农田土壤的修复潜力·····	张颖, 赵欣, 张圣虎, 漆丹, 王博, 陈引, 陆建刚 (4262)
连续施肥对双季稻镉硅累积效应的影响·····	彭华, 邓凯, 石宇, 魏维, 柳赛花, 纪雄辉 (4271)
改性壳聚糖负载氧化硅调控水稻对砷吸收与转运的影响·····	杨嘉仪, 孙梦强, 肖羽堂, 韦行, 张建强, 陈志良 (4282)
不同螯合剂和有机酸对苍耳修复镉复合污染土壤的影响·····	张雅睿, 黄益宗, 保琼莉, 魏祥东, 铁柏清, 张盛楠, 韩甘, 黄永春 (4292)
水分管理对稻田土壤铁氧化物形态转化的影响及其与酶活性变化的耦合关系·····	李明远, 张小婷, 刘汉斌, 魏世强 (4301)
外源 Fe 调控根系微生物群落结构和功能对水稻 Cd 积累的影响·····	郑沈, 黄道友, 李波, 马天池, 许超, 朱奇宏, 朱捍华, 张泉 (4313)
不同降水下覆盖与缓释肥减量对油菜土壤微生物群落结构的影响·····	冯军, 石超, Hafiz Athar Hussain, 刘永波, 刘天朋, 李永洪, 刘俊峰, 王龙昌 (4322)
基于高通量测序和代谢组学解析重金属污染对农田微生物群落组成和功能的影响·····	庞发虎, 李晓琦, 段莉阳, 陈彦, 姬明飞, 张浩, 韩辉, 陈兆进 (4333)
汞矿区周边农田土壤微生物群落结构特征及其环境驱动因子·····	陈芬, 余高, 孙约兵, 张红丽, 田霞, 夏蓓 (4342)
岩溶湿地与稻田土壤团聚体细菌群落结构的比较·····	冷蒙, 靳振江, 肖筱怡, 熊丽媛, 李雪松 (4353)
戴云山土壤微生物碳源利用效率的海拔变异规律及影响因素·····	吕坤, 王晶晶, 吴国朋, 林思诺, 苏延桂, 黄刚 (4364)
长期秸秆还田对水稻根系碳矿化与激发效应的影响·····	刘峰, 王云秋, 张昀, 祝贞科, 吴金水, 葛体达, 李宇虹 (4372)
秸秆还田配施生物炭对关中平原夏玉米产量和土壤 N ₂ O 排放的影响·····	白金泽, 刘镇远, 宋佳杰, 李娜, 于琦, 郝嘉琪, 许宏伟, 程博豪, 王兴, 冯永忠 (4379)
聚苯乙烯纳米塑料对大蒜生长生理的影响·····	邱陈陈, 李国新, 李青松, 颜昌宙 (4387)
微塑料对土壤水分入渗和蒸发的影响·····	王志超, 张博文, 倪嘉轩, 杨文焕, 李卫平 (4394)
氢燃料电池汽车动力系统生命周期评价及关键参数对比·····	陈轶嵩, 兰利波, 郝卓, 付佩 (4402)
《环境科学》征订启事 (4211) 《环境科学》征稿简则 (4312) 信息 (3922, 4031, 4107)	

秸秆还田配施生物炭对关中平原夏玉米产量和土壤 N_2O 排放的影响

白金泽^{1,2}, 刘镇远^{1,2}, 宋佳杰^{1,2}, 李娜³, 于琦^{1,2}, 郝嘉琪^{1,2}, 许宏伟^{1,2}, 程博豪^{1,2}, 王兴^{1,2}, 冯永忠^{1,2*}

(1. 西北农林科技大学农学院, 杨凌 712100; 2. 陕西省循环农业工程技术研究中心, 杨凌 712100; 3. 山西农业大学有机旱作农业研究院, 太谷 030800)

摘要: 为探明秸秆还田配施生物炭对夏玉米产量和土壤氧化亚氮(N_2O)排放的影响, 基于2019~2020年关中平原田间定位试验, 利用静态暗箱-气相色谱法监测了土壤 N_2O 排放通量, 综合分析夏玉米产量、土壤 N_2O 排放和土壤活性氮组分, 明确了秸秆还田配施生物炭在培肥土壤、增产减排方面的效应。以秸秆不还田(S_0)为对照, 设置秸秆还田(S)和秸秆还田配施生物炭(SB)共3个处理。结果表明, 各处理 N_2O 排放峰值出现在秸秆还田后10 d, 秸秆还田30 d后土壤 N_2O 排放通量处于较低水平, 土壤 N_2O 排放通量与铵态氮(NH_4^+-N)、无机氮、微生物量氮(MBN)和可溶性有机氮(DON)含量呈显著的正相关关系($P < 0.05$)。S较 S_0 显著增加夏玉米产量、 N_2O 累积排放量、单位产量 N_2O 累积排放量和土壤总氮(TN)含量, 分别为7.4%~13%、65.8%~132.2%、54.6%~103%和27.8%~33%。虽然SB较S提高夏玉米产量(2.5%~3.3%)的趋势不显著($P > 0.05$), 但是SB较S显著降低 N_2O 累积排放量和单位产量 N_2O 累积排放量, 分别为24.0%~27.3%和26.4%~29.2%。在土壤 N_2O 排放通量达到峰值时, SB较S显著降低土壤 N_2O 排放通量45.1%~69.6%, 生物炭能够缓解秸秆还田所诱发的土壤 N_2O 排放, 具有削峰的作用。SB较S显著增加土壤总氮9.1%~12.2%。综合作物产量、 N_2O 排放和土壤总氮, 对夏玉米生产而言, 秸秆还田配施生物炭不仅培肥地力, 提高夏玉米产量, 而且减少单位产量 N_2O 累积排放量, 是可供推广的兼顾作物产量和环境友好的适宜管理措施。

关键词: 夏玉米; 秸秆还田; 生物炭; 氧化亚氮(N_2O); 产量

中图分类号: X16 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2022)08-4379-08 DOI: 10.13227/j.hjxx.202112061

Effects of Straw Returning and Biochar Application on Summer Maize Yield and Soil N_2O Emission in Guanzhong Plain

BAI Jin-ze^{1,2}, LIU Zhen-yuan^{1,2}, SONG Jia-jie^{1,2}, LI Na³, YU Qi^{1,2}, HAO Jia-qi^{1,2}, XU Hong-wei^{1,2}, CHENG Bo-hao^{1,2}, WANG Xing^{1,2}, FENG Yong-zhong^{1,2*}

(1. College of Agronomy, North A&F University, Yangling 712100, China; 2. Research Center of Recycle Agricultural Engineering and Technology of Shaanxi Province, Yangling 712100, China; 3. Shanxi Institute of Organic Dryland Farming, Shanxi Agricultural University, Taigu 030800, China)

Abstract: Here, we investigated the effects of straw returning combined with biochar application on summer maize yield and soil nitrous oxide (N_2O) emissions, based on a field location trial in the Guanzhong Plain from 2019 to 2020. The soil N_2O emission rates were monitored using the static chamber-chromatography method. A comprehensive analysis of summer maize yields, soil N_2O emissions, and soil labile nitrogen components was conducted to clarify the effects of straw returning combined with biochar application on improving soil fertility, increasing summer maize yield, and reducing greenhouse gas emissions. The three treatments were no straw returning (S_0), straw returning (S), and straw returning combined with biochar application (SB). The results showed that the peak of N_2O emissions from each treatment occurred 10 d after the straw return, and the rate of soil N_2O emissions remained at a low level after 30 d of straw return. The rate of soil N_2O emissions showed highly significant positive correlations ($P < 0.05$) with ammonium nitrogen (NH_4^+-N), inorganic nitrogen (SIN), microbial nitrogen (MBN), and dissolved organic nitrogen (DON) contents. S significantly increased summer maize yield, cumulative N_2O emissions, yield-scaled N_2O intensity, and total nitrogen (TN) content by 7.4%-13%, 65.8%-132.2%, 54.6%-103%, and 27.8%-33%, respectively, compared to those in S_0 . Although the trend for SB to increase summer maize yield (2.5%-3.3%) compared to that in S was not significant ($P > 0.05$), SB significantly reduced cumulative N_2O emissions and yield-scaled N_2O intensity by 24.0%-27.3% and 26.4%-29.2%, respectively, compared to that in S. SB significantly reduced the rate of soil N_2O emissions by 45.1%-69.6% at the peak of N_2O emissions compared to that in S. Biochar application mitigated soil N_2O emissions induced by straw return and had a peak-shaving effect. SB significantly increased soil total N by 9.1%-12.2% compared to that in S. Combining summer maize yield, soil N_2O emissions, and TN content, SB not only improved soil fertility and summer maize yield but also reduced yield-scaled N_2O intensity, making it a suitable management practice that can be replicated to balance crop yield and environmental friendliness.

Key words: summer maize; residues; biochar; nitrous oxide; yield

收稿日期: 2021-12-07; 修订日期: 2021-12-22

基金项目: 国家自然科学基金项目(31971859); 农业废弃物资源化利用技术共享服务平台项目(2019PT-13); 华北作物改良与调控国家重点实验室项目(NCCIR2020KF-10); 宁夏回族自治区重点研发计划重大(重点)项目(2019BBF02007)

作者简介: 白金泽(1998~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为土壤培肥与温室气体减排, E-mail: sdxbjz@163.com

* 通信作者, E-mail: fengyz@nwsuaf.edu.cn

人为温室气体排放导致的气候变化对农业生产 and 农民生计具有严重的潜在威胁,因此温室气体减排日益成为社会公众关注的焦点^[1]. 氧化亚氮(N_2O)作为重要的温室气体之一,在 100 年时间尺度上的全球增温潜势(GWP)是 CO_2 的 298 倍^[2]. 农田土壤是 N_2O 最主要的排放源之一,其排放量高达 $(3.3 \pm 1.1) \text{ Tg} \cdot \text{a}^{-1}$, 约占全球土壤 N_2O 排放总量 33%^[3]. 通过创新和优化农田管理手段来减少农田土壤源 N_2O 排放是促进农业温室气体减排的重要方式.

秸秆还田作为维持耕地土壤肥力和提高土壤固氮能力的有效方法^[4],其提高土壤 SOC 储量来减少大气 CO_2 的生态效应会被其诱导的土壤 N_2O 排放所抵消. 目前国内外关于秸秆还田对 N_2O 排放的影响研究较多,尚无统一的结论. 有研究表明在稻麦轮作系统中加入新鲜小麦秸秆能有效减少 N_2O 排放,麦秸还田旋耕效果最佳^[5],也有研究表明秸秆还田促进 N_2O 还原为 N_2 进而减少 N_2O 排放^[6],还有研究表明秸秆还田增加土壤微生物固氮潜力,降低硝化和反硝化作用进而减少 N_2O 排放^[7]. Li 等^[4] 对不同地理位置、气候、土壤条件和农业管理策略下作物秸秆还田对土壤 N_2O 排放的影响进行了 Meta 分析,表明秸秆还田显著增加 N_2O 排放 29.7%.

生物炭作为固碳减排和土壤污染控制与修复的土壤改良剂受到广泛的关注. Shakoor 等^[8] 对全球农田在土壤生物炭与温室气体排放之间的相互作用进行 Meta 分析,表明生物炭显著缓解玉米农田土壤 N_2O 排放. 但是国内外研究表明,生物炭显著增加土壤 N_2O 排放^[9],也有研究表明生物炭降低 N_2O 排放的作用是暂时的,并不能降低 N_2O 累积排放量. 尽管越来越多的研究试图揭示生物炭缓解农田温室气体排放的潜力,但是不同类型的生物炭在热解温度、原料、碳氮比和 pH 等方面存在差异,导致生物炭的减排效应未达成一致^[10]. 农田 N_2O 排放是众多因素综合作用的结果,过去的研究主要集中在生成机制、单个或几个影响因素上,对于夏玉米 N_2O 排放的总体排放规律、评价标准和解决方案的研究仍需加强.

关中平原是中国重要的粮食生产基地,占陕西省粮食总产量的 2/3 以上,农作物秸秆是农业生产的必然产物,农民一般选择田间焚烧以节省人力投入,但是会造成大气污染,降低土壤肥力^[11]. 如何创新秸秆利用模式,在保证粮食产量的同时,减少 N_2O 排放是当前关中地区农业科学研究的重点内容之一. 因此,本研究基于关中平原麦玉轮作体系设置田间定位试验,分析秸秆还田配施生物炭对麦玉轮作模式下夏玉米农田土壤 N_2O 排放和活性氮组分,结合作物产量进行综合评价,探索出有效的固氮减排

及增产增效措施,以期为农田土壤 N_2O 减排调控提供科学依据.

1 材料与方法

1.1 试验地概况

本试验位于关中平原西北农林科技大学曹新庄试验农场($34^{\circ}18'N$, $108^{\circ}05'E$, 海拔 520 m). 该地区属半干旱半湿润地区,年均气温 12.9°C , 年均降水量 660 mm,日照时数 2 163.5 h, 年均蒸发量 993.2 mm,湿润指数 0.6. 根据中国土壤系统分类,土壤质地为粉砂质黏壤土,土壤类型为壤土. 其 0 ~ 20 cm 土层土壤的基本性质为: $\omega(\text{SOC}) 7.8 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, $\omega(\text{TN}) 0.4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, $\omega(\text{TP}) 0.5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, $\omega(\text{AP}) 9.9 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, $\omega(\text{AK}) 143.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, pH 8.3.

1.2 试验设计

本试验于 2018 ~ 2020 年在小麦-玉米轮作体系下进行,采取完全随机区组设计,包括秸秆不还田(S_0),秸秆还田(S),秸秆还田 + 生物炭(SB)共 3 个处理,各处理均设 3 次重复,共 9 个小区,每个小区面积 $36 \text{ m}^2 (8 \text{ m} \times 4.5 \text{ m})$. 利用秸秆还田机将前茬作物秸秆全部打碎成为 3 ~ 10 cm 的碎片,之后通过旋耕使其还田入土约 15 cm 深,前茬作物为冬小麦,玉米和小麦秸秆还田量分别为 $8000 \text{ kg} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{a})^{-1}$ 和 $5000 \text{ kg} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{a})^{-1}$. 玉米和小麦秸秆粉碎后分别撒入 $6 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $2 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 生物炭,进行旋耕,使生物炭与土壤混合. 试验所用生物炭比表面积 $86.7 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$, $\omega(\text{SOC}) 723.8 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, $\omega(\text{TN}) 11.9 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, $\omega(\text{AP}) 387.8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, $\omega(\text{AK}) 1023.1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, pH 10.4. 各小区施肥量为 $\text{N} 225 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 $\text{P}_2\text{O}_5 140 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $\text{K}_2\text{O} 120 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$. 氮磷钾肥料混合在一起,在秸秆还田 3 d 后作为基肥人工撒施. 夏玉米品种为蠡玉 18 号,于 2019 年 6 月 12 日和 2020 年 6 月 12 日进行播种,于 2019 年 9 月 27 日和 2020 年 9 月 26 日收获,行距 70 cm,株距 25 cm,播种深度 5 cm. 其他管理措施与当地农户保持一致.

1.3 测试方法

采用铝盒烘干称重法测定土壤 0 ~ 10 cm 和 10 ~ 20 cm 含水量,采用直接地温计测定土壤 5 cm 温度. 玉米收获时,选取两行玉米(1 m),人工脱粒测量重量换算成单位面积产量($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$). 土壤 N_2O 排放通量采用静态箱-气相色谱法进行测定,采样箱由不锈钢箱体($50 \text{ cm} \times 50 \text{ cm} \times 50 \text{ cm}$)和底座($50 \text{ cm} \times 50 \text{ cm} \times 5 \text{ cm}$)组成,在夏玉米播种后,立即插入小区中央植株行间位置的土壤中,并保证土壤和底座上的凹槽之间没有缝隙. 箱体外覆反光材料,降低采

气过程中外部环境对箱体内部变化的影响, 采样时间为上午 09:00 ~ 11:00, 在施氮后每 2 d 采集 1 次, 10 d 后每周采集 1 次, 降雨后连续加测, 直到 N_2O 排放速率恢复稳定. 具体采气方法、仪器说明、及 N_2O 排放通量、 N_2O 累积排放量和单产 N_2O 排放量计算公式参考文献[12]. 采用“5 点取样法”采集 0 ~ 10 和 10 ~ 20 cm 土层土样, 根据文献[13]的方法, 测定土壤 pH 值(土: 去离子水 = 1: 5), 用连续流动分析仪(0.001AUFS, Auto Analyzer 3AA3, Germany,)测定土壤无机氮(NO_3^- -N 和 NH_4^+ -N)和总氮(TN)含量, 使用自动 TOC-TN 分析仪(TOC-L_{CPH}, TOC Analyze SHIMADZU, Japan)测定土壤可溶性有机氮(DON)和微生物量氮(MBN)含量.

1.4 数据分析

采用 Excel 2016 和 SPSS 25.0 软件对试验数据进行统计分析. 不同处理之间采用 LSD 法进行多重比较, 显著水平为 0.05. 采用 R 语言和 Canoco 5 软件进行相关性分析和冗余分析. 采用 Origin 2021 进行数据的可视化.

2 结果与分析

2.1 秸秆还田配施生物炭对土壤 N_2O 排放的影响

结果显示, S 较 S_0 显著增加土壤 N_2O 累积排放量 65.8% ~ 132.2%; SB 较 S 显著降低土壤 N_2O 累积排放量 24.0% ~ 27.3% (图 1). 各处理夏玉米土壤 N_2O 排放的动态变化规律显示, 秸秆还田后 10 d 土壤 N_2O 排放通量出现峰值; 秸秆还田后 30 d, 各处理土壤 N_2O 排放通量较低. 各处理土壤 N_2O 排放通量

最大为 $S[2\,519.2\text{ mg}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{h})^{-1}]$, 在 N_2O 排放通量峰值时, S 较 S_0 高 83.6% ~ 611.6%; SB 较 S 显著降低 N_2O 排放通量 45.1% ~ 69.6% (图 2). 结果显示, 各处理土壤 5 cm 温度和 0 ~ 20 cm 含水量与 N_2O 排放通量不存在显著的相关性(图 3).

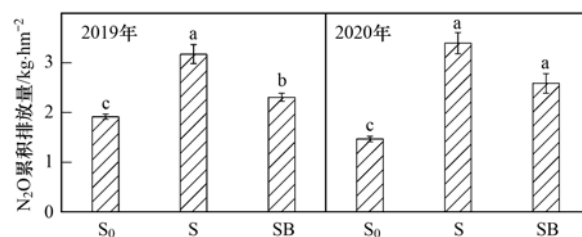
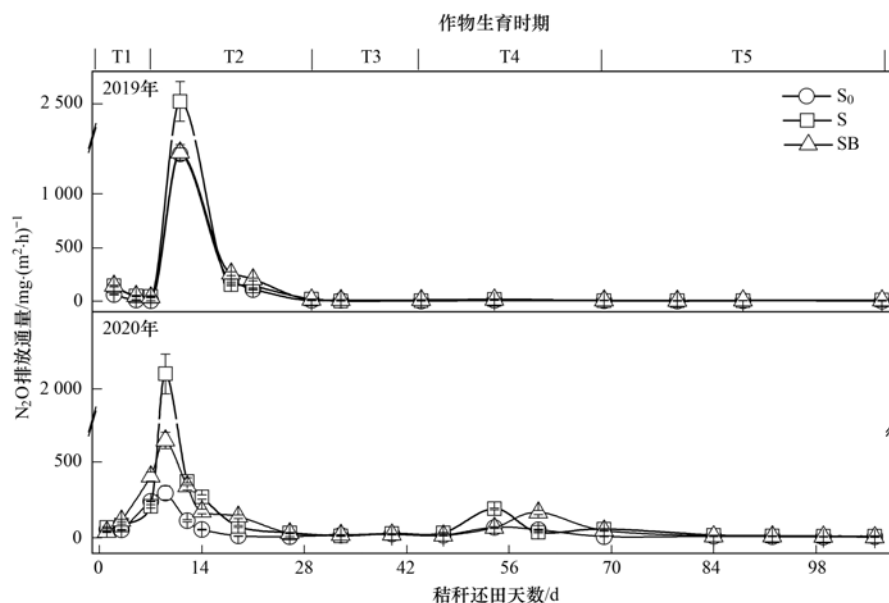


图 1 2019 ~ 2020 年各处理 N_2O 累积排放量

Fig. 1 N_2O cumulative emissions of different treatments from 2019 to 2020

2.2 秸秆还田配施生物炭对土壤活性氮组分的影响

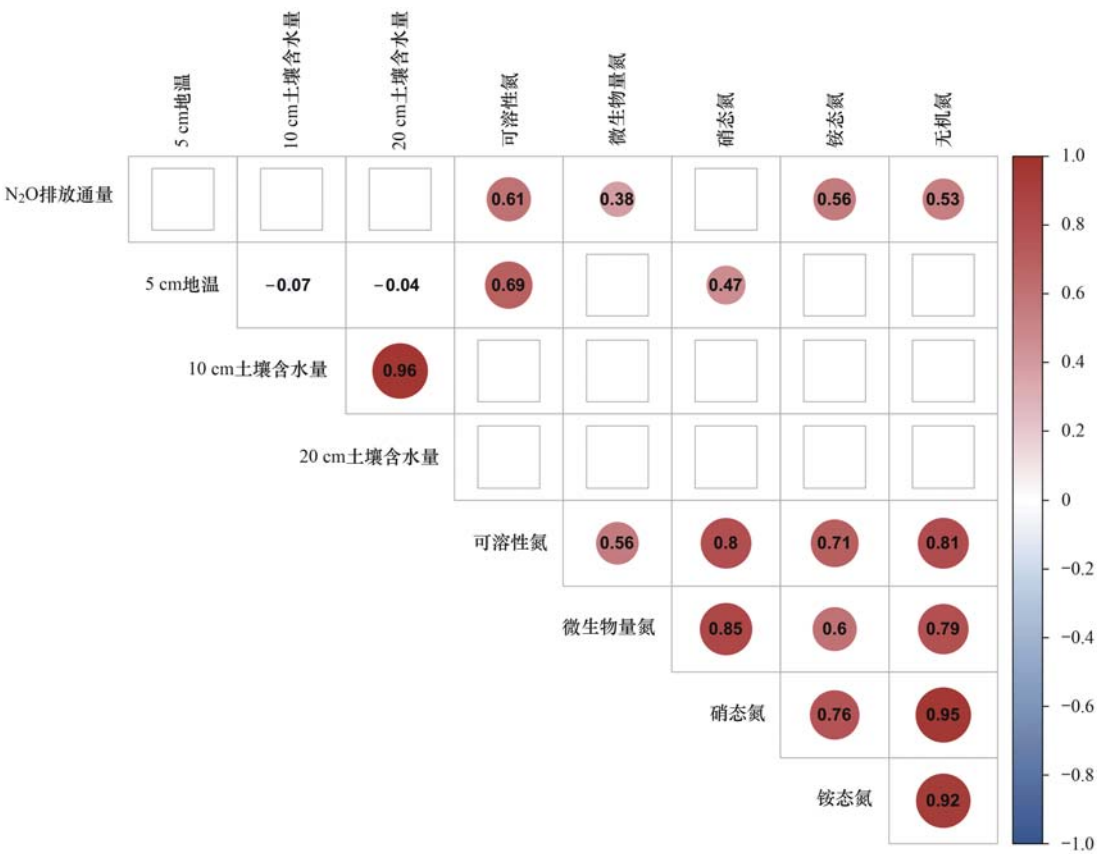
各处理土壤硝态氮(NO_3^- -N)含量在播种期 ~ 苗期(T1)和苗期 ~ 拔节期(T2)较高, 土壤 $\omega(\text{NO}_3^-$ -N)最高可达 $53.5\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (图 4, S 处理), 在拔节期 ~ 大喇叭口期(T3)、大喇叭口期 ~ 开花期(T4)和开花期 ~ 成熟期(T5)较低, 土壤 $\omega(\text{NO}_3^-$ -N)最低可达 $6.9\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (S_0 处理). S 较 S_0 在 T1 和 T2 显著增加土壤 NO_3^- -N 含量 40.0% ~ 53.1%, SB 较 S 在 T1 和 T2 显著降低土壤 NO_3^- -N 含量 8.7% ~ 31.7%. 夏玉米全生育期土壤 NO_3^- -N 含量平均值显示, S 较 S_0 显著增加土壤 NO_3^- -N 含量 41.2% ~ 41.5%, SB 较 S 显著降低土壤 NO_3^- -N 含量 25.8% ~ 26.1%. 各处理土壤 NH_4^+ -N 含量在 T1 较高, 表现为: $S > SB > S_0$, 不同处理之间差异显著($P <$



T1: 播种期 ~ 苗期, T2: 苗期 ~ 拔节期, T3: 拔节期 ~ 大喇叭口期, T4: 大喇叭口期 ~ 开花期, T5: 开花期 ~ 成熟期

图 2 2019 ~ 2020 年作物生育期内各处理 N_2O 排放通量季节变化特征

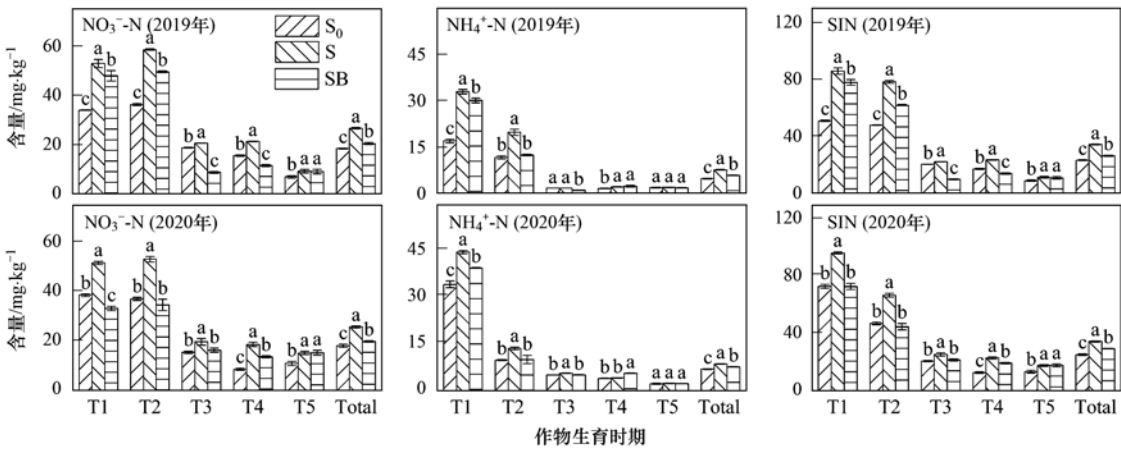
Fig. 2 Seasonal variation characteristics of N_2O emission rate of different treatments during the growth period of summer maize from 2019 to 2020



空白框表示两个指标之间不存在显著的相关性,圆圈表示存在显著的相关性,红色表示两个指标之间呈正相关,蓝色表示两个指标之间呈负相关,圆圈颜色深浅和大小表示相关性大小,圆圈中的数字表示相关系数

图3 土壤N₂O排放通量与土壤理化性质的皮尔逊相关系数

Fig. 3 Pearson correlation coefficient between soil N₂O emission rate and soil physicochemical properties



T1: 播种期~苗期,T2: 苗期~拔节期,T3: 拔节期~大喇叭口期,T4: 大喇叭口期~开花期,T5: 开花期~成熟期,
Total: 夏玉米全生育期;不同的小写字母表示作物生育时期各处理之间差异显著($P < 0.05$)

图4 2019~2020年夏玉米生育期内不同处理土壤硝态氮、铵态氮和无机氮含量

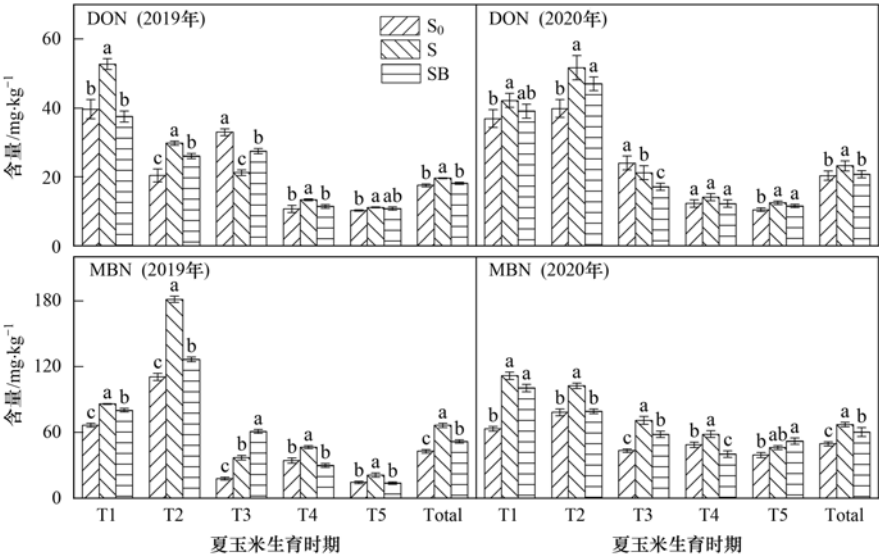
Fig. 4 Content of soil nitrate nitrogen, ammonium nitrogen, and inorganic nitrogen of different treatments during the growth period of summer maize from 2019 to 2020

0.05), $\omega(\text{NH}_4^+-\text{N})$ 最高可达45 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (S处理),随着生育期的进行迅速下降,在T3和T4土壤 $\omega(\text{NH}_4^+-\text{N})$ 维持在3 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$.夏玉米生育期土壤 NH_4^+-N 含量平均值显示,S较S₀显著提高土壤 NH_4^+-N 含量24.1%~61.7%,SB较S显著降低了土壤

NH_4^+-N 含量11.3%~23.8%.土壤无机氮(SIN)为 NO_3^--N 和 NH_4^+-N 之和, NO_3^--N 在SIN中所占比重较高,因此土壤SIN与 NO_3^--N 的变化趋势一致.土壤N₂O排放通量与土壤 NH_4^+-N 和SIN存在显著的正相关关系($P < 0.05$),相关系数分别为0.6和0.5(图3).

各处理土壤可溶性有机氮(DON)含量在 T1 和 T2 较高,土壤 $\omega(\text{DON})$ 最高达 $55 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (图 5, S 处理),随着生育期的进行迅速下降,土壤 $\omega(\text{DON})$ 最低达 $9.9 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. S 较 S_0 显著增加土壤 DON 含量 $11.8\% \sim 14.4\%$,SB 较 S 显著降低土壤 DON 含量 $7.4\% \sim 9\%$,SB 土壤 DON 含量波动范围较小. 不同处理微生物量氮(MBN)含量在 T1 和 T2 较高,在 T3 和 T5 较低,呈先增加后减少的趋势,夏玉米生育期内土壤 $\omega(\text{MBN})$ 最高达 $187.9 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (S),最低达 $12.8 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (SB). S 较 S_0 显著增加土壤 MBN 含

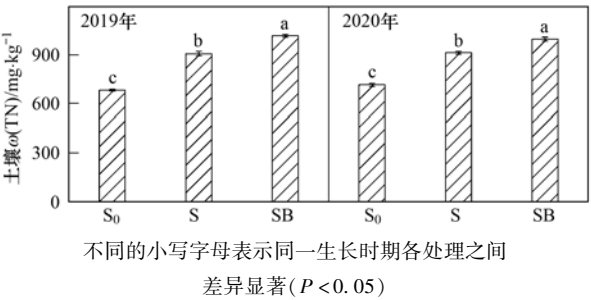
量 $35.5\% \sim 55.5\%$,SB 较 S 显著降低土壤 MBN 含量 $10.3\% \sim 22.3\%$. 土壤 N_2O 排放通量与土壤 DON 和 MBN 存在显著的正相关关系,相关系数分别为 0.6 和 0.4 (图 3). 结果显示,各处理土壤总氮(TN)含量表现为: $\text{SB} > \text{S} > \text{S}_0$,S 较 S_0 显著提高土壤 TN 含量 $27.8\% \sim 33\%$,SB 较 S 显著提高土壤 TN 含量 $9.1\% \sim 12.2\%$ (图 6). 环境因子(5 cm 土壤温度、0~20 cm 土壤含水量、土壤 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 、 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 和 DON)可以解释 60.6% 的 MBN 和 N_2O 排放通量的变化(图 7).



T1: 播种期~苗期, T2: 苗期~拔节期, T3: 拔节期~大喇叭口期, T4: 大喇叭口期~开花期, T5: 开花期~成熟期, Total: 夏玉米全生育期; 不同的小写字母表示作物生育时期各处理之间差异显著 ($P < 0.05$)

图 5 2019~2020 年夏玉米生育期内不同处理土壤可溶性有机氮和微生物量氮含量

Fig. 5 Content of soil dissolved organic nitrogen and soil microbial biomass nitrogen of different treatments during the growth period of summer maize from 2019 to 2020



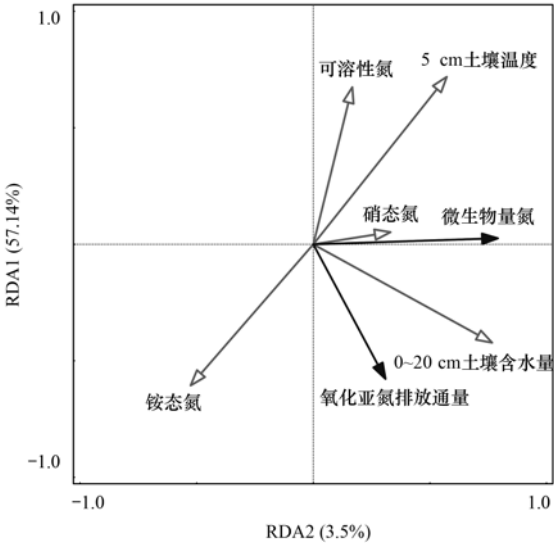
不同的小写字母表示同一生长期各处理之间差异显著 ($P < 0.05$)

图 6 2019~2020 年夏玉米土壤总氮含量

Fig. 6 Content of summer maize soil total nitrogen from 2019 to 2020

2.3 秸秆还田配施生物炭对夏玉米产量和单位产量 N₂O 累积排放量的影响

结果表明,SB 和 S 较 S_0 显著提高夏玉米产量,分别为 $13\% \sim 16.7\%$ 和 $7\% \sim 11.5\%$,虽然 SB 较 S 提高夏玉米产量趋势不显著,但是 SB 较 S 显著降低单位产量 N_2O 累积排放量 $26.4\% \sim 29.2\%$ (表 1). 各处理玉米收获期土壤 pH 表现为: $\text{SB} > \text{S}_0 > \text{S}$,不



蓝色箭头表现响应变量,红色箭头表示解释变量

图 7 土壤 N_2O 排放通量和微生物量氮对土壤理化性质的响应

Fig. 7 Response of soil N_2O emission rate and microbial nitrogen to soil physicochemical properties

表 1 不同处理夏玉米产量、单位产量N₂O累积排放量和土壤 pH 值¹⁾
Table 1 Summer maize grain yield, yield-scaled N₂O intensity, and soil pH under different treatments

年份	处理	作物产量 /kg·hm ⁻²	单位产量N ₂ O累积排放量 /g·kg ⁻¹	pH
2019	S ₀	8 301.6 ± 374.1b	0.2 ± 0.1b	8.1 ± 0.1b
	S	8 913.7 ± 297.7a	0.4 ± 0.1a	7.9 ± 0.1c
	SB	9 132.9 ± 143.9a	0.3 ± 0.1b	8.2 ± 0.1a
2020	S ₀	8 565.1 ± 308.6b	0.1 ± 0.1c	8.2 ± 0.1b
	S	9 674.9 ± 318.1a	0.3 ± 0.1a	7.9 ± 0.1c
	SB	9 993.7 ± 450.6a	0.2 ± 0.1b	8.3 ± 0.1a

1) 不同的小写字母表示各处理作物产量、单位产量N₂O累积排放量和土壤 pH 值差异显著 ($P < 0.05$)

同处理之间差异显著 $P < 0.05$.

3 讨论

3.1 秸秆还田配施生物炭对土壤N₂O排放的影响

各处理土壤 5 cm 温度和 0 ~ 20 cm 含水量与土壤N₂O排放通量不存在显著的相关性(图 3),这可能是由于夏玉米生育期内温度较高,温度不是主导因子,对土壤微生物的活性影响较小,土壤 0 ~ 20 cm 含水量可以解释 34.2% 的土壤N₂O排放通量和 MBN 的变化(图 7). N₂O排放通量动态变化规律显示为先增加后减少最后维持稳定,施肥后土壤总氮激增^[14],为土壤反硝化作用提供底物,玉米还未出苗不与土壤微生物竞争物质和能量^[15],增加土壤N₂O排放,在秸秆还田后 10 d 土壤N₂O排放通量达到峰值.小麦秸秆粉碎后碎屑粒径较细(3 ~ 5 cm)与土壤接触面大,腐解消耗氧气多,腐解产生的养分有利于微生物快速繁殖消耗大量氧气,为反硝化作用提供适宜的厌氧条件^[16];生物炭一方面具有较大的比表面积和多孔结构,能够降低土壤容重,改善土壤通气状况^[17],另一方面生物炭具有较高的 C/N 比,多为环状结构,具有芳香性不易被氧化,且具有很强的吸附性,可供微生物利用的有效碳含量低,因此可以抑制土壤硝化反硝化作用^[18],秸秆还田配施生物炭显著降低秸秆还田诱发的土壤N₂O排放,在N₂O排放通量达到峰值时,生物炭具有削峰的作用.土壤N₂O还原酶争夺电子的能力较弱,缺少电子供体不利于N₂O的还原,秸秆还田降低土壤 pH,抑制N₂O还原酶活性^[19],N₂O转化为 N₂ 的过程被抑制;秸秆还田配施生物炭(pH 10.4)提高土壤 pH,降低硝化反硝化过程N₂O产生速率和产量^[20],这与华北地区秸秆还田增加夏玉米土壤N₂O排放 18% ~ 31%,施用 40 t·hm⁻²的生物炭降低夏玉米土壤N₂O排放结论相一致^[21,22].此外,有研究表明稻田里添加 7.5 ~ 48 t·hm⁻²生物炭增加土壤N₂O排放 13% ~ 82%^[23],这与本研究的结论不一致,可能是生物炭在不同类型土壤和种植系统中产生的影响不同导致.

3.2 土壤N₂O排放对土壤活性氮组分的响应

本研究各处理土壤 SIN、NH₄⁺-N、MBN 和 DON 含量均与土壤N₂O排放通量存在显著的正相关关系(图 3). NO₃⁻-N 和 NH₄⁺-N 是硝化和反硝化作用的反应底物,其含量的大小不仅会影响反应速率,还会影响产物中N₂O所占比例.夏玉米生长前期对于氮素的需求不高,过量的活性氮以气态氮(N₂O 和 NH₃)形式排放;生物炭较大的比表面积将 NH₄⁺ 等阳离子通过含氧官能团吸附表面,多孔结构延缓气体排放,短期固定土壤NH₄⁺-N^[23],土壤NH₄⁺-N可以解释 21.5% 的土壤N₂O排放通量和 MBN 的变化(图 7).此外,有室内培养试验表明施用生物炭减少土壤N₂O排放却增加土壤NO₃⁻-N累积,造成氮素淋失^[24],这与本研究的结论不一致,可能是生物炭的材料和试验环境复杂程度不同导致.

MBN 作为土壤有机氮的重要组成部分,对养分的供给与转化起着重要作用,反映土壤微生物活性.秸秆还田后,提高土壤有机质含量,秸秆作为基质直接参与土壤硝化过程,满足土壤硝化细菌对底物和能量的需要,促进硝化作用,增加土壤N₂O排放^[25];生物炭的高 C/N 比破坏土壤原有的微生物碳氮平衡,吸附土壤中游离的NO₃⁻-N 和 NH₄⁺-N 至孔隙或表面,降低小分子化合物的可利用性,降低土壤硝化反硝化细菌的活性,土壤 MBN 含量降低,从而降低土壤N₂O排放^[26].此外,在山东进行的麦玉轮作试验表明,生物炭增加了土壤微生物量氮导致土壤N₂O排放增加,这与本研究的结论不一致,可能是土壤质地和性质不同导致^[27].

DON 是土壤有机氮中最活跃的组分之一,不仅可以作为一些植物的直接氮源,也能反映土壤的矿化能力^[28],且易随水流失,造成环境污染^[29],因此土壤 DON 在保持土壤肥力、维持氮库平衡和生态环境方面具有重要的意义.尿素(酰胺态氮肥)施入土壤促进秸秆腐解为土壤微生物提供丰富的营养物质,土壤微生物分解土壤有机物释放 DON,从而提高土壤 DON 含量;生物炭不仅可以土壤 DON 吸

附到其表面或土壤胶体内^[30], 而且较高的 C/N 比可以使微生物在分解生物炭中易降解的有机碳时消耗土壤中的 $\text{N}^{[31]}$, 减少可供微生物吸收利用的土壤 DON 含量, 降低土壤 N_2O 排放。

TN 是表征土壤质量的重要指标, 反映土壤肥力的水平^[32]。秸秆还田不仅提高对土壤氮素的吸附, 而且秸秆和生物炭能够释放自身的氮素, 瞬间提高土壤氮素含量, 此外, 生物炭丰富的孔隙结构和巨大的比表面积可以吸附和固持土壤氮素, 减少土壤氮素淋溶损失。

3.3 秸秆还田配施生物炭对夏玉米产量和单位产量 N_2O 排放的影响

通过控制氮的来源和减缓硝化、反硝化作用是减少土壤 N_2O 排放的途径, 但前提是不能降低农业总产量。S 较 S_0 显著增加夏玉米产量, 同时也显著增加单产 N_2O 累积排放量, 不利于农业的可持续发展。虽然 SB 较 S 增加夏玉米产量的趋势不显著, 但是显著降低单位产量 N_2O 累积排放量 (表 1), 生物炭在提高土壤总氮和减少土壤 N_2O 排放方面表现出良好的有效性和可持续性^[33]。综合考虑, 秸秆还田配施生物炭 (SB) 能在保证高产的前提下减少 N_2O 排放, 对满足日益增长的粮食需求和应对日益恶化的气候变化具有重要的意义。本研究着重于生物炭对氮素循环的影响, 生物炭施入土壤后表面孔隙结构的变化所导致的退化, 对于土壤动物 (蚯蚓为主) 和植物根系的影响还有待进一步研究。

4 结论

(1) 夏玉米生育期内农田 N_2O 排放峰值出现在秸秆还田后 10 d, SB 较 S 显著降低土壤 N_2O 排放通量 45.1% ~ 69.6%, 秸秆还田配施生物炭能够缓解秸秆还田诱发的土壤 N_2O 排放, 生物炭具有削峰的作用, 秸秆还田 30 d 后土壤 N_2O 排放通量处于较低的水平。

(2) 土壤 NH_4^+-N 、 SIN 、 MBN 和 DON 是秸秆还田配施生物炭影响土壤 N_2O 排放的主导因子, 其含量与土壤 N_2O 排放通量存在显著的正相关关系 ($P < 0.05$)。

(3) SB 较 S 显著提高夏玉米产量和土壤 TN, 分别为 10% ~ 16.7% 和 39.4% ~ 49.2%, 显著降低土壤 N_2O 累积排放量和单位产量 N_2O 累积排放量, 分别为 24% ~ 27.3% 和 26.4% ~ 29.2%。秸秆还田配施生物炭具有优良的增产减排效应, 是关中平原麦玉轮作体系的绿色生产新模式。

参考文献:

[1] Shi X Y, Chen J, Gu L, *et al.* Impacts and socioeconomic

exposures of global extreme precipitation events in 1.5 and 2.0°C warmer climates [J]. *Science of the Total Environment*, 2021, **766**, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.142665.

- [2] Stocker T F, Qin D, Plattner G K, *et al.* 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: Cambridge University Press, 2013.
- [3] Makowski D. N_2O increasing faster than expected [J]. *Nature Climate Change*, 2019, **9**(12): 909-910.
- [4] Li Z J, Reichel R, Xu Z F, *et al.* Return of crop residues to arable land stimulates N_2O emission but mitigates NO_3^- leaching: a meta-analysis [J]. *Agronomy for Sustainable Development*, 2021, **41**(5), doi: 10.1007/s13593-021-00715-x.
- [5] Yao Z S, Zhou Z X, Zheng X H, *et al.* Effects of organic matter incorporation on nitrous oxide emissions from rice-wheat rotation ecosystems in China [J]. *Plant and Soil*, 2010, **327**(1-2): 315-330.
- [6] Weier K L, Doran J W, Power J F, *et al.* Denitrification and the dinitrogen/nitrous oxide ratio as affected by soil water, available carbon, and nitrate [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1993, **57**(1): 66-72.
- [7] Jensen E S. Nitrogen immobilization and mineralization during initial decomposition of ^{15}N -labelled pea and barley residues [J]. *Biology and Fertility of Soils*, 1997, **24**(1): 39-44.
- [8] Shakoor A, Arif M S, Shahzad S M, *et al.* Does biochar accelerate the mitigation of greenhouse gaseous emissions from agricultural soil? -a global meta-analysis [J]. *Environmental Research*, 2021, **202**, doi: 10.1016/j.envres.2021.111789.
- [9] Cheng Y, Cai Z C, Chang S X, *et al.* Wheat straw and its biochar have contrasting effects on inorganic N retention and N_2O production in a cultivated Black Chernozem [J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2012, **48**(8): 941-946.
- [10] Pereira E I P, Suddick E C, Mansour I, *et al.* Biochar alters nitrogen transformations but has minimal effects on nitrous oxide emissions in an organically managed lettuce mesocosm [J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2015, **51**(5): 573-582.
- [11] Guo L J, Zhang Z S, Wang D D, *et al.* Effects of short-term conservation management practices on soil organic carbon fractions and microbial community composition under a rice-wheat rotation system [J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2015, **51**(1): 65-75.
- [12] 商子惠, 蔡焕杰, 陈慧, 等. 水肥气耦合对温室番茄地土壤 N_2O 排放及番茄产量的影响 [J]. *环境科学*, 2020, **41**(6): 2924-2935.
Shang Z H, Cai H J, Chen H, *et al.* Effect of water-fertilizer-gas coupling on soil N_2O emission and yield in greenhouse tomato [J]. *Environmental Science*, 2020, **41**(6): 2924-2935.
- [13] 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.
- [14] Zou J W, Huang Y, Lu Y Y, *et al.* Direct emission factor for N_2O from rice-winter wheat rotation systems in Southeast China [J]. *Atmospheric Environment*, 2005, **39**(26): 4755-4765.
- [15] 张志勇, 于旭昊, 熊淑萍, 等. 耕作方式与氮肥减施对黄褐土麦田土壤酶活性及温室气体排放的影响 [J]. *农业环境科学学报*, 2020, **39**(2): 418-428.
Zhang Z Y, Yu X H, Xiong S P, *et al.* Effects of tillage methods and nitrogen fertilizer reduction on soil enzyme activities and greenhouse gas emissions of wheat yellow cinnamon soil [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2020, **39**(2): 418-428.
- [16] Mitchell D C, Castellano M J, Sawyer J E, *et al.* Cover crop effects on nitrous oxide emissions: role of mineralizable carbon

- [J]. Soil Science Society of America Journal, 2013, **77**(5): 1765-1773.
- [17] Chen Y, Shinogi Y, Taira M, *et al.* Influence of biochar use on sugarcane growth, soil parameters, and groundwater quality[J]. Australian Journal of Soil Research, 2010, **48**(7): 526-530.
- [18] 张娟霞. 长期秸秆还田与施氮下冬小麦产量和土壤肥力的变化[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2018.
- Zhang J X. Changes of winter wheat yield and soil fertility under long-term straw management and nitrogen application [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2018.
- [19] Liu X R, Ren J Q, Zhang Q W, *et al.* Long-term effects of biochar addition and straw return on N₂O fluxes and the related functional gene abundances under wheat-maize rotation system in the North China Plain[J]. Applied Soil Ecology, 2019, **135**: 44-55.
- [20] 纪立东, 柳晓桐, 司海丽, 等. 生物炭对土壤理化性质和玉米生长的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2021, **39**(5): 114-120.
- Ji L D, Liu X T, Si H L, *et al.* Effects of biomass charcoal on soil physicochemical properties and corn growth[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2021, **39**(5): 114-120.
- [21] Huang T, Yang H, Huang C C, *et al.* Effect of fertilizer N rates and straw management on yield-scaled nitrous oxide emissions in a maize-wheat double cropping system [J]. Field Crops Research, 2017, **204**: 1-11.
- [22] Zhang A F, Cui L Q, Pan G X, *et al.* Effect of biochar amendment on yield and methane and nitrous oxide emissions from a rice paddy from Tai Lake Plain, China[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2010, **139**(4): 469-475.
- [23] Shen J L, Tang H, Liu J Y, *et al.* Contrasting effects of straw and straw-derived biochar amendments on greenhouse gas emissions within double rice cropping systems[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2014, **188**: 264-274.
- [24] Dempster D N, Gleeson D B, Solaiman Z M, *et al.* Decreased soil microbial biomass and nitrogen mineralisation with eucalyptus biochar addition to a coarse textured soil[J]. Plant and Soil, 2012, **354**(1-2): 311-324.
- [25] Li H, Dai M W, Dai S L, *et al.* Current status and environment impact of direct straw return in China's cropland-a review[J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2018, **159**: 293-300.
- [26] 李影, 李斌, 柳东阳, 等. 生物炭配施菌肥对植烟土壤养分和可溶性有机碳氮光谱特征的影响[J]. 华北农学报, 2018, **33**(6): 227-234.
- Li Y, Li B, Liu D Y, *et al.* Effects of bio-bacteria-fertilizer combined with biochar on soil properties and dissolved soil N and C UV spectral characteristics in tobacco growing soil[J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2018, **33**(6): 227-234.
- [27] 唐占明, 刘杏认, 张晴雯, 等. 对比研究生物炭和秸秆对麦玉轮作系统N₂O排放的影响[J]. 环境科学, 2021, **42**(3): 1569-1580.
- Tang Z M, Liu X R, Zhang Q W, *et al.* Effects of biochar and straw on soil N₂O emission from a wheat maize rotation system [J]. Environmental Science, 2021, **42**(3): 1569-1580.
- [28] Näsholm T, Persson J. Plant acquisition of organic nitrogen in boreal forests[J]. Physiologia Plantarum, 2001, **111**(4): 419-426.
- [29] Van Kessel C, Clough T, Van Groenigen J W. Dissolved organic nitrogen: an overlooked pathway of nitrogen loss from agricultural systems? [J]. Journal of Environmental Quality, 2009, **38**(2): 393-401.
- [30] 赵满兴, 周建斌, 延志莲. 不同土层土壤对可溶性有机氮、碳的吸附特性研究[J]. 土壤通报, 2010, **41**(6): 1328-1332.
- Zhao M X, Zhou J B, Yan Z L. Adsorption characteristics of soluble organic carbon and nitrogen in different layer of cultivated soils[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2010, **41**(6): 1328-1332.
- [31] 刘杰云, 邱虎森, 汤宏, 等. 生物质炭对双季稻水稻土微生物生物量碳、氮及可溶性有机碳氮的影响[J]. 环境科学, 2019, **40**(8): 3799-3807.
- Liu J Y, Qiu H S, Tang H, *et al.* Effects of biochar amendment on soil microbial biomass carbon, nitrogen and dissolved organic carbon, nitrogen in paddy soils [J]. Environmental Science, 2019, **40**(8): 3799-3807.
- [32] Huang T T, Yang N, Lu C, *et al.* Soil organic carbon, total nitrogen, available nutrients, and yield under different straw returning methods[J]. Soil and Tillage Research, 2021, **214**, doi: 10.1016/j.still.2021.105171.
- [33] Li S M, Chen G. Contemporary strategies for enhancing nitrogen retention and mitigating nitrous oxide emission in agricultural soils: present and future[J]. Environment, Development and Sustainability, 2020, **22**(4): 2703-2741.

CONTENTS

Characteristics of PM _{2.5} Pollution in Beijing During the Historical Period of the 2022 Olympic Winter Games	LIU Yue-chen, MAN Rui-qi, QIU Yan-ting, <i>et al.</i> (3895)
Observation Analyses of Aerosol Size Distribution Properties from February to March, 2019 in Tianjin Urban Area	HAO Jian, CAI Zi-ying, LIU Jing-le, <i>et al.</i> (3903)
Analysis of Typical Weather Circulation Patterns of Heavy PM _{2.5} Pollution and the Transport Pattern in the Yangtze River Middle Basin	WANG Ying, ZHI Xie-fei, BAI Yong-qing, <i>et al.</i> (3913)
Characteristics of Heavy Metals and Other Elements in Atmospheric Dry and Wet Deposition and Health Risk Assessment of a Typical Industrial and Mining City in Central Yunnan	FAN Chen-zi, LIU Yong-bing, YUAN Ji-hai, <i>et al.</i> (3923)
Characteristics and Reactivity of VOCs in a Typical Industrial City in Summer	QIN Tao, LI Li-ming, WANG Xin-wu, <i>et al.</i> (3934)
Chemical Reaction Activity and Source Apportionment of Atmospheric VOCs in Summer in Dalian	ZHU Ke-xin, LIU Li-zhong, LIU Huan-wu, <i>et al.</i> (3944)
One-year Simulation of Air Pollution in Central China, Characteristics, Distribution, Inner Region Cross-transmission, and Pathway Research in 18 Cities	LIU Guang-jin, SU Fang-cheng, XU Qi-xiang, <i>et al.</i> (3953)
Characteristics of Ozone Pollution, Meteorological Impact, and Evaluation of Forecasting Results Based on a Neural Network Model in Beijing-Tianjin-Hebei Region	ZHU Yuan-yuan, LIU Bing, GUI Hai-lin, <i>et al.</i> (3966)
Temporal and Spatial Variations in Black Carbon Aerosol in Different Atmospheric Background Stations in China from 2006 to 2020	WANG Hong-lei, YAN Xue, SHEN Li-juan, <i>et al.</i> (3977)
Pollution Characteristics and Emission Factors of PCDD/Fs from Iron and Steel Industry	YANG Yan-yan, XIE Dan-ping, FU Jian-ping, <i>et al.</i> (3990)
Community Composition and Assessment of the Aquatic Ecosystem of Periphytic Algae in the Yangtze River Basin	HU Yu-xin, CAO Liang, QU Ren-chao, <i>et al.</i> (3998)
Evaluation and Source Analysis of Heavy Metal Pollution in Sediments of the Yellow River Basin Based on Monte Carlo Simulation and PMF Model	PANG Kuo, LI Min, LIU Lu, <i>et al.</i> (4008)
Retention Effect of Heavy Metals in Rivers of a Typical Mountainous City by Cascade Weirs; A Case Study of Liangtan River in Chongqing	WANG Chao, JIA Bo-yang, PAN Cheng-yong, <i>et al.</i> (4018)
Estimation of Agricultural Non-point Source TN and TP Export Coefficients Based on Soil Loss	WANG You-xiao, HUANG Chong, LIU Gao-huan, <i>et al.</i> (4032)
Influence of Land Use and Land Cover Patterns on Water Quality at Different Spatio-temporal Scales in Hehuang Valley	LI Hao-hao, HUANG Yi-mei, GUO Wei, <i>et al.</i> (4042)
Groundwater Pollution Source Identification by Combination of PMF Model and Stable Isotope Technology	ZHANG Han, DU Xin-yu, GAO Fei, <i>et al.</i> (4054)
Antibiotic Pollution Characteristics and Ecological Risk Assessment in Jinjiang River Basin, Jiangxi Province	LI Jia-le, WANG Meng, HU Fa-wang, <i>et al.</i> (4064)
Screening and Control Measures for New Priority Pollutants in Surface Water of Tianjin	WU Yan-qi, SONG Shuai, SHI Ya-juan, <i>et al.</i> (4074)
Contamination Characteristics and Ecological Risk Assessment of Pharmaceuticals and Personal Care Products (PPCPs) in the Third Drain of Ningxia	LI Fu-juan, GAO Li, LI Ling-yun, <i>et al.</i> (4087)
Analysis of the Seasonal Changes in Planktonic Microbial Diversity in Urban River Supplied with Reclaimed Water: A Case Study of the North Canal River	YUAN Xun-chao, WANG Min, GUO Xiao-yu, <i>et al.</i> (4097)
Spectroscopic and Molecular Characterization of Water Soluble Organic Matter from Sediments in the Macrophyte-dominated and Algae-dominated Zones of Taihu Lake	DU Ying-xun, DAI Jia-ru, ZHANG Qiao-ying, <i>et al.</i> (4108)
Emission of Nitrous Oxide (N ₂ O) from Lake Taihu and the Corresponding Potential Driving Factors	LIU Chao-rong, ZHU Jun-yu, LI Yu-yang, <i>et al.</i> (4118)
Pollution Characteristics and Risk Assessment of Heavy Metals in the Bioretention Systems of Sponge Cities	LEI Xiao-ling, QIU Li-na, WEI Ze-jun, <i>et al.</i> (4127)
Treatment Effect of Corncob and Rice Straw Enhanced Subsurface Flow Constructed Wetland on Low C/N Ratio Wastewater	HU Man-li, HAO Qing-ju, MA Rong-zhen, <i>et al.</i> (4136)
Investigation of the Performance of Organic Contaminant Degradation by Fe ²⁺ /PDS Under Environmentally Relevant pH Conditions	LIU Ying, GUO Yi-wei, QIAO Jun-lian, <i>et al.</i> (4146)
Typical Pesticide Residues and Their Risk Assessment in Farmland Environment of Different Plant Types in Shayu County, Xinjiang	XIE Xuan-xuan, NUERLA Ailijiang, BALATI Maihemuti, <i>et al.</i> (4154)
Distribution Characteristics of Antibiotics and Antibiotic Resistance Genes in Manure and Surrounding Soil of Poultry Farm in Ningxia	SHEN Cong, ZHANG Jun-hua, LIU Ji-li, <i>et al.</i> (4166)
Enrichment Factors of Soil-Se in the Farmland in Shizuishan City, Ningxia	WANG Ying, LIU Hai-yan, WANG Ze-jing, <i>et al.</i> (4179)
Zoning and Safe Utilization Method of Heavy Metal Contaminated Cultivated Land at Block Scale	WANG Rui, YU Jing, LI Yu, <i>et al.</i> (4190)
Spatial Distribution, Source Apportionment, and Ecological Risk Assessment of Soil Heavy Metals in Jianghugongmi Producing Area, Shandong Province	YU Lin-song, WAN Fang, FAN Hai-yin, <i>et al.</i> (4199)
Assessing the Lead Accumulation Risks of Wheat Grain by Developing a Source-Specific Accumulation Risk Assessment Model	YANG Yang, LI Yan-ling, NIU Shuo, <i>et al.</i> (4212)
Accumulation Effects and Health Risks of Heavy Metals in Rice in Location-based Cadmium Anomaly Area in Liuzhou	ZHU Liang-liang, WANG Fu-peng, TANG Le-bin, <i>et al.</i> (4219)
Accumulation and Transport Characteristics of Cd, Pb, Zn, and As in Different Maize Varieties	REN Chao, XIAO Jian-hui, LI Jing-tian, <i>et al.</i> (4232)
Remediation Potential of <i>Taraxacum kok-saghyz</i> Rodin on Lead and Cadmium Contaminated Farmland Soil	ZHANG Heng, XIONG Ming-biao, WANG Qian-xin, <i>et al.</i> (4253)
Remediation Potential of Three Dwarf Bamboos on Farmland Soils Contaminated with Mixed Heavy Metals	ZHANG Ying, ZHAO Xin, ZHANG Sheng-hu, <i>et al.</i> (4262)
Impacts of Uptake and Accumulation of Cd on Double Rice-Paddy Soil by Silicon Fertilizer Continuous Application	PENG Hua, DENG Kai, SHI Yu, <i>et al.</i> (4271)
Effect of Modified Chitosan Loaded with Silica on Arsenic Uptake and Transport in Rice	YANG Jia-yi, SUN Meng-qiang, XIAO Yu-tang, <i>et al.</i> (4282)
Effect of Chelating Agents and Organic Acids on Remediation of Cadmium and Arsenic Complex Contaminated Soil Using <i>Xanthium sibiricum</i>	ZHANG Ya-rui, HUANG Yi-zong, BAO Qiong-li, <i>et al.</i> (4292)
Effects of Water Management on the Transformation of Iron Oxide Forms in Paddy Soils and Its Coupling with Changes in Cadmium Activity	LI Ming-yuan, ZHANG Xiao-ting, LIU Han-yi, <i>et al.</i> (4301)
Effects of Iron Intensity-regulated Root Microbial Community Structure and Function on Cadmium Accumulation in Rice	ZHENG Shen, HUANG Dao-you, LI Bo, <i>et al.</i> (4313)
Effects of Mulching and Slow-release Fertilizer Application Reduction on Soil Microbial Community Structure in Rapeseed Field Under Two Different Rainfall Conditions	FENG Jun, SHI Chao, Hafiz Athar Hussain, <i>et al.</i> (4322)
High-Throughput Sequencing Combined with Metabonomics to Analyze the Effect of Heavy Metal Contamination on Farmland Soil Microbial Community and Function	PANG Fa-hu, LI Xiao-qi, DUAN Li-yang, <i>et al.</i> (4333)
Characteristics of Microbial Community Structure in the Surrounding Farmlands of a Mercury Mining Area and Its Environmental Driving Factors	CHEN Fen, YU Gao, SUN Yue-bing, <i>et al.</i> (4342)
Comparison of Bacterial Community Structure in Soil Aggregates Between Natural Karst Wetland and Paddy Field	LENG Meng, JIN Zhen-jiang, XIAO Xiao-yi, <i>et al.</i> (4353)
Elevational Pattern and Control Factors of Soil Microbial Carbon Use Efficiency in the Daiyun Mountain	LÜ Kun, WANG Jing-jing, WU Guo-peng, <i>et al.</i> (4364)
Effect of Long-term Straw Returning on the Mineralization and Priming Effect of Rice Root-carbon	LIU Feng, WANG Yun-qiu, ZHANG Yun, <i>et al.</i> (4372)
Effects of Straw Returning and Biochar Application on Summer Maize Yield and Soil N ₂ O Emission in Guanzhong Plain	BAI Jin-ze, LIU Zhen-yuan, SONG Jia-jie, <i>et al.</i> (4379)
Effects of Polystyrene Nanoplastics (PS-NPs) on the Physiology of <i>Allium sativum</i> L.	QIU Chen-chen, LI Guo-xin, LI Qing-song, <i>et al.</i> (4387)
Effect of Microplastics on Soil Water Infiltration and Evaporation	WANG Zhi-chao, ZHANG Bo-wen, NI Jia-xuan, <i>et al.</i> (4394)
Life Cycle Assessment and Key Parameter Comparison of Hydrogen Fuel Cell Vehicles Power Systems	CHEN Yi-song, LAN Li-bo, HAO Zhuo, <i>et al.</i> (4402)