

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第37卷 第4期

Vol.37 No.4

2016

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

2013年12月上海市重度污染期间细颗粒物化学特征与输送轨迹影响	
..... 周敏, 乔利平, 朱书慧, 李莉, 楼晟荣, 王红丽, 陶士康, 黄成, 陈长虹 (1179)	
利用 SPAMS 研究华北乡村站点(曲周)夏季大气单颗粒物老化与混合状态	黄子龙, 曾立民, 董华斌, 李梅, 朱彤 (1188)
南京大气气溶胶混合态与云凝结核活化特征研究	朱麟, 马嫣, 郑军, 李时政, 王利朋 (1199)
北京地区不同天气条件下气溶胶数浓度粒径分布特征研究	苏捷, 赵普生, 陈一娜 (1208)
重庆市主城区 PM _{2.5} 时空分布特征	刘永林, 孙启民, 钟明洋, 钟部卿, 雒昆利 (1219)
大气细颗粒物中有机碳和元素碳监测方法对比	庞博, 吉东生, 刘子锐, 朱彬, 王跃思 (1230)
深圳市大气中全氟化合物的残留特征	何鹏飞, 张鸿, 李静, 何龙, 罗骥, 刘国卿, 沈金灿, 杨波, 崔晓宇 (1240)
北京上甸子站大气 CO ₂ 及 δ ¹³ C(CO ₂) 本底变化	夏玲君, 周凌晔, 刘立新, 张根 (1248)
梅雨期大学宿舍室内生物气溶胶浓度及粒径分布	刘婷, 李露, 张家泉, 占长林, 刘红霞, 郑敬茹, 姚瑞珍, 曹军骥 (1256)
城市黑臭水体空气微生物污染及健康风险	刘建福, 陈敬雄, 辜时有 (1264)
北京市典型室内外灰尘中重金属的粒径和季节变异特征及人体暴露评估	
..... 曹治国, 余刚, 吕香英, 王梦蕾, 李琦路, 冯精兰, 闫广轩, 余浩, 孙剑辉 (1272)	
西安市地表灰尘中多环芳烃分布特征与来源解析	王丽, 王利军, 史兴民, 卢新卫 (1279)
PDMS 基涂层活性炭对甲苯、苯和丙酮吸附研究	刘寒冰, 姜鑫, 王新, 杨兵, 薛南冬, 张石磊 (1287)
海南东北部滨海湿地沉积物微量元素分布特征、来源及污染评价	张卫坤, 甘华阳, 闭向阳, 王家生 (1295)
曹妃甸围填海土壤重金属积累的磁化率指示研究	薛勇, 周倩, 李远, 章海波, 胡雪峰, 骆永明 (1306)
滇南蒙自地区降水稳定同位素特征及其水汽来源	李广, 章新平, 许有鹏, 宋松, 王跃峰, 季晓敏, 项捷, 杨洁 (1313)
江苏省浅水湖泊表层沉积物重金属 GIS 空间分布及生态风险评价	李莹杰, 张列宇, 吴易雯, 李曹乐, 杨天学, 唐军 (1321)
城市景观水体甲基汞的形成机制及微宇宙模拟研究	刘小红, 司友斌, 郭子薇, 杜成竹, 朱聪聪 (1330)
我国北方温排水库——周村水库季节性热分层现象及其水质响应特性	
..... 曾明正, 黄廷林, 邱晓鹏, 王亚平, 史建超, 周石磊, 刘飞 (1337)	
额尔齐斯河源区融雪期积雪与河流的水化学特征	韦虹, 吴锦奎, 沈永平, 张伟, 刘世伟, 周嘉欣 (1345)
太原汾河景区浮游植物群落结构及其与环境因子关系分析	冯佳, 郭宇宁, 王飞, 吕俊平, 刘琪, 谢树莲, 程革, 张建民 (1353)
铜陵市河流沉积物中硝化和反硝化微生物分布特征	程建华, 窦智勇, 孙庆业 (1362)
基流对亚热带农业流域氮素输出的贡献研究	马秋梅, 李玮, 王毅, 刘新亮, 李勇, 吴金水 (1371)
重庆南山表层岩溶泉与地下河三氮运移及氮通量估算	张远瞩, 贺秋芳, 蒋勇军, 李勇 (1379)
山美水库沉积物氮磷和有机质污染特征及评价	邱祖凯, 胡小贞, 姚程, 张文慧, 许秋瑾, 黄天寅 (1389)
伊乐藻-固定化脱氮微生物技术对入贡河道脱氮机制的影响	韩华杨, 李正魁, 王浩, 朱倩 (1397)
环太湖不同性质河流水体磷的时空分布特征	高永霞, 宋玉芝, 于江华, 朱广伟 (1404)
藻类与扰动共存下水体中不同形态磷的数量分布规律	陈俊, 李勇, 李大鹏, 黄勇, 朱培颖 (1413)
扰动对悬浮颗粒物粒径及上覆水中磷形态分布的影响	郭俊锐, 李大鹏, 刘焱见 (1422)
铅改性高岭土覆盖对底泥与上覆水之间磷迁移转化的影响	章喆, 林建伟, 詹艳慧, 王虹 (1427)
电化学还原-氧化工艺降解 4-氯酚的毒性研究	王岩, 施钦, 王辉, 卞兆勇 (1437)
水合氧化铝负载的磁性核/壳结构 Fe ₃ O ₄ @SiO ₂ 纳米颗粒对水中磷的去除及再利用	
..... 赖立, 谢强, 方文侃, 邢明超, 吴德意 (1444)	
多环芳烃及其衍生物在北京典型污水处理厂中的存在及去除	乔梦, 齐维晓, 赵旭, 刘会娟, 曲久辉 (1451)
污水处理厂污泥水溶性有机物的光谱特性分析	牛天浩, 周振, 胡大龙, 魏海娟, 李晶, 窦微笑, 葛红花 (1460)
高含氟的光伏废水反硝化可行性及经济性分析	李祥, 朱亮, 黄勇, 杨朋兵, 崔剑虹, 马航 (1467)
连续流反应器短程硝化的快速启动与维持机制	吴鹏, 张诗颖, 宋吟玲, 徐乐中, 沈耀良 (1472)
反硝化颗粒污泥在纳米零价铁胁迫下的性能恢复	王翻翻, 钱飞跃, 沈耀良, 王建芳, 张月茹, 刘郭洵 (1478)
低浓度环丙沙星对曝气生物滤池生物膜硝化过程及硝化微生物的作用影响	
..... 何势, 顾超超, 魏欣, 黄圣琳, 刘振鸿, 薛罡, 高品 (1485)	
低碳源条件下改良双污泥系统脱氮除磷优化研究	
..... 杨伟强, 王冬波, 李小明, 杨麒, 徐秋翔, 张志贝, 李志军, 向海弘, 王亚利, 孙剑 (1492)	
短期保护性耕作措施对大豆-冬小麦轮作系统温室气体排放的影响	谢燕, 陈曦, 胡正华, 陈书涛, 张寒, 凌慧, 申双和 (1499)
不同封育年限荒漠草原土壤呼吸日、季动态变化及其影响因子	崔海, 张亚红 (1507)
塔里木盆地南缘典型绿洲土壤有机碳、无机碳与环境因子的相关性	贡璐, 朱美玲, 刘曾媛, 张雪妮, 解丽娜 (1516)
小分子有机酸对紫色土及其溶液中 Pb 的赋存影响	刘江, 江韬, 黄容, 张进忠, 陈宏 (1523)
鸢尾对石油烃污染土壤的修复以及根系代谢分析	王亚男, 程立娟, 周启星 (1531)
水锰矿氧化水溶性硫化物过程及其影响因素	罗瑶, 李珊, 谭文峰, 刘凡, 蔡崇法, 邱国红 (1539)
高温纤维素降解菌筛选及产酶特性	冯红梅, 秦永胜, 李筱帆, 周金星, 彭霞薇 (1546)
基于固相萃取及高效液相色谱-荧光检测分析的污泥中氟喹诺酮类抗生素研究方法的开发	
..... 戴晓虎, 薛勇刚, 刘华杰, 戴翎翎, 严寒, 李宁 (1553)	
养殖场周边土壤-蔬菜系统磺胺类药物残留及风险评价	金彩霞, 司晓薇, 王子英, 张琴文 (1562)
4 种典型 PPCPs 对蚕豆和大蒜根尖细胞微核率的影响	王兰君, 王金花, 朱鲁生, 王军, 赵祥 (1568)
新型污染物卤代吡啉的环境行为及生态毒理效应	林坤德, 陈艳秋, 袁东星 (1576)
水源地土壤环境保护优先区划分方法与实例研究	李蕾, 王铁宇, 王晓军, 肖荣波, 李奇峰, 彭驰, 韩存亮 (1584)
《环境科学》征订启事 (1218) 《环境科学》征稿简则 (1370) 信息 (1352, 1412, 1498)	

短期保护性耕作措施对大豆-冬小麦轮作系统温室气体排放的影响

谢燕^{1,2}, 陈曦², 胡正华^{1,2,3*}, 陈书涛^{2,3*}, 张寒², 凌慧², 申双和^{1,3}

(1. 南京信息工程大学气象灾害预报预警与评估协同创新中心, 南京 210044; 2. 南京信息工程大学应用气象学院, 南京 210044; 3. 南京信息工程大学江苏省农业气象重点实验室, 南京 210044)

摘要: 通过田间试验, 在大豆和冬小麦生长季, 进行常规翻耕 (conventional tillage, T)、免耕 (no-tillage with no straw cover, NT)、常规翻耕 + 秸秆 (conventional tillage with straw cover, TS)、免耕 + 秸秆 (no-till with straw cover, NTS) 4 种耕作措施处理, 采用静态箱-气相色谱法测定土壤-作物系统 CO₂ 和 N₂O 排放通量。结果表明: 在大豆生长季, 与 T 相比, NTS 在开花-结荚期显著增加了 CO₂ 累积排放量 ($P=0.045$), 增幅达 27.9%; NT 在鼓粒-成熟期显著降低了 CO₂ 累积排放量 ($P=0.043$), 降幅达 28.9%。与 T 相比, NT 在鼓粒-成熟期的 N₂O 累积排放量降低了 28.3% ($P=0.042$)。在冬小麦生长季, 与 T 相比, TS、NT 在拔节-孕穗期使 CO₂ 累积排放量降低了 24.3% ($P=0.032$) 和 36.0% ($P=0.041$), 在成熟期降低了 26.8% ($P=0.027$) 和 33.1% ($P=0.038$)。在返青期, NT、NTS、TS 的 N₂O 累积排放量与 T 比较均没有明显差异, NTS 比 NT 的 N₂O 累积排放量降低了 42.0% ($P=0.035$)。可见, 保护性耕作措施对土壤-作物系统 CO₂ 排放的影响较大, 对 N₂O 排放的影响不明显。

关键词: 保护性耕作; 土壤-作物系统; 温室气体; CO₂; N₂O

中图分类号: X144 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2016)04-1499-08 DOI: 10.13227/j.hjxx.2016.04.040

Effects of Short-time Conservation Tillage Managements on Greenhouse Gases Emissions from Soybean-Winter Wheat Rotation System

XIE Yan^{1,2}, CHEN Xi², HU Zheng-hua^{1,2,3*}, CHEN Shu-tao^{2,3*}, ZHANG Han², LING Hui², SHEN Shuang-he^{1,3}

(1. Collaborative Innovation Center on Forecast Meteorological Disaster Warning and Assessment, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China; 2. College of Applied Meteorology, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China; 3. Jiangsu Key Laboratory of Agricultural Meteorology, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China)

Abstract: Field experiments including one soybean growing season and one winter-wheat growing season were adopted. The experimental field was divided into four equal-area sub-blocks which differed from each other only in tillage managements, which were conventional tillage (T), no-tillage with no straw cover (NT), conventional tillage with straw cover (TS), and no-tillage with straw cover (NTS). CO₂ and N₂O emission fluxes from soil-crop system were measured by static chamber-gas chromatograph technique. The results showed that: compared with T, in the soybean growing season, NTS significantly increased the cumulative amount of CO₂ (CAC) from soil-soybean system by 27.9% ($P=0.045$) during the flowering-podding stage, while NT significantly declined CAC by 28.9% ($P=0.043$) during the grain filling-maturity stage. Compared with T, NT significantly declined the cumulative amount of N₂O (CAN) by 28.3% ($P=0.042$) during the grain filling-maturity stage. In the winter-wheat growing season, compared with T, TS and NT significantly declined CAC by 24.3% ($P=0.032$) and 36.0% ($P=0.041$) during the elongation-booting stage, and also declined CAC by 26.8% ($P=0.027$) and 33.1% ($P=0.038$) during the maturity stage. During the turning-green stage, compared with T treatment, NT, NTS, and TS treatments had no significant effect on CAN, while NTS significant declined CAN by 42.0% ($P=0.035$) compared with NT. Our findings suggested that conservation tillage managements had a more significant impact on CO₂ emission than N₂O emission from soil-crop system.

Key words: conservation tillage; soil-crop system; greenhouse gases; CO₂; N₂O

大气温室气体浓度增加导致全球气候变暖是重要的全球环境问题, CO₂ 是最主要温室气体, 对全球变暖的相对影响占到 50% ~ 60% 左右。N₂O 是一种

长效温室气体, 不仅能在大气中长时间滞留, 而且能参与多种光化学反应从而破坏平流层的臭氧层, 其增温效应是 CO₂ 的 296 ~ 310 倍, 农田生态系统排放

收稿日期: 2015-08-07; 修订日期: 2015-12-07

基金项目: 国家自然科学基金项目(41175136, 41375006); 江苏省大学生实践创新计划项目(201510300014); 江苏省高校“青蓝工程”项目(2014); 江苏省“六大人才高峰”项目(2014-NY-015)

作者简介: 谢燕(1991~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为农田地气碳氮交换与全球变化, E-mail: XieYanNJY@qq.com

* 通讯联系人, E-mail: zhhu@nuist.edu.cn; chenstyf@aliyun.com

的 N_2O 占全球人为排放量的近 60%^[1].

作为温室气体重要源汇的农田生态系统,合适的耕作方式可以促进碳氮减排从而缓解温室效应. 保护性耕作自 20 世纪 30 年代起源于美国后,发展至今已有 80a 左右. 其主要通过少耕或免耕方式减少对土壤的扰动,同时用作物残渣、秸秆等增加土壤表面覆盖,来增加土壤有机质量和碳含量,从而控制温室气体的排放^[2]. 保护性耕作通过改变土壤结构、有机质、含水量等理化性质来改变土壤微生物数量^[3]、酶的活性^[4],进而影响农田温室气体排放^[5].

由于农田温室气体的排放受多种条件如水分^[6]、温度^[7,8]、土壤性质^[9,10]和作物种类^[11]的影响,目前保护性耕作对农田温室气体排放的作用尚没有一致的结论. 一般认为:免耕能够减少 CO_2 排放,秸秆覆盖能够增加 CO_2 排放,但对 N_2O 则没有统一的结论^[12]. 免耕减少了土壤扰动,增加了土壤含水量和有机碳含量,从而减少 CO_2 排放,但由于受到免耕持续时间、温度、降雨等的影响,也存在不同的结论^[13]. 秸秆覆盖能够通过增加土壤 C/N、土壤温度和水分,同时改变土壤理化性质和土壤微生物等来增加 CO_2 排放. 有关免耕或秸秆覆盖对 N_2O 排放影响的研究结果,有的是增加有的是减少也有些是没有显著差异,原因是 N_2O 排放的影响因素很多,且与气候、环境条件和土壤质地等存在交

互现象,使得在不同区域研究得出的结论不尽相同^[9].

以往研究工作多关注免耕、施肥等单因素影响,本研究开展大豆-冬小麦轮作田间试验,采用 4 种不同耕作措施处理,分别为常规翻耕、免耕、常规翻耕 + 秸秆、免耕 + 秸秆,研究保护性耕作对土壤-作物系统 CO_2 和 N_2O 排放的影响,探讨保护性耕作对土壤-作物系统 CO_2 和 N_2O 排放的影响特征. 由于不同的地理位置和气候条件会有不一样的温室气体排放规律,本实验为长江中下游地区农田温室气体排放和农田减排提供依据,以期为评价保护性耕作的生态效益和农田生态系统温室气体排放趋势提供科学依据.

1 材料与方法

1.1 实验地点与田间管理

田间试验于大豆和冬小麦生长季在南京信息工程大学农业气象与生态试验站进行. 供试土壤为潞育型水稻土(灰马肝土属),土壤质地为壤质黏土,耕层土壤黏粒含量为 26.1%,有机碳和全氮的含量分别为 $14.98 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $0.77 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,C:N 比为 19,土壤容重 $1.57 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$,土壤 pH(H_2O)为 6.1. 供试冬小麦品种为宁麦 12 号,大豆品种为八月白. 作物主要生育期和肥料管理见表 1.

表 1 大豆和冬小麦主要生育期与肥料管理

Table 1 Main growth stages and fertilization schedules of soybean and winter wheat

日期	大豆	日期	冬小麦
2010-07-02	播种(施复合肥作基肥,施肥量 $230 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 含 N 18%, P_2O_5 46%)	2010-11-03	播种(施复合肥作基肥,施肥量 $230 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 含 N 18%, P_2O_5 46%)
2010-07-06	出苗	2010-12-28	出苗
2010-07-11	三叶期	2011-01-16	施越冬肥(复合肥,施肥量 $400 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 含 N 18%, P_2O_5 46%,)
2010-07-26	分枝	2011-02-04	返青
2010-08-17	开花	2011-02-21	施返青肥(尿素,施肥量 $210 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)
2010-09-01	结荚	2011-03-17	拔节
2010-09-14	鼓粒	2011-04-09	孕穗
2010-10-16	收获	2011-04-17	抽穗
		2011-04-23	扬花
		2011-04-28	灌浆
		2011-06-01	收获

1.2 实验设计

将 $17 \times 5 \text{ m}^2$ 的地块分为 4 个实验样地,耕作措施分别为:常规翻耕(T)、免耕(NT)、常规翻耕 + 秸秆施用(TS)、免耕 + 秸秆覆盖(NTS). 每个样地又划分为 3 个实验小区,共 12 个实验小区. 大豆生长季所施用秸秆为冬小麦秸秆,冬小麦生长季所施

用秸秆为水稻秸秆,秸秆施用量(以干重计)均为 $2\,250 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$. 将秸秆切为 2~3 cm 长度的小段,NTS 处理的秸秆均匀覆盖在土壤上,TS 处理的秸秆先均匀铺在地表,然后翻耕到土壤中. 翻耕是人工翻耕,深度为 15 cm. 灌溉、施肥、除草等管理措施均相同.

1.3 气体采集与分析

气体采集与分析采用静态箱-气相色谱法^[14], 采样底座是直径为 22 cm, 高为 10 cm 的圆形无底盆钵, 上口有 1.5 cm 深的凹槽, 用以注水密封采样箱, 为避免边缘效应底座安装在小区中间. 采样箱为高 1 m 的 PVC 圆柱, 采样箱外包有一层海绵并覆盖铝箔以减小采样期间由于太阳辐射而造成的箱内温度变化. 采样时把采样箱罩在底座上, 连接好采气针筒和温度计, 加水密封, 于关箱后 0、10、20 min 用带有三通阀的医用针筒采集气体, 先抽推针筒 4~5 次, 以混匀箱内气体, 然后采集气样 50 mL. 同时记录箱内温度, 并用 WET-2 土壤温度水分电导率速测仪 (Delta-T Devices Ltd., Cambridge, UK) 测定 5 cm 深土壤温湿度. 采样从上午 08:00 开始, 每轮用 6 个采样箱进行采样, 两轮即完成 12 个实验小区的气样采集, 气体采样工作在 1 h 内完成. 大豆生长季每周采集气样 2 次 (在鼓粒-成熟期每周 1 次), 冬小麦生长季每周采集气样 1 次.

气样用经改装的 Agilent-6890N 气相色谱仪同步检测 CO₂ 和 N₂O 的混合比, 再根据大气压、气温、普适气体常数、采样箱的有效高度、目标气体分子量等, 求得单位面积的排放量^[15]. 通过积分求得全生育期 CO₂ 和 N₂O 的累积排放量. 气体通量的计算是以假定采样箱横截面积为 A , 有效高度为 H , 则箱内空气体积 $V = AH$. 采样箱的有效高为地表至箱顶的高度. 温室气体的排放通量 F (以 CO₂ 为例) 为:

$$F = \rho V \frac{dc}{dt} \frac{1}{A} = \frac{mP}{R(273 + T)} \frac{V}{A} \frac{dc}{dt} = H \frac{mP}{R(273 + T)} \frac{dc}{dt} \quad (1)$$

式中, ρ 为 CO₂ 的密度 (g·L⁻¹), m 为 CO₂ 的摩尔质量 (g·mol⁻¹), R 为普适气体常数 [8.314 J·(mol·K)⁻¹], T 为采样时箱内平均气温 (°C). P 为采样点大气压力, 通常视为标准大气压, 即 $P = 1.013 \times 10^5$ Pa. 由于气压随海拔高度而变, 因此对于高海拔区需将实际气压代入上式. 把有关常数代入式(1)中, 经整理可得到温室气体的排放通量 F 的计算式为:

$$F = 60H \frac{44 \times 1.013}{8.314 \times (273 + T)} \frac{dc}{dt} \quad (2)$$

式中, F 为 CO₂ 的排放通量 [mg·(m²·h)⁻¹], dc/dt 为温室气体释放速率 [μL·(L·min)⁻¹]. 若排放速率 dc/dt 的单位为 [nL·(L·min)⁻¹], 则排放通量的

单位为 μg·(m²·h)⁻¹. 常数 60 为时间换算, 从分转换为小时. H 为采样箱的有效高度 (cm), T 为采样时箱内平均气温 (°C), 常数 44 为 CO₂ 的摩尔质量 (g·mol⁻¹).

1.4 统计方法

利用 Excel 2010 来计算土壤-作物系统的 CO₂ 和 N₂O 排放通量及累积排放量, 用 SPSS 17.0 (SPSS Inc., Chicago, USA) 对不同处理的 CO₂ 和 N₂O 累积排放量进行方差分析, 分析不同处理间的 CO₂ 和 N₂O 排放量的差异及显著性.

2 结果与分析

2.1 保护性耕作对土壤-大豆系统 CO₂ 排放的影响

2.1.1 CO₂ 排放通量的季节性规律

图 1 为土壤-大豆系统 CO₂ 排放通量的季节性变化. 各处理 CO₂ 排放通量变化模式基本一致. 在三叶-分枝期时土壤-大豆系统的 CO₂ 排放通量逐渐增加, 于开花-结荚期达到峰值, 在成熟后期又逐渐降低.

2.1.2 CO₂ 累积排放量

图 2 是不同生育期土壤-大豆系统的 CO₂ 累积排放量. 与 T 相比, NT 处理使 3 个生育期的 CO₂ 累积排放量分别降低了 14.5%、18.7%、28.9%, 只在鼓粒-成熟期的达到了显著差异水平 ($P = 0.043$); NTS 在三叶-分枝期的 CO₂ 累积排放量略多了 12.2% ($P > 0.05$), 使开花-结荚期的 CO₂ 累积排放量显著增加了 27.9% ($P = 0.045$); 在 3 个生育期, TS 处理都没有显著改变 CO₂ 累积排放量 ($P > 0.05$).

与 NT 相比, NTS 的 CO₂ 累积排放量在三叶-分枝期和开花-结荚期分别显著增加了 31.3% ($P = 0.037$) 和 57.3% ($P = 0.004$), TS 在开花-结荚期和鼓粒-成熟期分别增加了 32.5% ($P = 0.038$) 和 65.0% ($P = 0.027$). 从图 2 可见 NT 的 CO₂ 累积排放量在每个生育期均是最小的.

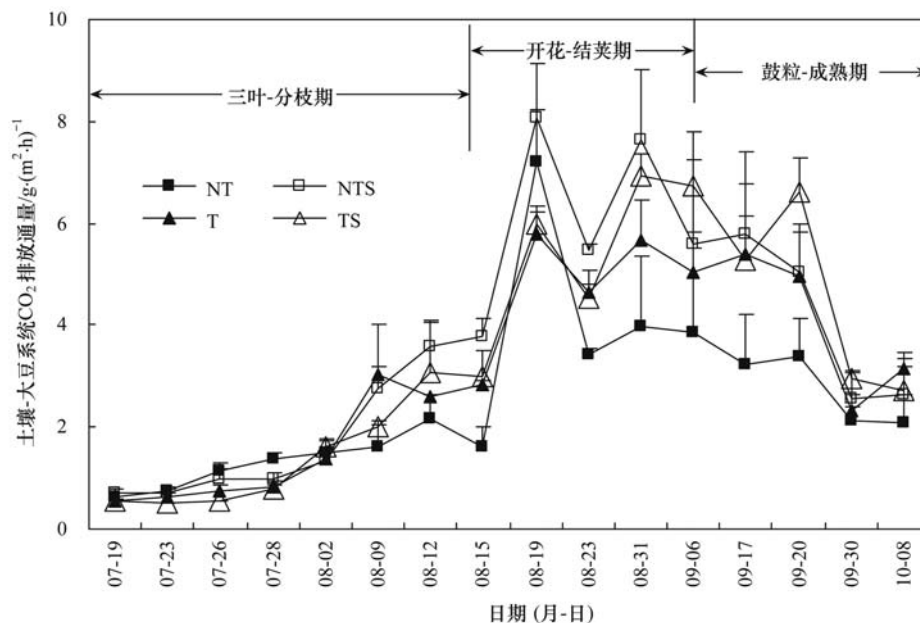
2.2 保护性耕作对土壤-冬小麦系统 CO₂ 排放的影响

2.2.1 CO₂ 排放通量的季节性规律

由图 3 可见, 各处理的 CO₂ 排放通量季节性差异不大, 均呈现先增加后下降的趋势. 在返青期 CO₂ 排放通量较低, 随着气温回升和作物生长, CO₂ 排放通量逐渐增大, 至抽穗-灌浆期到达峰值. 随着作物成熟 CO₂ 排放通量又逐渐降低.

2.2.2 CO₂ 累积排放量

图 4 为不同生育期的土壤-冬小麦系统 CO₂ 累积排放量. 与 T 相比, TS、NT、NTS 的 CO₂ 累积排



误差线为标准差 SD, 下同

图 1 保护性耕作对大豆生长季 CO_2 排放通量的影响

Fig. 1 Effect of conservation tillage on CO_2 emission fluxes in the soybean-growing season

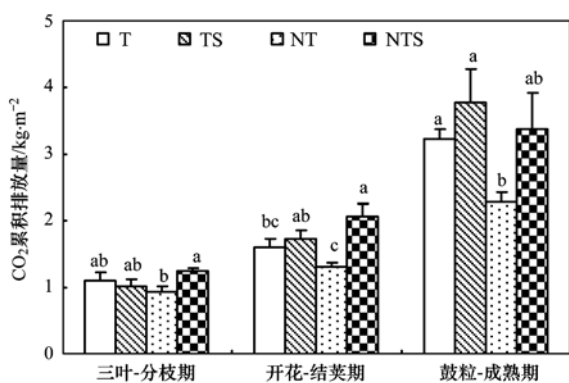


图 2 保护性耕作对大豆不同生育期 CO_2

累积排放量的影响

Fig. 2 Effect of conservation tillage on the cumulative amount of CO_2 during the different soybean-growing stages

排放量总体上均低于 T, 除 TS 在抽穗-灌浆期略高 ($P > 0.05$) 外. 在返青期, NTS 与 TS 相比, CO_2 累积排放量增加了 38.8% ($P = 0.042$); 在拔节-孕穗期, TS、NT 与 T 相比均降低了 CO_2 累积排放量, 降幅分别为 24.3% ($P = 0.032$) 和 36.0% ($P = 0.041$); 在抽穗-灌浆期, 各处理间没有显著性差异, TS 比 T 略高但未达显著水平 ($P > 0.05$); 在成熟期, TS、NT 的 CO_2 累积排放量比 T 降低了 26.8% ($P = 0.027$) 和 33.1% ($P = 0.038$).

2.3 保护性耕作对土壤-大豆系统 N_2O 排放的影响
与 T 相比, TS 的 N_2O 累积排放量总体上略低于

T, 但未达到显著水平 ($P > 0.05$) (图 5); NT 在三叶-分枝期的 N_2O 累积排放量略多于 T ($P > 0.05$), 在开花-结荚期略少于 T ($P > 0.05$), 只在鼓粒-成熟期显著降低 28.3% ($P = 0.042$); NTS 在鼓粒-成熟期略大于 T, 但在每个生育期上都没有明显影响 ($P > 0.05$).

在开花-结荚期, TS 比 NT 降低了 14.7% ($P = 0.042$); 在鼓粒-成熟期, TS 比 NTS 降低了 28.4% ($P = 0.043$), NT 比 NTS 降低了 33.5% ($P = 0.022$), 其他则无显著性差异.

2.4 保护性耕作对土壤-冬小麦系统 N_2O 排放的影响

图 6 为不同生育期土壤-冬小麦 N_2O 累积排放量. 从中可以看出, 在返青期, NT、TS 的系统 N_2O 累积排放量与 T 差异不大, NTS 比 NT 的降低了 42.0% ($P = 0.035$); 其他生育期 4 种处理间的 N_2O 累积排放量均未达到显著差异 ($P > 0.05$).

2.5 土壤温湿度与 CO_2 和 N_2O 排放的关系

图 7 显示了土壤温湿度与 CO_2 、 N_2O 排放通量的关系. 在土壤-作物系统中 CO_2 排放通量与土壤温湿度存在显著的指数关系, 大豆田 NT、T 的 CO_2 排放通量与土壤温度的 R^2 为 0.649 ($P = 0.01$) 和 0.627 ($P = 0.000$), 方程为 $y = 224.7e^{0.05776x}$ 和 $y = 336.7e^{0.05412x}$. 冬小麦田 NT 的 CO_2 排放通量与土壤湿度的 R^2 为 0.602 ($P = 0.007$), 方程为 $y = 4706$

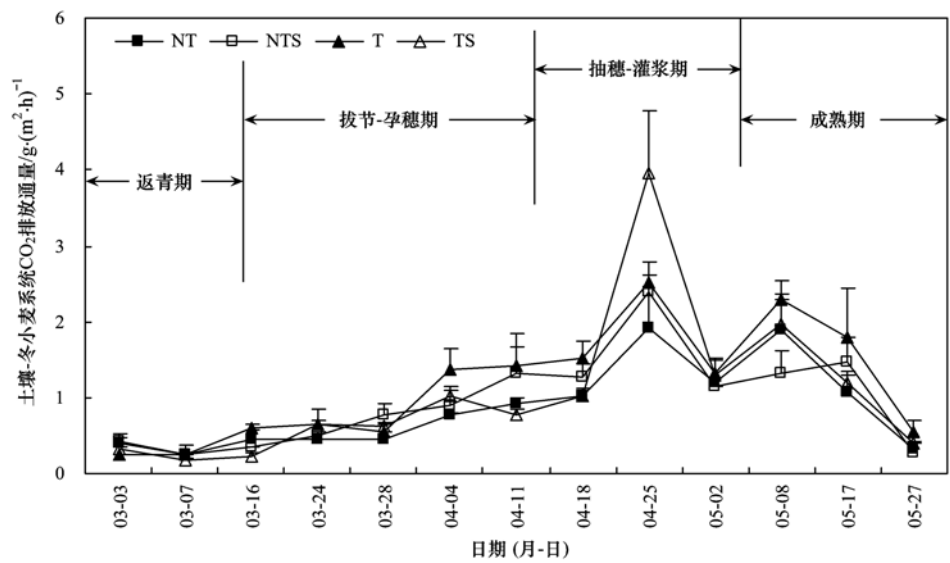


图3 保护性耕作对冬小麦生长季 CO₂ 排放通量的影响

Fig. 3 Effect of conservation tillage on CO₂ emission fluxes in the winter-wheat growing season

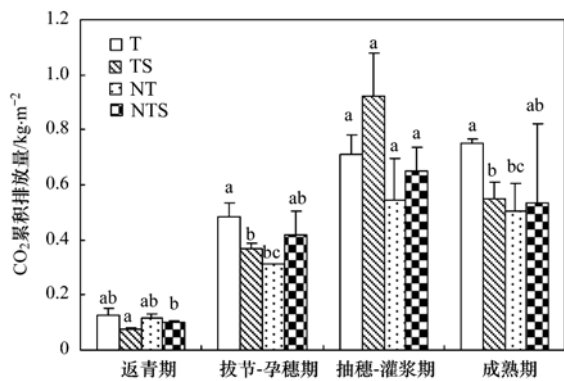


图4 保护性耕作对冬小麦不同生育期 CO₂ 累积排放量的影响

Fig. 4 Effect of conservation tillage on the cumulative amount of CO₂ during the different winter-wheat growing stages

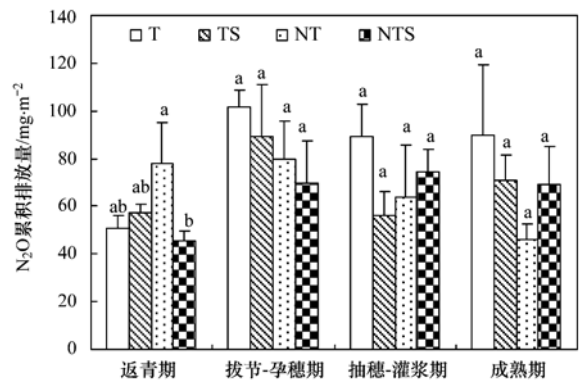


图6 保护性耕作对冬小麦不同生育期 N₂O 累积排放量的影响

Fig. 6 Effect of conservation tillage on the cumulative amount of N₂O during the different winter-wheat growing stages

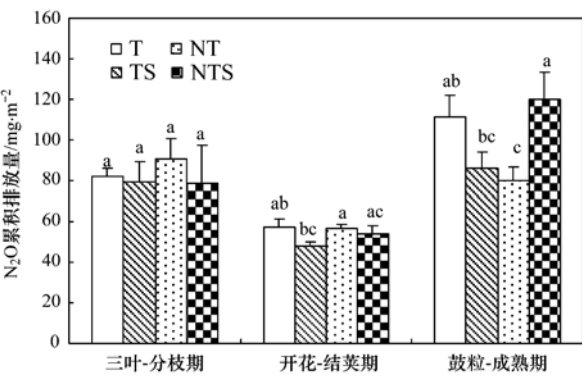


图5 保护性耕作对大豆不同生育期 N₂O 累积排放量的影响

Fig. 5 Effect of conservation tillage on the cumulative amount of N₂O during the different soybean-growing stages

$e^{-0.1357x}$. 冬小麦田 4 种处理的 CO₂ 排放通量与土壤湿度存在负相关,可能是冬季土壤湿度高但土壤

温度低的原因. 4 种处理的 N₂O 排放通量与土壤温湿度的指数关系拟合度不是很好,部分存在弱相关性(R^2 在 0.2 ~ 0.4 之间).

3 讨论

3.1 保护性耕作对土壤-作物系统 CO₂ 排放的影响

与常规耕作 T 相比,NT 在鼓粒-成熟期显著降低了土壤-大豆系统 CO₂ 累积排放量($P = 0.043$),原因可能是免耕减少了对土壤的扰动,使土壤有机碳减少暴露并减缓其降解速度,减少了土壤 CO₂ 的释放,最终降低了土壤 CO₂ 排放量^[16];作物在成熟期呼吸作用减弱,排放的 CO₂ 也减少,导致土壤-大豆系统 CO₂ 排放通量在此阶段降低. NTS 在开花-结荚期显著增加了土壤-大豆系统的 CO₂ 累积排放量($P = 0.045$),由于免耕和秸秆覆盖能更有效地

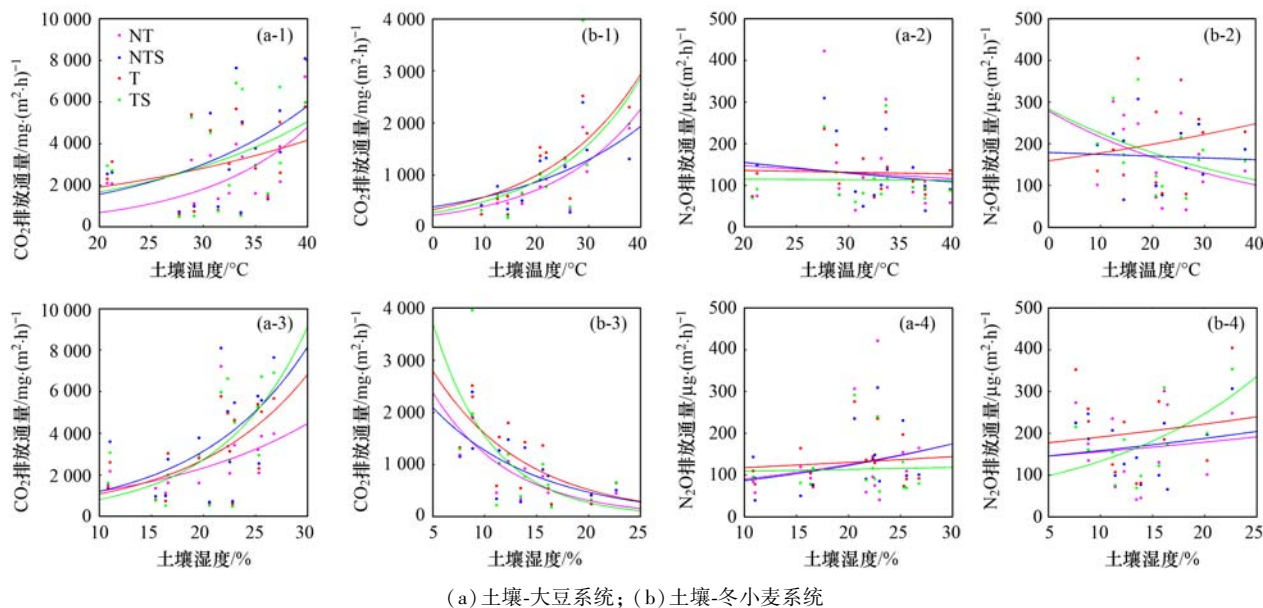


图7 土壤温湿度与 CO_2 和 N_2O 排放通量的关系

Fig. 7 Relationship between soil temperature (soil humidity) and CO_2 (N_2O) emissions fluxes

保持土壤水分和有机碳^[17], Lenka 等^[18]认为秸秆覆盖增加土壤表层的水稳性团聚体含量,从而增加土壤水分促进 CO_2 排放,并且夏季气温较高而有利于土壤微生物的分解活动,加快了秸秆的分解速率导致了 CO_2 排放通量的增加. TS 在整个生长季度上 CO_2 排放通量是在逐渐增加,但是都没有与 T 形成显著差异 ($P > 0.05$),这正和 Kessavalou 等^[19]阐述的一致,耕作时间的长短会对土壤产生不同效应. 本实验耕作时间较短,可能导致相应的效应还未显现. 图2中显示了与 NT 相比,NTS 在三叶-分枝期 ($P = 0.037$) 和开花-结荚期 ($P = 0.004$) 均显著增加了 CO_2 排放通量; TS 则在开花-结荚期 ($P = 0.038$) 和鼓粒-成熟期 ($P = 0.027$) 显著增加了 CO_2 排放通量;从整个生长季来看,NT 的 CO_2 排放通量是其他3种处理中最低的. 由此可知,免耕处理相比于 TS、NTS 有助于减少 CO_2 的排放,秸秆添加则增加了 CO_2 的排放,这与大多数前人的研究是一致的.

就土壤-冬小麦系统来说,与常规耕作 T 比较,TS、NT、NTS 的系统 CO_2 累积排放量总体上均低于 T,除 TS 在抽穗-灌浆期略高 ($P > 0.05$) 外; TS 和 NT 在拔节-孕穗期和成熟期显著降低了系统 CO_2 累积排放通量,TS 在拔节-孕穗期和成熟期的降幅分别为 24.3% ($P = 0.032$) 和 26.8% ($P = 0.027$),NT 则分别为 36.0% ($P = 0.041$) 和 33.1% ($P = 0.038$). 两者相比,还是 NT 的降幅更大,表示免耕更有助于减少 CO_2 的排放,秸秆覆盖相比较常规翻耕提高了土壤固碳力,减少了总的 CO_2 排放,这与

胡立峰等^[20]的研究结果是一致的. 可能是由于免耕减少了土壤有机碳的暴露^[21],从而导致系统排放的 CO_2 通量降低. 与常规耕作 T 相比,NTS 的土壤-冬小麦系统 CO_2 排放通量也是逐渐增加在抽穗期达到峰值后又逐渐减少,但均没有达到显著水平 ($P > 0.05$),只在返青期与 TS 相比,显著增加了 CO_2 排放量. 与 T 无显著差异原因是虽然秸秆施用能使农田土壤保水性增加,有机碳含量增加,但是冬小麦实验处于冬春季,气温不高,可能尚未使土壤酶达到最佳活性和土壤微生物分解的最快速率,使得秸秆分解缓慢或者分解较少部分,实验进程中秸秆还未完全分解.

3.2 保护性耕作对土壤-作物系统 N_2O 排放的影响

黄耀^[14]和 Bouwman^[22]提出肥料的施用会促进生物固氮,土壤微生物获得大量氮源,促进硝化-反硝化作用,导致 N_2O 排放量增加. 由此考虑土壤-大豆作物系统初期产生峰值的原因可能与施肥和降水有关,这与 Mu 等^[23]在日本的观测结果一致. 而后期产生峰值可能与衰老死亡的根系含有较高氮量,其分解排放大量 N_2O 有关^[24]. 作物根系分泌物和残留物的降解为土壤微生物创造了优势,促进了反硝化作用,增加了系统 N_2O 排放量^[25,26]. 这与 Velthof 等^[27]指出的含氮量高的植物残体显著促进土壤 N_2O 排放相一致. 同时大豆生长季为夏季,土壤温度、水分适宜,土壤酶、土壤微生物活性较高,进一步促进了硝化反硝化作用.

3月7日 NTS、TS 土壤-冬小麦 N_2O 排放通量

较 3 月 3 日的值略有下降, T、NT 则呈上升的趋势, 这可能与温度、水分相关。冬小麦实验时温度较低, 虽然一般秸秆施用会增加土壤 N_2O 排放量, 但是受到低温影响土壤微生物分解速率降低, 外加上土壤水分不充足, 硝化反硝化作用减弱, 系统 N_2O 排放减少。土壤 N_2O 排放与水分、温度等因素密切相关。Abdalla 等^[28] 指出气候条件与土壤性质对 N_2O 排放存在着交互作用。土壤水分增加导致土壤通透性变差, O_2 含量减少, 促进了反硝化作用, 增加了 N_2O 排放量^[6]。考虑土壤-冬小麦系统 N_2O 排放量形成两个峰值的原因是由于天气原因, 在 4 月 4 ~ 18 日期间几乎没有降雨, 其它两个采样时区中降雨量较多, 所以形成了两个峰值。

在土壤-大豆系统中, 与常规耕作 T 相比, NT 在鼓粒-成熟期显著降低了系统 N_2O 排放通量 ($P = 0.042$), 相比于免耕, 常规耕作的土壤疏松, 透气透水性更好, 有利于气体的迁移和扩散, 同时常规耕作使得深层的土壤有机物等向土壤表层迁移, 干湿交替促进了 N_2O 的排放^[29]。在开花-结荚期 NT 比 TS 显著增加了系统 N_2O 排放通量 ($P = 0.042$) 主要考虑是 TS 土壤疏松, 虽然增加了秸秆覆盖, 但是遭遇连续阴雨天气后容易表面土壤板结, 影响土壤气体排放, 有机质也不能下渗, 微生物没有足够的有机质用来进行硝化反硝化作用, 相对于免耕通透性较差就减少了 N_2O 排放, 同时免耕透气性较好, 促进了硝化作用, 增加了 N_2O 排放。在鼓粒-成熟期与 NTS 相比, NT ($P = 0.022$) 和 TS ($P = 0.043$) 显著降低了系统 N_2O 排放通量, 而且 NT 降幅更大一些。可能是秸秆覆盖增加了土壤保水力, 增强了土壤理化性质, 为硝化反硝化作用提供足够的碳氮源, 所以 NTS 比 NT 增加了 N_2O 排放。NTS 比 TS 排放更多的 N_2O 主要是由于免耕能促进较强的硝化作用引起的^[30]。

在土壤-冬小麦系统中, 只在返青期时, NTS 比 NT 降低了系统 N_2O 排放通量 ($P = 0.035$), 免耕加秸秆覆盖相比于免耕, 增加了土壤 C/N 比, 而较高的 C/N 可能会使得系统 N_2O 排放通量降低^[31]。在土壤-冬小麦系统中, NT、NTS、TS 与常规耕作 T 相比, 土壤-冬小麦系统 N_2O 累积排放通量没有显著的差异性, 可能由于保护性耕作处理时间较短, 还未形成明显影响, 所以处理间的差异不明显。

4 结论

(1) 在土壤-大豆系统中, 与常规耕作 (T) 相比, 免耕 (NT) 在鼓粒-成熟期显著降低了 CO_2 累积

排放量; 免耕 + 秸秆 (NTS) 在开花-结荚期显著增加了 CO_2 累积排放量; 翻耕 + 秸秆 (TS) 则无显著差异。与 NT 相比, NTS 在三叶-分枝期和开花-结荚期均显著增加 CO_2 累积排放量, TS 则在开花-结荚期和鼓粒-成熟期显著增加 CO_2 累积排放量。整个生育期, NT 的 CO_2 累积排放量最小。在土壤-冬小麦系统中, 与 T 相比, TS、NT 在拔节-孕穗期和成熟期显著降低了 CO_2 累积排放量。

(2) 在土壤-大豆系统, 与常规耕作 T 相比, NT 在鼓粒-成熟期显著降低了 N_2O 累积排放量。在土壤-冬小麦系统, 与 NT 相比, NTS 显著降低了返青期 N_2O 累积排放量, 而其他生育期, 各处理均没有改变 N_2O 排放量。

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 [M]. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2007. 141-212.
- [2] Lal R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security [J]. Science, 2004, **304** (5677): 1623-1627.
- [3] 王芸, 李增嘉, 韩宾, 等. 保护性耕作对土壤微生物量及活性的影响 [J]. 生态学报, 2007, **27** (8): 3384-3390.
- [4] 杨江山, 张恩和, 黄高宝, 等. 保护性耕作对麦药轮作土壤酶活性和微生物数量的影响 [J]. 生态学报, 2010, **30** (3): 824-829.
- [5] 张赛, 王龙昌, 黄召存, 等. 保护性耕作下小麦田土壤呼吸及碳平衡研究 [J]. 环境科学, 2014, **35** (6): 2419-2425.
- [6] 李香兰, 徐华, 蔡祖聪. 水分管理影响稻田氧化亚氮排放研究进展 [J]. 土壤, 2009, **41** (1): 1-7.
- [7] 蔡立群, 王娟, 罗珠珠, 等. 不同耕作条件下豆麦双序列轮作农田土壤温室气体的排放及影响因素研究 [J]. 中国生态农业学报, 2013, **21** (8): 921-930.
- [8] 王娟, 蔡立群, 张仁陟, 等. 不同耕作措施下豆麦双序列轮作农田温室气体的排放特征及其增温潜势 [J]. 土壤通报, 2013, **44** (1): 57-63.
- [9] 李英臣, 侯翠翠, 李勇, 等. 免耕和秸秆覆盖对农田土壤温室气体排放的影响 [J]. 生态环境学报, 2014, **23** (6): 1076-1083.
- [10] 李海防, 夏汉平, 熊燕梅, 等. 土壤温室气体产生与排放影响因素研究进展 [J]. 生态环境, 2007, **16** (6): 1781-1788.
- [11] 王重阳, 郑靖, 顾江新, 等. 下辽河平原几种旱作农田 N_2O 排放通量及相关影响因素的研究 [J]. 农业环境科学学报, 2006, **25** (3): 657-663.
- [12] 薛建福, 赵鑫, Dikgwatlhe S B, 等. 保护性耕作对农田碳、氮效应的影响研究进展 [J]. 生态学报, 2013, **33** (19): 6006-6013.
- [13] 张军科, 郝庆菊, 江长胜. 免耕方式下土壤温室气体排放及影响因素的研究进展 [J]. 土壤通报, 2011, **42** (1): 236-242.

- [14] 黄耀. 地气系统碳氮交换——从实验到模型[M]. 北京: 气象出版社, 2003.
- [15] 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.
- [16] Ussiri D A N, Lal R. Long-term tillage effects on soil carbon storage and carbon dioxide emissions in continuous corn cropping system from an alfisol in Ohio[J]. *Soil and Tillage Research*, 2009, **104**(1): 39-47.
- [17] 姜学兵, 李运生, 欧阳竹, 等. 免耕对土壤团聚体特征以及有机碳储量的影响[J]. *中国生态农业学报*, 2012, **20**(3): 270-278.
- [18] Lenka N K, Lal R. Soil aggregation and greenhouse gas flux after 15 years of wheat straw and fertilizer management in a no-till system[J]. *Soil and Tillage Research*, 2013, **126**: 78-89.
- [19] Kessavalou A, Drijber R A, Mosier A R, *et al.* Fluxes of carbon dioxide, nitrous oxide, and methane in grass sod and winter wheat-fallow tillage management[J]. *Journal of Environmental Quality*, 1998, **27**(5): 1094-1104.
- [20] 胡立峰, 李洪文, 高焕文, 等. 保护性耕作对温室效应的影响[J]. *农业工程学报*, 2009, **25**(5): 308-312.
- [21] 武均, 蔡立群, 齐鹏, 等. 不同耕作措施下旱作农田土壤团聚体中有机碳和全氮分布特征[J]. *中国生态农业学报*, 2015, **23**(3): 276-284.
- [22] Bouwman A F. Direct emission of nitrous oxide from agricultural soils[J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 1996, **46**(1): 53-70.
- [23] Mu Z J, Kimura S D, Toma Y, *et al.* Nitrous oxide fluxes from upland soils in central Hokkaido, Japan[J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2008, **20**(11): 1312-1322.
- [24] Hou A X, Tsuruta H. Nitrous oxide and nitric oxide fluxes from an upland field in Japan: effect of urea type, placement, and crop residues[J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2003, **65**(2): 191-200.
- [25] Bouwman A F, Boumans L J M, Batjes N H. Emissions of N_2O and NO from fertilized fields: summary of available measurement data[J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 2002, **16**(4): 6-1-6-13.
- [26] Philippot L, Hallin S, Börjesson G, *et al.* Biochemical cycling in the rhizosphere having an impact on global change[J]. *Plant and Soil*, 2009, **321**(1-2): 61-81.
- [27] Velthof G L, Kuikman P J, Oenema O. Nitrous oxide emission from soils amended with crop residues[J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2002, **62**(3): 249-261.
- [28] Abdalla M, Osborne B, Lanigan G, *et al.* Conservation tillage systems: a review of its consequences for greenhouse gas emissions[J]. *Soil Use and Management*, 2013, **29**(2): 199-209.
- [29] 许艳艳, 武兰芳, 李彬彬, 等. 不同耕作措施下土壤 N_2O 排放及其农学效率[J]. *中国生态农业学报*, 2015, **23**(11): 1349-1358.
- [30] Oorts K, Merckx R, Gréhan E, *et al.* Determinants of annual fluxes of CO_2 and N_2O in long-term no-tillage and conventional tillage systems in northern France[J]. *Soil and Tillage Research*, 2007, **95**(1-2): 133-148.
- [31] 黄光辉, 张明园, 陈阜, 等. 耕作措施对华北地区冬小麦田 N_2O 排放的影响[J]. *农业工程学报*, 2011, **27**(2): 167-173.

CONTENTS

Chemical Characteristics of Particulate Matters and Trajectory Influence on Air Quality in Shanghai During the Heavy Haze Episode in December, 2013	ZHOU Min, QIAO Li-ping, ZHU Shu-hui, <i>et al.</i> (1179)
Analysis of Single Particle Aging and Mixing State at an Agriculture Site (Quzhou) in the North China Plain in Summer Using a Single Particle Aerosol Mass Spectrometer	HUANG Zi-long, ZENG Li-min, DONG Hua-bin, <i>et al.</i> (1188)
Investigation of Aerosol Mixed State and CCN Activity in Nanjing	ZHU Lin, MA Yan, ZHENG Jun, <i>et al.</i> (1199)
Characteristics of Number Concentration Size Distributions of Aerosols Under Different Weather Processes in Beijing	SU Jie, ZHAO Pu-sheng, CHEN Yi-na (1208)
Temporal and Spatial Distribution Characteristics of PM _{2.5} in Chongqing Urban Areas	LIU Yong-lin, SUN Qi-min, ZHONG Ming-yang, <i>et al.</i> (1219)
Comparison of Monitoring Methods of Organic Carbon and Element Carbon in Atmospheric Fine Particles	PANG Bo, JI Dong-sheng, LIU Zi-rui, <i>et al.</i> (1230)
Residue Characteristics of Perfluorinated Compounds in the Atmosphere of Shenzhen	HE Peng-fei, ZHANG Hong, LI Jing, <i>et al.</i> (1240)
Monitoring Atmospheric CO ₂ and δ ¹³ C(CO ₂) Background Levels at Shangdianzi Station in Beijing, China	XIA Ling-jun, ZHOU Ling-xi, LIU Li-xin, <i>et al.</i> (1248)
Concentration and Size Distribution of Bioaerosols in Indoor Environment of University Dormitory During the Plum Rain Period	LIU Ting, LI Lu, ZHANG Jia-quan, <i>et al.</i> (1256)
Air Microbial Pollution and Health Risk of Urban Black Odorous Water	LIU Jian-fu, CHEN Jing-xiong, GU Shi-you (1264)
Particle Size Distribution, Seasonal Variation Characteristics and Human Exposure Assessment of Heavy Metals in Typical Settled Dust from Beijing	CAO Zhi-guo, YU Gang, LÜ Xiang-ying, <i>et al.</i> (1272)
Distribution Characteristics and Source Analysis of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Surface Dust of Xi'an City, China	WANG Li, WANG Li-jun, SHI Xing-min, <i>et al.</i> (1279)
Toluene, Benzene and Acetone Adsorption by Activated Carbon Coated with PDMS	LIU Han-bing, JIANG Xin, WANG Xin, <i>et al.</i> (1287)
Distribution Characteristics, Sources and Pollution Assessment of Trace Elements in Surficial Sediments of the Coastal Wetlands, Northeastern Hainan Island	ZHANG Wei-kun, GAN Hua-yang, BI Xiang-yang, <i>et al.</i> (1295)
Heavy Metals Accumulation in the Caofeidian Reclamation Soils: Indicated by Soil Magnetic Susceptibility	XUE Yong, ZHOU Qian, LI Yuan, <i>et al.</i> (1306)
Characteristics of Stable Isotopes in Precipitation and Their Moisture Sources in Mengzi Region, Southern Yunnan	LI Guang, ZHANG Xin-ping, XU You-peng, <i>et al.</i> (1313)
GIS Spatial Distribution and Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Surface Sediments of Shallow Lakes in Jiangsu Province	LI Ying-jie, ZHANG Lie-yu, WU Yi-wen, <i>et al.</i> (1321)
Microcosm Simulation Study and Methylmercury Forming Mechanism at Landscape Water of City	LIU Xiao-hong, SI You-bin, GUO Zi-wei, <i>et al.</i> (1330)
Seasonal Stratification and the Response of Water Quality of a Temperate Reservoir—Zhoucun Reservoir in North of China	ZENG Ming-zheng, HUANG Ting-lin, QIU Xiao-peng, <i>et al.</i> (1337)
Hydrochemical Characteristics of Snow Meltwater and River Water During Snow-melting Period in the Headwaters of the Ertis River, Xinjiang	WEI Hong, WU Jin-kui, SHEN Yong-ping, <i>et al.</i> (1345)
Relationship Between the Phytoplankton Distribution and Environmental Factors in Fenhe Scenic Spot of Taiyuan	FENG Jia, GUO Yu-ning, WANG Fei, <i>et al.</i> (1353)
Distribution Characteristics of Nitrifiers and Denitrifiers in the River Sediments of Tongling City	CHENG Jian-hua, DOU Zhi-yong, SUN Qing-ye (1362)
Contribution of Base Flow to Total Nitrogen Loading in Subtropical Agricultural Catchments	MA Qiu-mei, LI Wei, WANG Yi, <i>et al.</i> (1371)
Characteristics and Transport Patterns of Ammonia, Nitrites, Nitrates and Inorganic Nitrogen Flux at Epikarst Springs and a Subterranean Stream in Nanshan, Chongqing	ZHANG Yuan-zhu, HE Qiu-fang, JIANG Yong-jun, <i>et al.</i> (1379)
Pollution Characteristics and Evaluation of Nitrogen, Phosphorus and Organic Matter in Sediments of Shanmei Reservoir in Fujian, China	QIU Zu-kai, HU Xiao-zhen, YAO Cheng, <i>et al.</i> (1389)
Effect of <i>Elodea nuttallii</i> -immobilized Nitrogen Cycling Bacteria on Nitrogen Removal Mechanism in an Inflow River, Gonghu Bay	HAN Hua-yang, LI Zheng-kui, WANG Hao, <i>et al.</i> (1397)
Spatial and Temporal Distribution Characteristics of Different Forms of Phosphorus in Three Sorts of Rivers around Lake Taihu	GAO Yong-xia, SONG Yu-zhi, YU Jiang-hua, <i>et al.</i> (1404)
Distribution of Phosphorus Forms in the Overlying Water Under Disturbance with the Addition of Algae	CHEN Jun, LI Yong, LI Da-peng, <i>et al.</i> (1413)
Impacts of Sediment Disturbance on the Distribution of Suspended Particle Size and Phosphorus	GUO Jun-rui, LI Da-peng, LIU Yan-jian (1422)
Effect of Zirconium Modified Kaolin-Based Cap on Migration and Transformation of Phosphorus Between Sediment and Overlying Water	ZHANG Zhe, LIN Jian-wei, ZHAN Yan-hui, <i>et al.</i> (1427)
Toxicity of 4-Chlorophenol Solution Under Electrochemical Reduction-oxidation Process	WANG Yan, SHI Qin, WANG Hui, <i>et al.</i> (1437)
Removal and Recycle of Phosphor from Water Using Magnetic Core/Shell Structured Fe ₃ O ₄ @SiO ₂ Nanoparticles Functionalized with Hydrous Aluminum Oxide	LAI Li, XIE Qiang, FANG Wen-kan, <i>et al.</i> (1444)
Occurrence and Removal of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Their Derivatives in Typical Wastewater Treatment Plants in Beijing	QIAO Meng, QI Wei-xiao, ZHAO Xu, <i>et al.</i> (1451)
Spectral Characteristics of Dissolved Organic Matters in Reject Water from Wastewater Treatment Plants	NIU Tian-hao, ZHOU Zhen, HU Da-long, <i>et al.</i> (1460)
Feasibility and Economic Analysis of Denitrification of Photovoltaic Wastewater Containing High Fluorine	LI Xiang, ZHU Liang, HUANG Yong, <i>et al.</i> (1467)
Quick Start-up and Sustaining of Shortcut Nitrification in Continuous Flow Reactor	WU Peng, ZHANG Shi-ying, SONG Yin-ling, <i>et al.</i> (1472)
Performance Recoverability of Denitrifying Granular Sludge Under the Stressing Effect of Nanoscale Zero-valent Iron	WANG Fan-fan, QIAN Fei-yue, SHEN Yao-liang, <i>et al.</i> (1478)
Effect of Low-concentration Ciprofloxacin on the Nitrification and Nitrifying Microorganisms of Biofilms in Biological Aerated Filter	HE Shi, GU Chao-chao, WEI Xin, <i>et al.</i> (1485)
Optimization Study on the Nitrogen and Phosphorus Removal of Modified Two-sludge System Under the Condition of Low Carbon Source	YANG Wei-qiang, WANG Dong-bo, LI Xiao-ming, <i>et al.</i> (1492)
Effects of Short-time Conservation Tillage Managements on Greenhouse Gases Emissions from Soybean-Winter Wheat Rotation System	XIE Yan, CHEN Xi, HU Zheng-hua, <i>et al.</i> (1499)
Diurnal and Seasonal Dynamic Variation of Soil Respiration and Its Influencing Factors of Different Fenced Enclosure Years in Desert Steppes	CUI Hai, ZHANG Ya-hong (1507)
Correlation Among Soil Organic Carbon, Soil Inorganic Carbon and the Environmental Factors in a Typical Oasis in the Southern Edge of the Tarim Basin	GONG Lu, ZHU Mei-ling, LIU Zeng-yuan, <i>et al.</i> (1516)
Effects of Low-Molecular-Weight Organic Acids on the Speciation of Pb in Purple Soil and Soil Solution	LIU Jiang, JIANG Tao, HUANG Rong, <i>et al.</i> (1523)
Phytoremediation of Petroleum Contaminated Soils with <i>Iris pseudacorus</i> L. and the Metabolic Analysis in Roots	WANG Ya-nan, CHENG Li-juan, ZHOU Qi-xing (1531)
Oxidation Process of Dissolvable Sulfide by Manganite and Its Influencing Factors	LUO Yao, LI Shan, TAN Wen-feng, <i>et al.</i> (1539)
Screening and Enzyme Production Characteristics of Thermophilic Cellulase-producing Strains	FENG Hong-mei, QIN Yong-sheng, LI Xiao-fan, <i>et al.</i> (1546)
Development of Determination Method of Fluoroquinolone Antibiotics in Sludge Based on Solid Phase Extraction and HPLC-Fluorescence Detection Analysis	DAI Xiao-hu, XUE Yong-gang, LIU Hua-jie, <i>et al.</i> (1553)
Distribution and Risk Assessment of Sulfonamides Antibiotics in Soil and Vegetables from Feedlot Livestock	JIN Cai-xia, SI Xiao-wei, WANG Zi-ying, <i>et al.</i> (1562)
Influence of Four Kinds of PPCPs on Micronucleus Rate of the Root-Tip Cells of <i>Vicia-faba</i> and Garlic	WANG Lan-jun, WANG Jin-hua, ZHU Lu-sheng, <i>et al.</i> (1568)
Environmental Behaviors and Ecotoxicology of the Emerging Contaminants Polyhalogenated Carbazoles	LIN Kun-de, CHEN Yan-qiu, YUAN Dong-xing (1576)
Classification of Priority Area for Soil Environmental Protection Around Water Sources; Method Proposed and Case Demonstration	LI Lei, WANG Tie-yu, WANG Xiao-jun, <i>et al.</i> (1584)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

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

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2016年4月15日 第37卷 第4期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 37 No. 4 Apr. 15, 2016

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

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 120.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行