

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第39卷 第1期

Vol.39 No.1

2018

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

2006~2015年北京市不同地区O ₃ 浓度变化	王占山, 李云婷, 安欣欣, 李倩, 孙乃迪, 王步英, 潘锦秀 (1)
南京北郊黑碳气溶胶的来源解析	肖思略, 于兴娜, 朱彬, 何稼祺, 吕睿, 沙丹丹 (9)
电镀厂周边大气PM ₁₀ 中重金属季节性分布特征及生态风险评价	赵珍丽, 赵委托, 黄庭, 程胜高, 余葱葱, 尹伊梦 (18)
广西玉林市大气PM ₁₀ 和PM _{2.5} 中有机碳和元素碳污染特征分析	黄炯丽, 陈志明, 莫招育, 李宏姣, 杨俊超, 刘慧琳, 毛敬英, 梁桂云, 张达标, 吴熊平, 郝爽 (27)
青岛近海及黄渤海大气气溶胶中不同形态氮磷质量浓度及组成特征	张瑞峰, 祁建华, 丁雪, 谢丹丹 (38)
大气环境分区管理: 以广东省为例	杨柳林, 李敏辉, 廖程浩, 曾武涛, 张晖, 张永波 (49)
基于高分影像的城市黑臭水体遥感识别: 以南京为例	温爽, 王桥, 李云梅, 朱利, 吕恒, 雷少华, 丁萧蕾, 苗松 (57)
基于 SWAT 模型的流域河道硝酸盐δ ¹⁵ N和δ ¹⁸ O模拟	王康, 冉宁, 林忠兵, 周祖昊 (68)
程海流域非点源污染负荷估算及其控制对策	陈学凯, 刘晓波, 彭文启, 董飞, 黄智华, 冯顺新, 王若男 (77)
陆浑水库饮用水源地水体中金属元素分布特征及健康风险评价	余葱葱, 赵委托, 高小峰, 程胜高, 谢地, 马鹏途 (89)
天津供水系统中抗生素分布变化特征与健康风险评价	张新波, 宋姿, 张丹, 刘楠楠, 李楠, 温海涛 (99)
西南丘陵区村镇典型供水水源有机物分布特征及对饮水水质的影响	王琼, 李乃稳, 李磊, 李龙国, 苟思, 杨凌肖 (109)
北京市地下水有机氯和有机磷农药健康风险评价	陈卫平, 彭程伟, 杨阳, 吴玉梅 (117)
黄河岸边土壤中类二噁英类多氯联苯污染现状及风险	姚宏, 卢双, 张旭, 裴晋, 鲁垠涛 (123)
淹水落干下三峡水库消落带土壤无机磷形态转化特征	周健, 李春辉, 张志永, 胡红青, 万成炎, 胡莲, 潘晓洁 (130)
磷酸盐对铁锰复合氧化膜去除地表水中氨氮的影响	卓瑞双, 黄廷林, 张瑞峰, 文刚 (137)
K ₂ S ₂ O ₈ 强化 g-C ₃ N ₄ 薄膜电极光电催化降解 Cu(CN) ₂ ⁻ 并同步回收 Cu	党聪哲, 李一兵, 王彦斌, 赵旭 (145)
以 HKUST-1 为模板制备铜氧化物活化过一硫酸氢钾降解罗丹明 B	蒲嘉懿, 万金泉, 王艳, 马邕文, 武书彬 (152)
氨化松香基交联聚合树脂对水中诺氟沙星的吸附性能	马亚红, 黄婉婷, 刁开盛, 李鹏飞, 谭学才, 董慧岭, 覃方夸, 雷福厚, 刘绍刚 (161)
铁锰泥除砷颗粒吸附剂对As(V)的吸附去除	曾辉平, 吕赛赛, 杨航, 尹灿, 曹瑞华, 王艳菊, 李冬, 张杰 (170)
水铁矿及其胶体对砷的吸附与吸附形态	马玉玲, 马杰, 陈雅丽, 雷梅, 郭华明, 翁莉萍, 李永涛 (179)
阳(阴)离子复配修饰两性磁性膨润土的表面特征差异及对苯酚吸附的影响	任爽, 孟昭福, 王腾, 张洋, 田凯, 刘伟, 闫东旭 (187)
典型城市污水中对羟基苯甲酸酯的污染特征	赵雪, 张子峰, 祝富杰, 李一凡, 马万里 (195)
水力停留时间对活性炭生物转盘处理污水的影响	许雯佳, 成小英 (202)
环丙沙星对膜生物反应器运行效能的影响及其去除特性	戴琦, 刘锐, 舒小铭, 张永明, 陈吕军 (212)
AAO 工艺低氧条件下的运行及其模拟	曹特特, 王林, 李咏梅 (219)
磷酸盐对亚硝化系统的抑制及恢复	顾澄伟, 陈方敏, 李祥, 张程锦 (227)
碳源对污水处理厂 SAD 工艺小试的影响	李冬, 赵世勋, 王俊安, 朱金凤, 关宏伟, 张杰 (232)
容积负荷对 ABR-MBR 工艺反硝化除磷性能的影响	吕亮, 尤雯, 韦佳敏, 吴鹏, 沈耀良 (239)
DNBF-O ₃ -GAC 组合工艺深度脱除氮磷及代谢产物	钟丽燕, 郝瑞霞, 王卫东, 万京京, 朱晓霞 (247)
交替好氧/缺氧运行模式对生物脱氮效能及活性污泥胞外聚合物的影响	孙洪伟, 陈翠忠, 吴长峰, 赵华南, 于雪, 方晓航 (256)
纳米零价铁对升流式颗粒污泥床反硝化性能的影响	周丰, 王翻翻, 钱飞跃, 黄慧敏, 沈耀良, 周建民 (263)
高含固污泥厌氧消化中 Fe/S 及 pH 对原位抑硫效率影响及其交互作用	韩芸, 曹玉芹, 卓杨, 王晓飞, 韩雅婷, 彭党聪 (269)
浑河流域贮存污泥成分特征及演变规律分析	刘甜甜, 崔崇威, 赫俊国, 唐建 (276)
去除城市生活污泥中有机络合态金属强化其厌氧生物制气	卢怡清, 许颖, 董滨, 戴晓虎 (284)
污泥飞灰中重金属不同浸出方法比较及综合毒性评价	王丰, 李润东, 李彦龙, 赵云斌, 杨天华 (292)
初冬时期闽江河口区养殖塘排水后的 CH ₄ 和 N ₂ O 通量日变化特征	杨平, 谭立山, 黄佳芳, 何清华, 全川 (300)
3 种土壤改良剂对河套灌区玉米田温室气体排放的影响	武岩, 红梅, 林立龙, 刘梅, 刘宇杰 (310)
有机氮替代比例对冬小麦/夏玉米轮作体系作物产量及 N ₂ O 排放的影响	侯苗苗, 吕凤莲, 张弘毅, 周应田, 路国艳, Ayaz Muhammad, 黎青慧, 杨学云, 张树兰 (321)
拔节期水稻光合碳输入的动态变化及其对施氮的响应: ¹³ C-CO ₂ 脉冲标记	陈珊, 祝贞科, 袁红朝, 王久荣, 彭佩钦, 葛体达, 吴金水 (331)
陕北黄土丘陵区不同土地利用方式下土壤碳剖面分布特征	兰志龙, 赵英, 张建国, 李会杰, 司炳成, 焦瑞, Muhammad Numan Khan, Tanveer Ali Sial (339)
不同地表条件下生物炭对土壤氮挥发的影响	邹娟, 胡学玉, 张阳阳, 陈窈君, 王向前, 刘扬 (348)
秸秆与生物炭还田对土壤团聚体及固碳特征的影响	徐国鑫, 王子芳, 高明, 田冬, 黄容, 刘江, 黎嘉成 (355)
县域尺度土壤铜的有效性及相关影响因素评估	李锦芬, 瞿明凯, 刘刚, 黄标 (363)
基于改进 LUR 模型的区域土壤重金属空间分布预测	曾菁菁, 沈春竹, 周生路, 陆春峰, 金志丰, 朱雁 (371)
沈北新区土壤中多环芳烃污染特征及源解析	李嘉康, 宋雪英, 魏建兵, 王颖怡, 李玉双, 郑学昊 (379)
磷酸盐、腐殖酸与粉煤灰联合钝化处理模拟铅镉污染土壤	赵庆圆, 李小明, 杨麒, 陈灿, 钟振宇, 钟宇, 陈飞, 陈寻峰, 王祥 (389)
控源及改良措施对稻田土壤和水稻镉累积的影响	封文利, 郭朝晖, 史磊, 肖细元, 韩晓晴, 冉洪珍, 薛清华 (399)
典型土壤双季稻对 Cd 吸收累积差异	李欣阳, 龙坚, 王树兵, 陈齐, 董霞, 蒋凯, 侯红波, 彭佩钦, 廖柏寒 (406)
松花江上游夹皮沟金矿开采区芦苇叶片汞分布特征	张曼胤, 李梦洁, 崔丽娟, 王贺年, 郭子良, 徐卫刚, 魏圆云, 杨思, 肖红叶 (415)
硝酸盐对土壤反硝化活性及厌氧降解的影响	代军帅, 左小虎, 王明霞, 姚炎红, 周志峰 (422)
长期施肥对稻田土壤微生物量、群落结构和活性的影响	王伟华, 刘毅, 唐海明, 孙志龙, 李宝珍, 葛体达, 吴金水 (430)
海洋沉积物中硫酸盐还原菌和硫酸化菌群落分析方法的比较	张玉, 米铁柱, 甄毓, 陈烨, 付璐璐, 王勋功 (438)
鄱阳湖微囊藻毒素时空分布格局及其与理化及生物因子的关系	袁丽娟, 廖旦根, 张莉, 张大文, 罗林广, 刘聚涛 (450)
畜禽粪便中多重耐药细菌及耐药基因分布特征	张昊, 王盼亮, 杨清香, 俞宁 (460)
烟气净化工艺和焚烧炉类型对生活垃圾焚烧灰灰性质的影响	章骅, 于思源, 邵立明, 何晶晶 (467)

有机氮替代比例对冬小麦/夏玉米轮作体系作物产量及N₂O排放的影响

侯苗苗¹, 吕凤莲¹, 张弘弢¹, 周应田¹, 路国艳¹, Ayaz Muhammad¹, 黎青慧², 杨学云¹, 张树兰^{1*}

(1. 西北农林科技大学资源环境学院, 农业部西北植物营养与农业环境重点实验室, 杨凌 712100; 2. 陕西省土肥站, 西安 710003)

摘要: 控制农业温室气体排放(如N₂O)是减缓全球气候变暖的一个重要措施。本研究通过动态监测小麦-玉米轮作体系N₂O排放通量, 探究不施任何肥料(对照, CK)、单施氮磷钾化肥(NPK)、75% NPK + 25% (有机氮 M) (25% M)、50% NPK + 50% M (50% M)、25% NPK + 75% M (75% M) 以及 100% M, 即不同有机氮替代比例对陕西关中壤土冬小麦/夏玉米轮作体系N₂O排放及作物产量的影响。结果表明, 各处理N₂O排放通量在施肥、降雨或灌水后出现排放峰值。在小麦季各处理变化幅度为 -1.33 ~ 144.2 $\mu\text{g} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1}$, 其中 NPK 处理峰值最高。玉米季各处理变化幅度为 88.2 ~ 1800.1 $\mu\text{g} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1}$, 50% M 处理峰值最高。小麦/玉米一个轮作年不同处理N₂O排放总量为 429.8 ~ 2632.1 $\text{g} \cdot \text{hm}^{-2}$, 且 50% M > 25% M > NPK > 75% M > 100% M > CK。无论小麦、玉米还是一个轮作年总产量, 施肥处理产量均显著高于对照。小麦季, 施用有机肥的处理小麦产量均显著高于单施化肥处理, 增幅达 26.1% ~ 50.0%。玉米季, 50% M 和 75% M 处理产量与 NPK 相似, 而 25% M 和 100% M 处理玉米产量显著低于 NPK 处理。小麦/玉米轮作总产量变幅为 9166 ~ 17496 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 其中 50% M 和 75% M 处理显著高于 NPK 处理, 25% M 和 100% M 处理与 NPK 处理无显著差异。综合考虑壤土小麦/玉米轮作体系有机氮替代化肥氮 75% 最好, 可以保证作物产量、实现N₂O减排。

关键词: 有机氮替代比例; 冬小麦/夏玉米轮作体系; 产量; N₂O排放通量; N₂O排放系数

中图分类号: X16 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2018)01-0321-10 DOI: 10.13227/j.hjxx.201707010

Effect of Organic Manure Substitution of Synthetic Nitrogen on Crop Yield and N₂O Emission in the Winter Wheat-Summer Maize Rotation System

HOU Miao-miao¹, LÜ Feng-lian¹, ZHANG Hong-tao¹, ZHOU Ying-tian¹, LU Guo-yan¹, Ayaz Muhammad¹, LI Qing-hui², YANG Xue-yun¹, ZHANG Shu-lan^{1*}

(1. Key Laboratory of Plant Nutrition and the Agro-environment in Northwest China, Ministry of Agriculture, College of Natural Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling 712100, China; 2. Shaanxi Station of Soil and Fertilizer, Xi'an 710003, China)

Abstract: Controlling agricultural greenhouse gas emissions, such as N₂O, is important in mitigating global climate warming. Through monitoring the dynamics of N₂O emission fluxes, we investigated the effect of organic nitrogen (N) substitution of synthetic N on N₂O emissions and the yield of winter wheat and summer maize in the Guanzhong Plain of Shaanxi Province, China. The study involved six treatments, consisting of no fertilizer (CK), synthetic N, phosphorus (P), and potassium (K) fertilizers alone (NPK), 75% NPK + 25% organic N through manure (25% M), 50% NPK + 50% organic N (50% M), 25% NPK + 75% organic N (75% M), 100% organic N (100% M). The results showed that the peak value of the N₂O emission flux appeared after fertilization, rainfall, and irrigation. In the wheat season, the emission flux of N₂O varied from -1.33 to 144.2 $\mu\text{g} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1}$, with the highest peak value in the NPK treatment. In the maize season, the emission flux of N₂O varied from 88.2 to 1800.1 $\mu\text{g} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h})^{-1}$, and the 50% M treatment showed the highest peak value. The range in the total amount of N₂O emissions from the different treatments in the wheat-maize rotation system was 429.8-2632.1 $\text{g} \cdot \text{hm}^{-2}$, and the amount for the treatments decreased in order as follows: 50% M > 25% M > NPK > 75% M > 100% M > CK. The yields of wheat, maize, or wheat plus maize were significantly higher in the fertilized treatments compared to the CK. Organic substitution treatments significantly increased wheat yield by 26.1% to 50.0% relative to the NPK treatment. While the maize yield in 50% M and 75% M treatments was similar to that in the NPK treatment, the 25% M and 100% M treatments showed significantly lower yields than with the NPK treatment. The total yield of wheat plus maize varied from 9166 to 17496 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, of which total yield was significantly higher with 50% M and 75% M compared to NPK. Overall, the 75% M treatment is the best measure to guarantee crop yield and to reduce N₂O emissions in the wheat-maize rotation system based on a one

收稿日期: 2017-07-03; 修订日期: 2017-07-31

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFD0800105)

作者简介: 侯苗苗(1991~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为养分管理与环境, E-mail: houliaomiao1208@163.com

* 通信作者, E-mail: zhangshulan@nwfau.edu.cn

year study in the Guanzhong plain of Shaanxi Province.

Key words: organic nitrogen substitution; winter wheat-summer maize cropping system; yield; N_2O emission flux; N_2O emission coefficient

全球变暖和臭氧层的破坏使温室气体减排成为研究和关注的热点^[1]. IPCC 第四次评估报告表明:农业源是温室气体重要排放源,其中 N_2O 是旱地农田温室气体的重要组成部分,其贡献率占人类活动产生的 N_2O 总量的 58% 以上^[2]. 在我国因过量施氮造成的 N_2O 排放量为 63 万 t,农业生产过程中排放的 N_2O 占全国 N_2O 排放总量的 92%^[3]. 小麦/玉米轮作,一年两熟制,是中国北方重要的农作物种植体系之一,在保证国家粮食安全方面具有重要的地位. 调查显示小麦/玉米轮作体系大部分地区农民的施氮量普遍超过 $500 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ^[4],如山东省小麦/玉米轮作区平均施氮量为 $553 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ^[5],陕西关中灌区,小麦/玉米轮作施氮量过高的农户分别占 38.5% 和 64.7%^[6]. 过量施氮不仅导致大量氮素在土壤中残留^[7]以及淋失^[8,9],同时也显著增加 N_2O 排放和其它气态氮损失^[10]. 因此,十分有必要寻求合理的养分管理措施在保证作物产量的情况下减少 N_2O 排放.

有机肥是保持土壤生产力和减少化肥施用的一种传统而有效的方法,可以达到节约成本和增加养分有效性的双重作用^[11~14]. 由于来自不同动植物的有机肥料成分不同,其施用到农田后对温室气体排放的影响也存在着较大差异. 例如,有研究结果表明施用有机肥能够增加甲烷的释放量,而化肥增加 N_2O 释放量^[15]. 在等氮量情况下化肥配合有机肥施用土壤 N_2O 排放量大于单施化肥^[16],但也有研究表明两者相比 N_2O 排放通量差异不显著^[17]. 还有研究指出,等氮施肥条件下施用猪粪相比施用化肥能减少农田 N_2O 的排放^[18]. 而另有研究报道施用有机肥较化肥增加土壤 N_2O 累积的排放量^[15]. 因此,在特定气候以及土壤条件下,有机肥特别是有机氮替代比例如何影响 N_2O 排放需要进一步研究,这对建立区域合理的养分管理措施,减少化肥投入量,维持作物产量、同时减少温室气体排放有重要意义.

塿土是陕西关中灌区主要的土壤类型,主要的作物体系为小麦/玉米轮作,在 20 世纪 90 年代初建立了长期施肥定位试验,对土壤肥力演变、作物产量以及温室气体排放进行了研究^[19~23]. 但是上述长期定位试验中有机氮替代比例是固定的(70%),那么在塿土小麦/玉米轮作体系,合理的有机氮替代

比例是多少,可以维持作物高产并减少 N_2O 排放,过去并没有研究报道. 因此,结合国家减肥减排的号召以及保护环境,本研究探讨不同比例有机氮替代情况下小麦/玉米轮作作物产量以及 N_2O 排放量的响应,以期建立塿土区小麦/玉米轮作体系合理的养分管理措施提供理论支撑.

1 材料与方法

1.1 试验地点

本试验在“国家黄土肥力和肥料效益监测基地”进行,该基地位于陕西省杨凌区五泉镇孟家寨村(34.17°51'N, 108.00°48'E),其海拔 534 m,年平均气温 12.9℃,年降水量为 550 ~ 600 mm,降雨量主要集中在 6 ~ 9 月,小麦季降雨明显少于夏玉米季(图 1). 年均蒸发量 993 mm,无霜期 184 ~ 216 d,属于暖温带大陆性季风气候. 土壤属土垫旱耕人为土,黄土母质. 试验开始时 0 ~ 20 cm 土壤有机质含量是 $15.1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、速效磷为 $10.1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、速效钾为 $165.6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$.

1.2 试验设计

试验共 6 个处理,分别为:①不施任何肥料,对照(CK);②单施氮磷钾化肥(NPK);③75% NPK + 25% M 有机氮(25% M);④50% NPK + 50% M(50% M);⑤25% NPK + 75% M(75% M)以及⑥100% M(100% M). 各处理具体施肥量见表 1,各施肥处理轮作年施氮量相同,均为 $345 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,有机肥的氮量分别为总施氮量的 25%、50%、75%、100%. 每个处理 3 次重复,试验采用随机区组设计,共计 18 个小区,试验小区面积为 30 m^2 ($7.5 \text{ m} \times 4 \text{ m}$). 试验所用化肥氮为尿素,磷肥为过磷酸钙(含 P_2O_5 12%),钾肥为硫酸钾(含 K_2O 60%),有机肥为牛粪,所有处理有机肥及磷钾肥均于冬小麦播种前一次性基施,化肥于夏玉米拔节期前条施.

供试小麦和玉米品种分别是小偃 22 和郑丹 958,小麦在 2015 年 10 月 10 日播种,播种量为 $135 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,2016 年 6 月 6 日收获;玉米在 2016 年 6 月 9 日播种,9 月 29 日收获每小区种植 8 行,行距为 55 cm. 另外,冬小麦于 2016 年 2 月 27 日灌水 66.7 mm,玉米季于 7 月 5 日施肥,7 月 7 日,8 月 12 日以及 8 月 24 日灌水,灌水量分别为 66.7 mm,

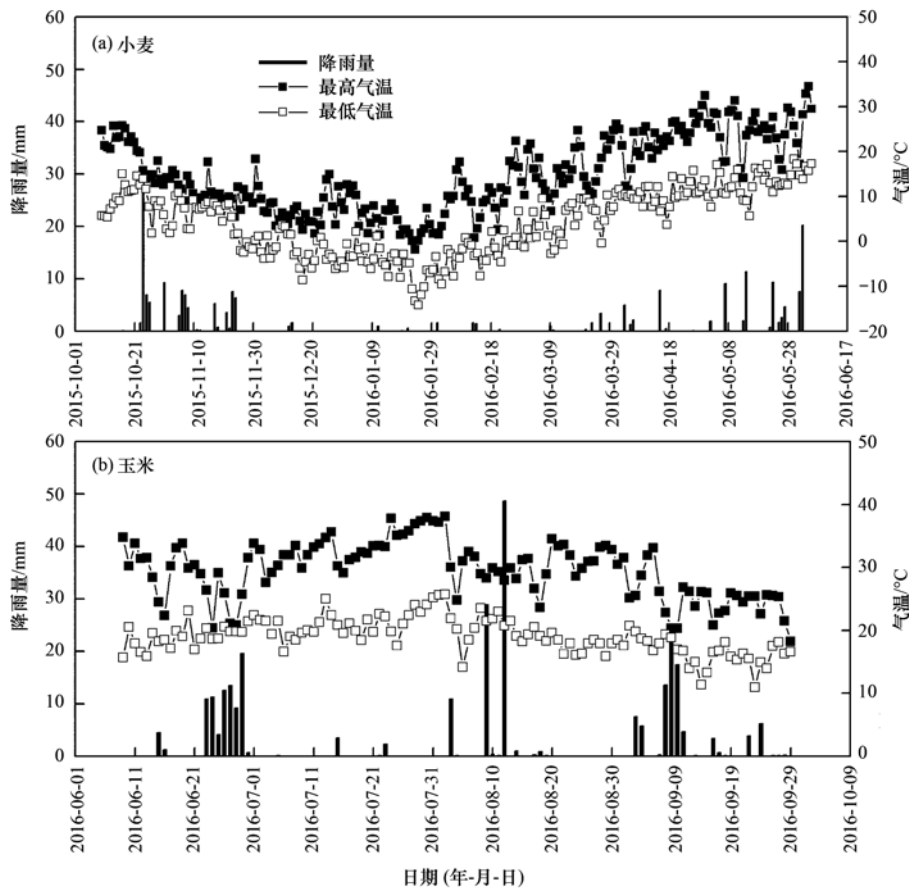


图1 2015~2016年小麦、玉米季气温与降雨的季节变化

Fig. 1 Seasonal variations in temperature and precipitation in the wheat and maize growing seasons from Oct. 2015 to Sep. 2016

表1 不同处理氮磷钾养分施用量¹⁾/kg·hm⁻²

Table 1 Application rates of nitrogen (N), phosphorus (P), and potassium (K) with the different fertilization treatments/kg·hm⁻²

处理	小麦季			玉米季			小麦 + 玉米		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K
CK	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NPK	165	65.5	75	180	0	0	345	65	75
25% M	210	87.5	77.8	135	0	0	345	87.5	77.8
50% M	255	110.1	79.5	90	0	0	345	110.1	79.5
75% M	300	131.6	82.4	45	0	0	345	131.6	82.4
100% M	345	154.2	84.1	0	0	0	345	154.2	84.1

1) CK、NPK、25% M、50% M、75% M 分别代表不施任何肥料对照、单施氮磷钾化肥、75% NPK + 25% M 有机肥、50% NPK + 50% M 有机肥、25% NPK + 75% M 有机肥以及 100% 有机肥,其中有机肥为牛粪,下同

83.3 mm 以及 66.7 mm. 作物生长期内施用除草剂和杀虫剂控制杂草和害虫. 收获期进行产量测定.

1.3 气体采集与分析

N₂O 排放通量测定采用静态箱-气相色谱法, 采样箱使用不锈钢制作 (50 cm × 50 cm × 50 cm), 侧面有采气孔, 外覆绝热材料, 保证观测过程中箱内温度变化小于 2℃. 每个重复安装 50 cm × 50 cm × 10 cm 的底座, 底座顶端为水槽. 作物播种后底座埋入作物行间, 仅在作物收获时移开. 为了减少采样时对

土壤和作物的扰动, 在采样点附近架设栈桥, 当作物高度超过 50 cm 时, 增加中段箱提高箱体高度. 每个采样点于上午 09:00 ~ 11:00 采集气体, 采样时, 将采样箱罩在不锈钢底座上并用水密封, 此时记为 0 时刻, 用注射器连续收集 0、15、30、45 min 这 4 个时刻的气体. 为了更准确地估算 N₂O 的排放总量, 平时采气频率为一周一次, 冬季为两周一次, 施肥、灌溉、降雨后加大采样密度, 每 2 日 1 次, 直至排放速率趋于稳定. 样品采集完毕后带回, 使用气

相色谱仪(7890B,美国 Agilent 公司)测 N_2O 浓度.气相色谱采用氮气作载气,尾吹气为氩甲烷.

1.4 土壤样品采集与分析

收集气体样品的同时,使用数字温度计(JM22L,天津今明仪器有限公司)测定土壤温度,土壤水分测定仪(ML3,英国 Delta-T 公司)测定体积含水量(0~5 cm),并利用土壤容重将其转换为土壤孔隙充水率[WFPS(%)],每个处理随机重复9次.作物生育期降水量、气温等资料采用国家杨凌气象站数据,气象站离试验点约3公里,海拔相同.

另外,每2周各小区采集1次土壤样品(0~20 cm)用于土壤水分、铵态氮(NH_4^+-N)、硝态氮(NO_3^--N)的测定.土壤水分采用烘干法测定, NH_4^+-N 和 NO_3^--N 采用鲜土样品,用 $1\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ KCl溶液(国药优级纯)浸提(液土比4:1),并用连续流动分析仪(AA3,德国 SEAL 公司)测定.

1.5 数据处理与分析

N_2O 排放通量(F)的计算公式为:

$$F = k \times \frac{dc}{dt} \times \rho \times \frac{P}{P_0} \times \frac{T_0}{T} \times H \quad (1)$$

式中, F 为气体通量[$\mu\text{g}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{h})^{-1}$]; k 为单位换算系数; P 为采样点气压(kPa); T 为采样时空气的绝对温度(K); H 为采样箱高度(m); ρ 为标准状态下($T_0 = 273\text{ K}$, $P_0 = 101.3\text{ kPa}$) N_2O 气体的密度($\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$); dc/dt 为采样时气体浓度随时间的变化率.

采用公式(2)计算土壤充水孔隙度(WFPS).

$$\text{WFPS} = \text{VSWC} / (1 - \text{BD} / 2.65) \times 100\% \quad (2)$$

式中,VSWC为土壤体积含水量($\text{cm}^3\cdot\text{cm}^{-3}$),BD为土壤容重($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$),并假定土壤密度为 $2.65\text{ (g}\cdot\text{cm}^{-3})$.

假定观测所得 N_2O 排放速率为日排放速率的平均值,利用线性内插法估算未观测日的排放速率,逐日累加,估算 N_2O 年排放量.

采用公式(3)计算 N_2O 排放系数(EF_d)

$$EF_d = (F_N - F_{CK}) / N \times 100\% \quad (3)$$

式中, F_N 和 F_{CK} 分别为施肥和不施肥处理 N_2O 年排放总量($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$), N 为氮肥施用量[$\text{kg}\cdot(\text{hm}^2\cdot\text{a})^{-1}$],包括尿素和牛粪.另外, N_2O 排放总量除以作物产量计算出 N_2O 排放强度.

所有数据计算了平均值,并进行单因素方差分析,当方差分析显著时,进行了LSD多重比较.另外, N_2O 排放与土壤环境因素进行了线性相关分析.所有统计分析采用SAS 16.0软件进行.

2 结果与分析

2.1 土壤 NH_4^+-N 、 NO_3^--N 含量的季节变化

图2为冬小麦/夏玉米轮作期土壤 NH_4^+-N 和 NO_3^--N 的动态变化情况.在小麦和玉米季,不施肥处理(CK)土壤中 NH_4^+-N 和 NO_3^--N 含量最低、变化幅度最小($0.15 \sim 4.03\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $2.24 \sim 31.45\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$).施肥处理土壤 NH_4^+-N 和 NO_3^--N 含量均有较大的季节变化,分别在 $0.03 \sim 6.9\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $3.06 \sim 76.56\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 之间.同CK相比,施肥后土壤 NO_3^--N 的含量均显著增加.其中75% M处理 NH_4^+-N 含量最高,NPK处理 NO_3^--N 的含量最高.

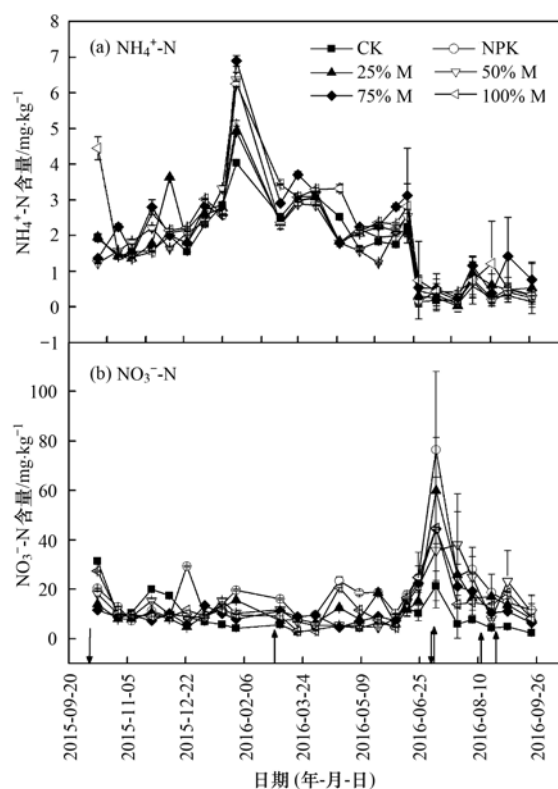


图2 不同施肥处理0~20 cm土层 NH_4^+-N 、 NO_3^--N 的动态变化

Fig. 2 Seasonal variations in ammonium and nitrate nitrogen content in the 0-20 cm soil layer with different fertilization treatments

2.2 土壤充水孔隙度与土壤温度的季节变化

小麦、玉米轮作期间,各处理土壤温度和土壤孔隙充水率(WFPS)的变化如图3所示.土壤5 cm温度变化范围为 $-0.075 \sim 27.55^\circ\text{C}$.冬季温度最低,春季温度回升,夏季温度达到最高.小麦和玉米季的平均温度分别为 10.7°C 和 25.5°C .土壤WFPS受降雨与灌溉的影响,小麦季和玉米季平均土壤孔隙充水率(WFPS)分别为43.76%和50.08%,在

2015 年的 10 月 25 日、2016 年的 2 月 28 日、7 月 8 日、8 月 13 日、8 月 25 日出现峰值。

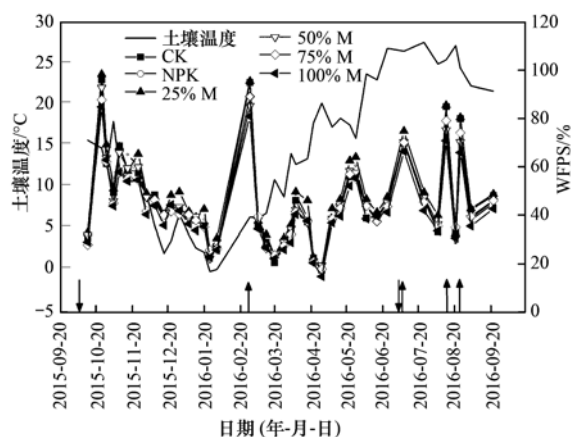


图 3 不同施肥处理 5 cm 土壤温度与 0~20 cm 土层土壤充水孔隙度

Fig. 3 Seasonal variations in soil temperature at 5 cm in water-filled pore spaces (WFPS) in the 0-20 cm soil layer with different fertilization treatments

2.3 小麦/玉米轮作体系 N_2O 的排放量

图 4 为 2015 年 10 月至 2016 年 9 月不同处理 N_2O 排放通量的动态变化。结果显示各处理 N_2O 排放通量有明显的季节变化,且变化规律基本一致,呈双峰型变化,即施肥后 N_2O 排放出现峰值。另外,除了施肥,降雨和灌水后也出现 N_2O 排放峰值。

小麦季 N_2O 排放通量在其生长季内呈明显下降趋势,各施肥处理变化幅度为 $-1.33 \sim 144.2 \mu g \cdot (m^2 \cdot h)^{-1}$, CK 处理 N_2O 排放通量较其他施肥处理变化幅度较小为 $-1.33 \sim 23.6 \mu g \cdot (m^2 \cdot h)^{-1}$ 。除 CK 和 100% M 处理外,其它施肥处理 N_2O 排放播种后均出现了排放高峰,其中 NPK、25% M、50% M、75% M 处理峰值分别为 141.8、144.2、121.0、44.4 $\mu g \cdot (m^2 \cdot h)^{-1}$; CK 和 100% M 的排放高峰出现在灌水后。

在玉米生长前期,各处理均有极少的 N_2O 排放。在 6 月 23~6 月 29 日持续降雨后出现了一个小的排放峰,而在施肥(7 月 5 日)及灌水(7 月 7 日)后出现了 N_2O 排放高峰,这时施肥处理 N_2O 排放通量较 CK 高 5~20 倍。CK、NPK、25% M、50% M、75% M 和 100% M 处理峰值分别为 88.2、1433.1、1680.4、1800.1、686.5 和 430.1 $\mu g \cdot (m^2 \cdot h)^{-1}$ 。随后一段时间 N_2O 排放通量逐步降低,在施肥后 25 d 施肥处理 N_2O 排放通量接近 CK 处理。在所有施肥处理中,玉米季 N_2O 排放通量均高于小麦季。

各施肥处理小麦季、玉米季以及年 N_2O 排放总

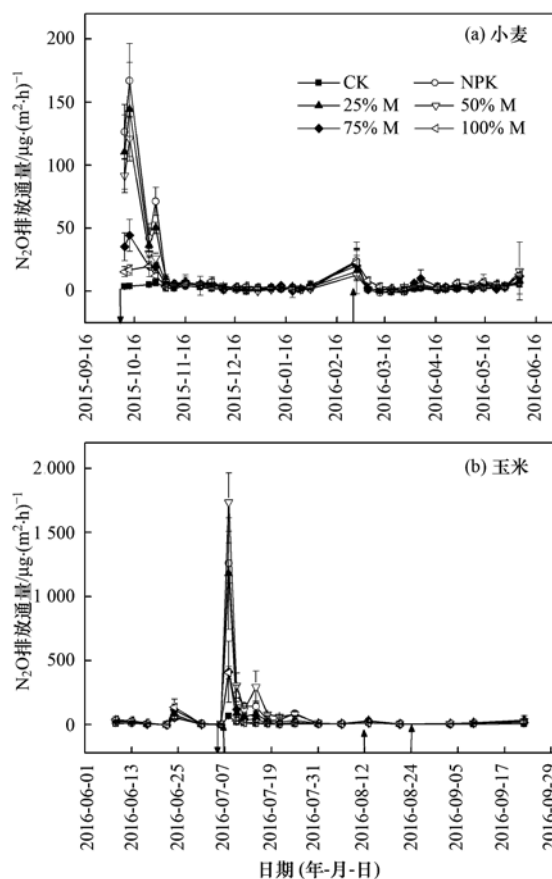


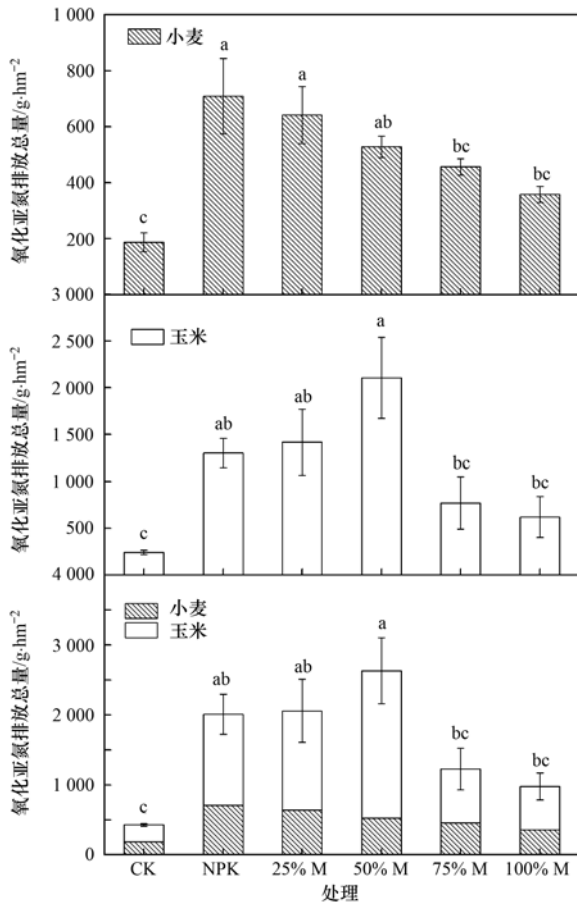
图 4 不同施肥处理小麦、玉米季 N_2O 排放通量动态变化

Fig. 4 Dynamics of soil N_2O emission flux with different fertilization treatments

量如图 5 所示。小麦季不同处理 N_2O 排放量为 $187.4 \sim 709.3 g \cdot hm^{-2}$, 其中 CK 最低, NPK 最高。NPK、25% M 及 50% M 处理 N_2O 排放量显著高于 CK 处理, 较 CK 分别提高了 278.5%、242.6% 和 181.8%; 75% M 和 100% M 处理 N_2O 排放量显著低于 NPK 和 25% M 处理, 而与 CK 处理无显著差异。玉米季不同施肥处理 N_2O 排放量在 $242.4 \sim 2104.1 g \cdot hm^{-2}$ 之间, 其中 50% M 最高, CK 最低。NPK、25% M 和 50% M 处理的 N_2O 排放量显著高于 CK 处理, 分别较 CK 处理提高了 437.2%、484.6%、768.1%。而 75% M 和 100% M 处理 N_2O 排放量显著低于 50% M 处理, 而与 CK、NPK 和 25% M 处理无显著性差异。总体来讲, 小麦/玉米一个轮作年不同处理 N_2O 排放量为 $429.8 \sim 2632.1 g \cdot hm^{-2}$, 有机替代处理与单施化肥 N_2O 排放量相似, 不过单施化肥显著高于对照, 而 75% M 和 100% M 处理与对照相似。

2.4 作物产量

无论小麦、玉米以及一个轮作年总产量, 施肥处理均显著高于对照(图 6)。小麦季产量变幅为



不同小写字母表示不同处理间在 5% 差异显著

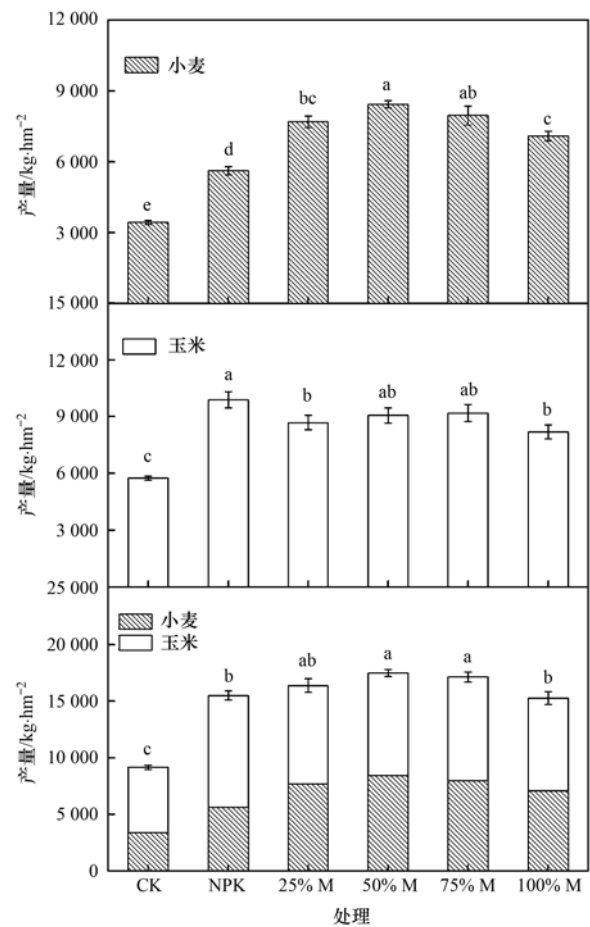
图 5 不同施肥处理小麦和玉米季 N₂O 排放总量

Fig. 5 Total amount of N₂O emissions in wheat and maize growing season with different treatments

3 431 ~ 8 438 kg·hm⁻², 其中 CK 处理最低, 50% M 处理小麦产量最高, 其次是 75% M 处理 (7 965 kg·hm⁻²), 且两者之间差异不显著 (图 6). 另外, 随着有机氮替代比例的增加, 冬小麦产量呈现先增加后降低的趋势, 并且施用有机肥的处理小麦产量均显著高于单施化肥处理, 增幅达 26.1% ~ 50.0%. 夏玉米产量变幅为 5 735 ~ 9 885 kg·hm⁻², 其中 CK 处理最低, NPK 处理最高. 有机氮替代处理 50% M 和 75% M, 其产量与 NPK 相似, 而 25% M 和 100% M 处理玉米产量显著低于 NPK 处理. 小麦/玉米轮作总产量变幅 9 166 ~ 17 496 kg·hm⁻². 其中 CK 处理最低, 50% M 处理最高, 25% M 及 75% M 处理总产量与 50% M 处理差异不显著. 50% M 和 75% M 处理显著高于 NPK 处理, 增幅分别为 12.8% 和 10.5%, 而 25% M 和 100% M 处理与 NPK 处理无显著差异.

2.5 N₂O 排放系数和排放强度

本试验各处理冬小麦季 N₂O 直接排放系数介于



不同小写字母表示不同处理间差异显著 ($P < 0.05$)

图 6 不同施肥处理小麦、玉米及总产量

Fig. 6 Wheat and maize yield with different fertilization treatments

0.05% ~ 0.32% 之间 (表 2). NPK 处理 N₂O 的排放系数最高, 显著高于 50% M、75% M 和 100% M 处理; 25% M 处理 N₂O 的排放系数与 NPK 处理相似, 并显著高于 100% M 处理. 玉米季 N₂O 直接排放系数介于 0.59% ~ 2.07% 之间, 50% M 处理 N₂O 的排放系数最高, 显著高于其它处理; 75% M 处理 N₂O 的排放系数与 25% M 处理相似, 并显著高于 NPK 处理. 小麦/玉米一个轮作年 N₂O 直接排放系数介于 0.16% ~ 0.64% 之间, NPK 处理 N₂O 的排放系数与有机肥各处理间无明显差异. 50% M 处理 N₂O 的排放系数最高, 显著高于 75% M 和 100% M 处理.

试验各处理冬小麦季 N₂O 排放强度介于 50.5 ~ 139.6 mg·kg⁻¹ 之间, NPK 处理最高, 且显著高于 CK、50% M、75% M 及 100% M 处理, 而与 25% M 处理无明显差异. 玉米季 N₂O 排放强度介于 42.3 ~ 232.2 mg·kg⁻¹ 之间, 50% M 处理 N₂O 的排放强度显著高于 CK、75% M 和 100% M 处理, 与 NPK 和 25% M 处理相近. 小麦/玉米轮作年 N₂O 排放强度介于

46.9 ~ 155.6 mg·kg⁻¹ 之间,各施肥处理 N₂O 排放强度均显著高于 CK 处理,其中 50% M 处理显著高于 75% M 和 100% M 处理,与 NPK 和 25% M 处理无显著差异。

表 2 不同施肥处理 N₂O 的直接排放系数和排放强度¹⁾

Table 2 Direct emission factor and yield-scaled N ₂ O emission with different fertilization treatments						
处理	小麦季排放系数 /%	玉米季排放系数 /%	小麦玉米排放系数 /%	小麦季排放强度 /mg·kg ⁻¹	玉米季排放强度 /mg·kg ⁻¹	小麦玉米排放强度 /mg·kg ⁻¹
CK	—	—	—	54.6b	42.3 b	46.9 c
NPK	0.32 a	0.59 c	0.46 ab	139.6 a	140.4 ab	140.1ab
25% M	0.22 ab	0.87bc	0.47 ab	83.4ab	163.3 ab	125.7 ab
50% M	0.13 bc	2.07 a	0.64 a	62.6 b	232.3a	155.6a
75% M	0.09 bc	1.18 b	0.23 b	57.4b	84.0 b	71.6 b
100% M	0.05 c	—	0.16 b	50.5 b	77.3b	64.7b

1) 同列数据后不同小写字母表示处理之间在 $P < 0.05$ 水平差异显著,“—”表示文章中没有相关数据

2.6 N₂O 排放与土壤环境因素的关系

从表 3 看出,CK 处理小麦季 N₂O 排放通量与土壤湿度呈显著正相关($P < 0.01$),与土壤 NH₄⁺-N 的浓度呈显著负相关($P < 0.05$);而玉米季与土壤因素都没有相关性;小麦/玉米轮作年 CK 处理 N₂O 排放通量与土壤湿度和土壤温度均呈显著正相关($P < 0.05$). NPK 处理小麦季 N₂O 排放通量与土壤因素无显著相关性;玉米季 N₂O 排放通量与土壤湿度和土壤 NO₃⁻-N 浓度呈显著正相关($P < 0.01$);与其他土壤因素无相关性;小麦/玉米轮作年与玉米季相似. 25% M 处理小麦季 N₂O 排放通量与土壤各因素无相关性;玉米季与土壤 NO₃⁻-N 浓度呈显著正相关($P < 0.01$),与其他土壤因素没有相关性;小麦/

玉米轮作年 N₂O 排放通量与土壤湿度和 NO₃⁻-N 浓度呈显著正相关($P < 0.05$). 50% M 处理小麦季 N₂O 排放通量与土壤 NO₃⁻-N 浓度呈显著正相关($P < 0.01$);而玉米季 N₂O 排放通量与土壤因素无相关性;小麦/玉米轮作年 50% M 处理 N₂O 排放通量与土壤湿度和土壤 NO₃⁻-N 浓度呈显著正相关($P < 0.01$). 75% M 处理小麦季 N₂O 排放通量与土壤湿度呈显著正相关($P < 0.05$);玉米季 N₂O 排放通量与土壤 NO₃⁻-N 浓度呈显著正相关($P < 0.01$);小麦/玉米轮作年 N₂O 排放通量与土壤湿度和土壤 NO₃⁻-N 浓度呈显著正相关($P < 0.05$). 100% M 处理小麦季 N₂O 排放通量与土壤湿度和土壤 NO₃⁻-N 浓度呈显著正相关($P < 0.05$);玉米季 N₂O 排放通量

表 3 N₂O 通量与土壤环境因子的相关性¹⁾

Table 3 Pearson correlation coefficients between N ₂ O flux and the related environmental factors						
处理	时期	土壤湿度	土壤温度	土壤孔隙充水度 (WFPS)	NO ₃ ⁻ -N	NH ₄ ⁺ -N
CK	小麦季	0.699 **	0.072	0.252	0.419	-0.520 *
	玉米季	0.370	0.265	0.480	0.659	-0.422
	全年	0.474 **	0.335 *	0.068	0.288	-0.433
NPK	小麦季	0.156	0.194	0.145	0.139	-0.254
	玉米季	0.784 **	0.135	0.414	0.980 **	-0.188
	全年	0.791 **	0.232	0.120	0.883 **	-0.312
25% M	小麦季	0.120	0.202	0.058	0.407	-0.230
	玉米季	0.373	0.128	0.492	0.968 64 **	-0.294
	全年	0.335 09 *	0.214	0.138	0.914 65 **	-0.332
50% M	小麦季	0.096	0.225	-0.013	0.631 63 **	-0.290
	玉米季	0.395	0.107	0.450	0.575	-0.153
	全年	0.395 97 **	0.274	0.051	0.591 4 **	-0.271
75% M	小麦季	0.394 42 *	0.193	0.202	0.334	-0.248
	玉米季	0.335	0.142	0.551	0.940 5 **	-0.274
	全年	0.355 58 *	0.246	0.055	0.864 67 **	-0.304
100% M	小麦季	0.347 87 *	0.266	0.690 02 **	0.038	-0.037
	玉米季	0.371	0.258	0.518	0.980 47 **	-0.346
	全年	0.363 02 **	0.249	0.053	0.818 73 **	-0.373
全处理	小麦季	0.218 72	0.214 35	0.072 97	0.656 77 **	-0.18760
	玉米季	0.818 35 **	0.139 23	0.476 22	0.975 65 **	-0.277 17
	全年	0.822 76 **	0.248 49	0.084 63	0.897 48 **	-0.337 45

1) * 表示 $P < 0.05$ 显著相关, ** 表示 $P < 0.01$ 极显著相关

与土壤 NO_3^- -N浓度呈显著正相关($P < 0.01$); 小麦/玉米轮作年 N_2O 排放通量与土壤湿度和 NO_3^- -N浓度呈显著正相关($P < 0.01$). 所有处理小麦季 N_2O 排放通量与土壤 NO_3^- -N浓度呈显著正相关($P < 0.01$); 玉米季 N_2O 排放通量与土壤湿度和土壤 NO_3^- -N浓度呈显著正相关($P < 0.01$); 小麦/玉米轮作年 N_2O 排放通量与土壤湿度和 NO_3^- -N浓度呈显著正相关($P < 0.01$).

3 讨论

农田生态系统 N_2O 排放主要源于土壤氮素的硝化和反硝化作用,施肥、灌溉、耕作、土壤理化特性以及气候的季节性变化等直接影响土壤的硝化、反硝化过程,是引起农田土壤 N_2O 排放季节变化的重要因子^[24,25]. 本试验也显示 N_2O 排放与土壤含水量以及硝态氮含量呈显著正相关,充分显示降雨、灌溉以及施肥对 N_2O 排放的影响. Wang等^[26]在华北平原河北栾城的研究也表明,夏玉米生长季的 N_2O 排放高峰主要是发生在施肥、灌水或者降雨之后. 土壤水分通过影响硝化与反硝化过程而影响农田 N_2O 的生成速率,并通过影响 N_2O 在土壤中的扩散与还原速率而影响农田 N_2O 的排放^[27]. 通常,土壤含水量较低的情况下 N_2O 的产生主要来自于硝化过程,土壤含水量较高时 N_2O 主要通过反硝化过程产生,但当土壤含水量既能促进硝化又能促进反硝化过程时, N_2O 生成与排放量会达到最大值^[28,29]. 另外,有研究指出 N_2O 排放通量与土壤温度呈显著正相关或指数相关^[30,31]. 但是本试验发现土壤温度与 N_2O 排放无显著相关性(除CK处理轮作年之外),这可能与当地气候、施肥、灌溉与降雨等因素的综合作用掩盖了温度的效应有关.

总体而言,本试验小麦/玉米轮作一年,结果表明 N_2O 排放呈现为化肥高于有机肥. 目前,对于施用有机肥影响土壤 N_2O 排放的报道较多,但结论不一. 董玉红等^[32]的研究表明,在等氮量的情况下,化肥配合有机肥施用的土壤 N_2O 排放通量大于单施化肥处理;另有研究表明,等氮条件下施用化肥、有机肥(秸秆和饼肥进行堆肥)和1/2化肥+1/2有机肥,处理间 N_2O 排放通量的差异不显著^[17]. 还有研究指出,等氮量施肥条件下,施用猪粪相比于施用化肥能减少农田 N_2O 的排放^[18]. 有机肥施用增加 N_2O 排放可能与有机肥增加土壤有机质含量,促进微生物活动有关^[33]. 当等碳量施用 N_2O 的排放

主要受外源氮供应水平的制约;而当有机肥料等氮量施用 N_2O 排放主要受外源碳供应水平的制约^[34]. 可见,有机肥替代化肥不仅提供了微生物活动所需能量,而且改变了氮素输入形态. 不同研究报道结果的差异性可能与土壤C/N比不同有关,从而影响微生物活动,影响硝化、反硝化过程,最终影响 N_2O 的生成与排放. 有机肥施用无疑可以增加土壤有机碳的含量,较单施化肥处理增加了土壤C/N比,在一定程度上抑制了硝化作用,这也反映在本文有机肥处理土壤硝态氮含量低于化肥处理,由此可能减少了硝化作用过程 N_2O 的排放量^[35];同时由于土壤硝态氮含量总体低于化肥处理(图2),因而也减少硝态氮反硝化的底物浓度,进一步限制了 N_2O 生成与排放. 另外,有机肥还为反硝化细菌提供能量,促使 N_2O 进一步还原为 N_2 ,进而也减少了 N_2O 排放^[36]. 不过本试验各处理施磷量随着有机替代比例增加而增加,钾素投入差异较小(表1),据报道随施磷量增加 N_2O 排放量也增加^[37~39],这意味着本文有机替代处理 N_2O 排放量仍然有进一步降低的空间. 因此,有机替代应该同时考虑氮、磷替代,这样不仅可以显著减少 N_2O 排放量,而且能够高效合理利用磷资源.

本研究结果显示小麦/玉米轮作体系 N_2O 排放系数为0.16%~0.64%,与刘韵等^[16]在紫色土壤上冬小麦/夏玉米轮作 N_2O 排放系数的研究结果相似(0.21%~0.63%),也与郝耀旭^[23]在关中壤土上冬小麦/夏玉米轮作 N_2O 排放系数的结果(0.72%~0.83%)相近. 本文夏玉米季 N_2O 排放系数高于刘运通等^[40]在春玉米试验的结果(0.27%~0.55%),也高于翟振等^[41]报道有机无机肥料配施春玉米农田 N_2O 的排放系数(0.12%~0.49%). 这主要与本研究有机肥均在小麦季施用有关. 上述中国作物体系 N_2O 排放系数均低于IPCC推荐值1%^[42],如果按照IPCC推荐排放系数计算,将明显高估我国农田的 N_2O 排放量. 另外,本文结果也表明有机氮替代比例大于50%可以显著降低 N_2O 的排放强度. 这与有机氮替代比例在50%~75%时,作物产量显著高于化肥处理,而 N_2O 排放量低于化肥处理有关. 郝耀旭等^[23]在陕西关中壤土冬小麦/夏玉米轮作体系也报道了有机无机配施较NPK处理降低了 N_2O 的排放强度. 李燕青等^[43]的研究表明施氮量为 $120\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时,有机肥氮处理的 N_2O 排放强度高于化肥氮处理,而在高于 $120\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 氮水平下,有机氮处

理的 N_2O 排放强度均低于化肥氮处理, 作者认为这种结果的主要原因是施氮量为 $120 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的有机肥处理, 其有机碳投入较低有关。因此, 适量有机肥替代是保证作物产量、实现 N_2O 减排、解决有机肥环境污染问题的重要途径。

4 结论

本研究通过矮土小麦/玉米一个轮作年不同有机氮替代比例下作物产量以及 N_2O 排放的响应, 发现无论有机肥还是化肥均会增加 N_2O 的排放量, 但是随有机氮替代比例的增加, N_2O 的排放量呈逐渐减少趋势, 特别是有机氮替代 75% 和 100% 较单施化肥降低 N_2O 排放量及排放系数。不过小麦/玉米一个轮作年总产量为有机氮替代 50% 和 75% 显著高于单施化肥。综合考虑, 矮土小麦/玉米轮作体系有机氮替代 75% 最好, 可以保证作物产量、实现 N_2O 减排。但是由于试验只进行了一年, 在长期有机替代过程中, 作物产量以及 N_2O 减排的效应如何, 还需进一步研究。

参考文献:

- [1] 彭欢. 低碳经济视角下我国城市土地利用研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2010.
Peng H. The research on urban land utilization in the view of low-carbon economy[D]. Changsha: Hunan University, 2010.
- [2] IPCC. Climate change 2007: mitigation, contribution of working group III to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on climate change[R]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. 499-532.
- [3] 国家发展和改革委员会. 中华人民共和国气候变化初始国家信息通报[M]. 北京: 中国计划出版社, 2004.
- [4] Cui Z L, Chen X P, Zhang F S. Current nitrogen management status and measures to improve the intensive wheat-maize system in China[J]. *Ambio*, 2010, **39**(5-6): 376-384.
- [5] 寇长林, 巨晓棠, 张福锁. 三种集约化种植体系氮素平衡及其对地下水硝酸盐含量的影响[J]. *应用生态学报*, 2005, **16**(4): 660-667.
Kou C L, Ju X T, Zhang F S. Nitrogen balance and its effects on nitrate-nconcentration of groundwater in threeintensivecropping systems of North China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, **16**(4): 660-667.
- [6] 常艳丽, 刘俊梅, 李玉会, 等. 陕西关中平原小麦/玉米轮作体系施肥现状调查与评价[J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2014, **42**(8): 51-61.
Chang Y L, Liu J M, Li Y H, *et al.* Investigation and evaluation of fertilization under winter wheat and summer maize rotation system in Guanzhong Plain, Shaanxi Province[J]. *Journal of northwest A&F University (Natural Science Edition)*, 2014, **42**(8): 51-61.
- [7] Zhou J Y, Gu B J, Schlesinger W H, *et al.* Significant accumulation of nitrate in Chinese semi-humid croplands[J]. *Scientific Reports*, 2016, **6**: 25088.
- [8] Hu K L, Huang Y F, Li H, *et al.* Spatial variability of shallow groundwaterlevel, electrical conductivity and nitrate concentration, and risk assessment of nitrate contamination in North China Plain[J]. *Environment International*, 2005, **31**(6): 896-903.
- [9] 高旺盛, 黄进勇, 吴大付, 等. 黄淮海平原典型集约农区地下水硝酸盐污染初探[J]. *中国生态农业学报*, 1999, **7**(4): 41-43.
Gao W S, Huang J Y, Wu D F, *et al.* Investigation on nitrate pollution in ground water at intensive agricultural region in Huanghe-huaihe-haihe Plain[J]. *Eco-Agriculture Research*, 1999, **7**(4): 41-43.
- [10] Cui Z L, Wang G L, Yue S C, *et al.* Closing the N-use efficiency gap to achieve food and environmental security[J]. *Environmental Science & Technology*, 2014, **48**(10): 5780-5787.
- [11] Rasmussen P E, Goulding K W T, Brown J R, *et al.* Long-term agroecosystem experiments: assessing agricultural sustainability and global change[J]. *Science*, 1998, **282**(5390): 893-896.
- [12] Fan M S, Shen J B, Yuan L X, *et al.* Improving crop productivity and resource use efficiency to ensure food security and environmental quality in China[J]. *Journal of Experimental Botany*, 2012, **63**(1): 13-24.
- [13] Misselbrook T H, Menzi H, Cordovil C. Preface-Recycling of organic residues to agriculture: agronomic and environmental impacts[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2012, **160**: 1-2.
- [14] Rosegrant M W, Koo J, Cenacchi N, *et al.* Food security in a world of natural resource scarcity: the role of agricultural technologies[M]. Washington, DC: International Food Policy Research Institute (IFPRI), 2014.
- [15] 潘媛晴, 吕景智. 大气中甲烷和氧化亚氮排放量与有机成分和无机成分的关系[J]. *辽宁大学学报(自然科学版)*, 2016, **43**(3): 272-276.
Pan Y Q, Lv J Z. The effect of organic and inorganic fertilizers onemissions of methane and nitrous oxide[J]. *Journal of Liaoning University (Natural Sciences Edition)*, 2016, **43**(3): 272-276.
- [16] 刘韵, 柳文丽, 朱波. 施肥方式对冬小麦—夏玉米轮作土壤 N_2O 排放的影响[J]. *土壤学报*, 2016, **53**(3): 735-745.
Liu Y, Liu W L, Zhu B. Effect of fertilization regime on soil N_2O emission from upland field under wheat-maize rotation system[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2016, **53**(3): 735-745.
- [17] 孟磊, 蔡祖聪, 丁维新. 长期施肥对华北典型潮土 N 分配和 N_2O 排放的影响[J]. *生态学报*, 2008, **28**(12): 6197-6203.
Meng L, Cai Z C, Ding W X. Effects of long-term fertilization on N distribution and N_2O emission in fluvo-aquci soil in North China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, **28**(12): 6197-6203.
- [18] Vallejo A, Skiba U M, García-Torres L, *et al.* Nitrogen oxides emission from soils bearing a potato crop as influenced by fertilization with treated pig slurries and composts[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2006, **38**(9): 2782-2793.
- [19] Zhang S L, Yang X Y, Wiss M, *et al.* Changes in physical properties of a loess soil in China following two long-term fertilization regimes[J]. *Geoderma*, 2006, **136**(3-4): 579-587.
- [20] Yang X Y, Ren W D, Sun B H, *et al.* Effects of contrasting soil management regimes on total and labile soil organic carbon fractions in a loess soil in China[J]. *Geoderma*, 2012, **177**: 49-56.

- [21] Yang X Y, Sun B H, Zhang S L. Trends of yield and soil fertility in a Long-term wheat-maize system [J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2014, **13**(2): 402-414.
- [22] Gu J X, Yuan M X, Liu J X, *et al.* Trade-off between soil organic carbon sequestration and nitrous oxide emissions from winter wheat-summer maize rotations; implications of a 25-year fertilization experiment in Northwestern China [J]. *Science of the Total Environment*, 2017, **595**: 371-379.
- [23] 郝耀旭, 刘继璇, 袁梦轩, 等. 长期定位有机物料还田对关中原冬小麦-玉米轮作土壤 N_2O 排放的影响 [J]. *环境科学*, 2017, **38**(6): 2586-2593.
- Hao Y X, Liu J X, Yuan M X, *et al.* Effects of long-term organic amendments on soil N_2O emissions from winter wheat-maize cropping systems in the Guanzhong Plain [J]. *Environmental Science*, 2017, **38**(6): 2586-2593.
- [24] 郑循华, 王明星, 王跃思, 等. 温度对农田 N_2O 产生与排放的影响 [J]. *环境科学*, 1997, **18**(5): 1-5.
- Zheng X H, Wang M X, Wang Y S, *et al.* Impacts of temperature on N_2O production and emission [J]. *Environmental Science*, 1997, **18**(5): 1-5.
- [25] 封克, 殷士学. 影响氧化亚氮形成与排放的土壤因素 [J]. *土壤学进展*, 1995, **23**(6): 35-42.
- Feng K, Yin S X. Factors affecting N_2O formation and emission from soils [J]. *Progress in Soil Science*, 1995, **23**(6): 35-42.
- [26] Wang S B, Song W Z, Su W H, *et al.* Measurements of atmospheric N_2O concentration and its emission fluxes from soil in China [J]. *Science in China*, 1995, **38**(9): 1101-1107.
- [27] 张玉铭, 胡春胜, 张佳宝, 等. 农田土壤主要温室气体 (CO_2 、 CH_4 、 N_2O) 的源/汇强度及其温室效应研究进展 [J]. *中国生态农业学报*, 2011, **19**(4): 966-975.
- Zhang Y M, Hu C S, Zhang J B, *et al.* Research advances on source/sink intensities and greenhouse effects of CO_2 , CH_4 and N_2O in agricultural soils [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2011, **19**(4): 966-975.
- [28] Wolf I, Russow R. Different pathways of formation of N_2O , N_2 and NO in black earth soil [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2000, **32**(2): 229-239.
- [29] Anderson L, Parsons R, Hopkins D W. An Open Gas-Flow System for Investigating the Response of Nitrous Oxide Fluxes from Soil Cores to Different Oxygen Concentrations [A]. In: Van Cleemput O, Hofman G, Vermoesen A, (Eds). *Progress in Nitrogen Cycling Studies* [M]. Dordrecht, Netherlands: Springer, 1996. 507-511.
- [30] 段智源, 李玉娥, 万运帆, 等. 不同氮肥处理春玉米温室气体的排放 [J]. *农业工程学报*, 2014, **30**(24): 216-224.
- Duan Z Y, Li Y E, Wan Y F, *et al.* Emission of greenhouse gases for spring maize on different fertilizer treatments [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2014, **30**(24): 216-224.
- [31] 石洪艾, 李禄军, 尤孟阳, 等. 不同土地利用方式下土壤温度与土壤水分对黑土 N_2O 排放的影响 [J]. *农业环境科学学报*, 2013, **32**(11): 2286-2292.
- Shi H A, Li L J, You M Y, *et al.* Impact of soil temperature and moisture on soil N_2O emission from mollisols under different land use types [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2013, **32**(11): 2286-2292.
- [32] 董玉红, 欧阳竹, 李运生, 等. 不同施肥方式对农田土壤 CO_2 和 N_2O 排放的影响 [J]. *中国土壤与肥料*, 2007, (4): 34-39.
- Dong Y H, Ouyang Z, Li Y S, *et al.* Influence of different fertilization on CO_2 and N_2O fluxes from agricultural soil [J]. *Soils and Fertilizers Sciences in China*, 2007, (4): 34-39.
- [33] Li C S, Frolking S, Butterbach-Bahl K. Carbon sequestration in arable soils is likely to increase nitrous oxide emissions, offsetting reductions in climate radiative forcing [J]. *Climatic Change*, 2005, **72**(3): 321-338.
- [34] Chadwick D R, Pain B F, Brookman S K E. Nitrous oxide and methane emissions following application of animal manures to grassland [J]. *Journal of Environmental Quality*, 2000, **29**(1): 277-287.
- [35] 勾继, 郑循华, 王明星, 等. 华东地区稻麦轮作农田生态系统 N_2O 排放的模拟研究 [J]. *大气科学*, 2000, **24**(6): 835-842.
- Gou J, Zheng X H, Wang M X, *et al.* A simulating study of N_2O emission from a rice-wheat rotation ecosystem in Southeast China [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 2000, **24**(6): 835-842.
- [36] Azam F, Müller C, Weiske A, *et al.* Nitrification and denitrification as sources of atmospheric nitrous oxide-role of oxidizable carbon and applied nitrogen [J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2002, **35**(1): 54-61.
- [37] 黄树辉, 蒋文伟, 吕军, 等. 氮肥和磷肥对稻田 N_2O 排放的影响 [J]. *中国环境科学*, 2005, **25**(5): 540-543.
- Huang S H, Jiang W W, Lü J, *et al.* Influence of nitrogen and phosphorus fertilizers on N_2O emissions in rice fields [J]. *China Environmental Science*, 2005, **25**(5): 540-543.
- [38] White J R, Reddy K R. Influence of nitrate and phosphorus loading on denitrifying enzyme activity in everglades wetland soils [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1999, **63**(6): 1945-1954.
- [39] Jarecki M K, Parkin T B, Chan A S K, *et al.* Cover crop effects on nitrous oxide emission from a manure-treated Mollisol [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2009, **134**(1-2): 29-35.
- [40] 刘运通, 李玉娥, 万运帆, 等. 不同氮磷肥施用对春玉米农田 N_2O 排放的影响 [J]. *农业环境科学学报*, 2011, **30**(7): 1468-1475.
- Liu Y T, Li Y E, Wan Y F, *et al.* Nitrous oxide emissions from spring-maize field under the application of different nitrogen and phosphorus fertilizers [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2011, **30**(7): 1468-1475.
- [41] 翟振, 王立刚, 李虎, 等. 有机无机肥料配施对春玉米农田 N_2O 排放及净温室效应的影响 [J]. *农业环境科学学报*, 2013, **32**(12): 2502-2510.
- Zhai Z, Wang L G, Li H, *et al.* Nitrous oxide emissions and net Greenhouse effect from spring-maize field as influenced by combined application of manure and inorganic fertilizer [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2013, **32**(12): 2502-2510.
- [42] IPCC. Guidelines for national gas inventories [R]. Kanagawa, Japan: Institute for Global Environmental Strategies, 2006.
- [43] 李燕青, 唐继伟, 车升国, 等. 长期施用有机肥与化肥对华北夏玉米 N_2O 和 CO_2 排放的影响 [J]. *中国农业科学*, 2015, **48**(21): 4381-4389.
- Li Y Q, Tang J W, Che S G, *et al.* Effect of organic and inorganic fertilizer on the emission of CO_2 and N_2O from the summer maize field in the North China Plain [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2015, **48**(21): 4381-4389.

CONTENTS

Variation of O ₃ Concentration in Different Regions of Beijing from 2006-2015	WANG Zhan-shan, LI Yun-ting, AN Xin-xin, <i>et al.</i>	(1)
Source Apportionment of Black Carbon Aerosol in the North Suburb of Nanjing	XIAO Si-han, YU Xing-na, ZHU Bin, <i>et al.</i>	(9)
Seasonal Characteristics and Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in PM ₁₀ Around Electroplating Plants	ZHAO Zhen-li, ZHAO Wei-tuo, HUANG Ting, <i>et al.</i>	(18)
Characteristics of Organic and Elemental Carbon in PM ₁₀ and PM _{2.5} in Yulin City, Guangxi	HUANG Jiong-li, CHEN Zhi-ming, MO Zhao-yu, <i>et al.</i>	(27)
Concentrations and Compositions of Different Forms of Nitrogen and Phosphorus in Atmospheric Aerosols in the Qingdao Coastal Region and over the Yellow and Bohai Sea	ZHANG Rui-feng, QI Jian-hua, DING Xue, <i>et al.</i>	(38)
Air Quality Subarea Management: A case study of Guangdong Province	YANG Liu-lin, LI Min-hui, LIAO Cheng-hao, <i>et al.</i>	(49)
Remote Sensing Identification of Urban Black-Odor Water Bodies Based on High-Resolution Images; A Case Study in Nanjing	WEN Shuang, WANG Qiao, LI Yun-mei, <i>et al.</i>	(57)
Simulation of Nitrate Isotopic ($\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{18}\text{O}$) by Coupling the Hydrology and Transport Processes Described by the SWAT Model	WANG Kang, RAN Ning, LIN Zhong-bing, <i>et al.</i>	(68)
Estimation of and Control Strategies for Pollution Loads from Non-point Sources in the Chenghai Watershed	CHEN Xue-kai, LIU Xiao-bo, PENG Wen-qi, <i>et al.</i>	(77)
Distribution Characteristics and Health Risk Assessment of Metals in Drinking Water Sources from the Luhun Reservoir	YU Cong-cong, ZHAO Wei-tuo, GAO Xiao-feng, <i>et al.</i>	(89)
Distribution Characteristics and Health Risk Assessment of Antibiotics in the Water Supply System in Tianjin	ZHANG Xin-bo, SONG Zi, ZHANG Dan, <i>et al.</i>	(99)
Organic Distribution Characteristics and Influence on Drinking Water Quality in the Typical Water Sources for Towns in the Southwest Hilly Area of China	WANG Qiong, LI Nai-wen, LI Lei, <i>et al.</i>	(109)
Health Risk Evaluation of Organochlorine and Organophosphorous Pesticides in Groundwater in Beijing	CHEN Wei-ping, PENG Cheng-wei, YANG Yang, <i>et al.</i>	(117)
Pollution Status and Risks of Dioxin-like Polychlorinated Biphenyls in the Soil of the Yellow River	YAO Hong, LU Shuang, ZHANG Xu, <i>et al.</i>	(123)
Effects of Flooding and Drying on the Transformation of Soil Inorganic Phosphorus in the Water-Level-Fluctuating Zone of the Three Gorges Reservoir, China	ZHOU Jian, LI Chun-hui, ZHANG Zhi-yong, <i>et al.</i>	(130)
Effect of Phosphate on the Ammonium Removal Performance of Iron-Manganese Co-oxide Film in Surface Water Treatment	ZHUO Rui-shuang, HUANG Ting-lin, ZHANG Rui-feng, <i>et al.</i>	(137)
Enhanced Photoelectrocatalytic Oxidation of Cu(CN) ₃ ²⁻ and Synchronous Cathodic Deposition of Cu by Peroxydisulfate	DANG Cong-zhe, LI Yi-bing, WANG Yan-bin, <i>et al.</i>	(145)
Using HKUST-1 as a Template for Copper Oxides Preparation to Activate Peroxymonosulfate for RhB Degradation	PU Jia-yi, WAN Jin-quan, WANG Yan, <i>et al.</i>	(152)
Evaluation of Performance of an Aminated Rosin-based Resin for Adsorption of Norfloxacin from Aqueous Solutions	MA Ya-hong, HUANG Wan-ting, DIAO Kai-sheng, <i>et al.</i>	(161)
Arsenic(V) Removal by Granular Adsorbents Made from Backwashing Residuals from Biofilters for Iron and Manganese Removal	ZENG Hui-ping, LÜ Sai-sai, YANG Hang, <i>et al.</i>	(170)
Arsenic Adsorption and Its Species on Ferrihydrite and Ferrihydrite Colloid	MA Yu-ling, MA Jie, CHEN Ya-li, <i>et al.</i>	(179)
Comparison of Amphoteric-Cationic and Amphoteric-Anionic Modified Magnetic Bentonites: Characterization and Sorption Capacity of Phenol	REN Shuang, MENG Zhao-fu, WANG Teng, <i>et al.</i>	(187)
Pollution Characteristics of Parabens in Typical Sewage Wastewater	ZHAO Xue, ZHANG Zi-feng, ZHU Fu-jie, <i>et al.</i>	(195)
Influence of Hydraulic Retention Time on the Treatment of Polluted River Water by an Activated Carbon Rotating Biological Contactor	XU Wen-jia, CHENG Xiao-ying, <i>et al.</i>	(202)
Removal and Influence of Ciprofloxacin in a Membrane Bioreactor	DAI Qi, LIU Rui, SHU Xiao-ming, <i>et al.</i>	(212)
Operation of the AAO Process Under Low Dissolved Oxygen Conditions and Its Simulation	CAO Te-te, WANG Lin, LI Yong-mei, <i>et al.</i>	(219)
Inhibitory Effects of Phosphate and Recovery on a Nitrification System	GU Cheng-wei, CHEN Fang-min, LI Xiang, <i>et al.</i>	(227)
Effect of Carbon Source on Lab-scale SAD Process in a Wastewater Treatment Plant	LI Dong, ZHAO Shi-xun, WANG Jun-an, <i>et al.</i>	(232)
Effect of Volume Loading Rate (VLR) on Denitrifying Phosphorus Removal by the ABR-MBR Process	LÜ Liang, YOU Wen, WEI Jia-min, <i>et al.</i>	(239)
Combined Process of DNB-F-O ₃ -GAC for Nitrogen and Phosphorus and Metabolite Advanced Removal	ZHONG Li-yan, HAO Rui-xia, WANG Wei-dong, <i>et al.</i>	(247)
Influence of Operating Modes for the Alternating Anoxic/Oxic Process on Biological Nitrogen Removal and Extracellular Polymeric Substances of Activated Sludge	SUN Hong-wei, CHEN Cui-zhong, WU Chang-feng, <i>et al.</i>	(256)
Effects of Nanoscale Zero-valent Iron (nZVI) on Denitrifying Performance of an Upflow Granular Sludge Bed Reactor	ZHOU Feng, WANG Fan-fan, QIAN Fei-yue, <i>et al.</i>	(263)
Influence on Desulfurization Efficiency and Interactions of Fe/S and pH During H ₂ S in situ Depression of High Solid Anaerobic Digestion	HAN Yun, CAO Yu-qin, ZHUO Yang, <i>et al.</i>	(269)
Analysis of Storage Sludge Composition Characteristics and Evolutionary Regularity in the Hunhe River Basin	LIU Tian-tian, CUI Chong-wei, HE Jun-guo, <i>et al.</i>	(276)
Enhancement of Anaerobic Methane Production by Removal of Organic-bonding Metals from Sewage Sludge	LU Yi-qing, XU Ying, DONG Bin, <i>et al.</i>	(284)
Comparison of Different Leaching Methods for Heavy Metals in Sludge Fly Ash and Comprehensive Toxicity Evaluation	WANG Feng, LI Run-dong, LI Yan-long, <i>et al.</i>	(292)
Diurnal Variations of CH ₄ and N ₂ O Fluxes from the Drained Aquaculture Pond in the Minjiang River Estuary During Early Winter	YANG Ping, TAN Li-shan, HUANG Jia-fang, <i>et al.</i>	(300)
Effects of Three Soil Amendments on Greenhouse Gas Emissions From Corn Fields in the Hetao Irrigation District	WU Yan, HONG Mei, LIN Li-long, <i>et al.</i>	(310)
Effect of Organic Manure Substitution of Synthetic Nitrogen on Crop Yield and N ₂ O Emission in the Winter Wheat-Summer Maize Rotation System	HOU Miao-miao, LÜ Feng-lian, ZHANG Hong-tao, <i>et al.</i>	(321)
Dynamics of Rice Photosynthesized Carbon Input and Its Response to Nitrogen Fertilization at the Jointing Stage: ¹³ C-CO ₂ Pulse-labeling	CHEN Shan, ZHU Zhen-ke, YUAN Hong-zhao, <i>et al.</i>	(331)
Profile Distribution of Soil Organic and Inorganic Carbon Under Different Land Use Types in the Loess Plateau of Northern Shaanxi	LAN Zhi-long, ZHAO Ying, ZHANG Jian-guo, <i>et al.</i>	(339)
Effect of Biochar on Ammonia Volatilization from Soils of Different Surface Conditions	ZOU Juan, HU Xue-yu, ZHANG Yang-yang, <i>et al.</i>	(348)
Effects of Straw and Biochar Return in Soil on Soil Aggregate and Carbon Sequestration	XU Guo-xin, WANG Zi-fang, GAO Ming, <i>et al.</i>	(355)
Assessment of the Availability of Soil Copper and Related Influencing Factors at a County Scale	LI Jin-fen, QU Ming-kai, LIU Gang, <i>et al.</i>	(363)
Application of the LUR Model in the Prediction of Spatial Distributions of Soil Heavy Metals	ZENG Jing-jing, SHEN Chun-zhu, ZHOU Sheng-lu, <i>et al.</i>	(371)
Pollution Characteristics and Source Apportionment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Soils of Shenyang North New Area	LI Jia-kang, SONG Xue-ying, WEI Jian-bing, <i>et al.</i>	(379)
Passivation of Simulated Pb- and Cd-Contaminated Soil by Applying Combined Treatment of Phosphate, Humic Acid, and Fly Ash	ZHAO Qing-yuan, LI Xiao-ming, YANG Qi, <i>et al.</i>	(389)
Distribution and Accumulation of Cadmium in Paddy Soil and Rice Affected by Pollutant Sources Control and Improvement Measures	FENG Wen-li, GUO Zhao-hui, SHI Lei, <i>et al.</i>	(399)
Differences in Cd Accumulation in Typical Soils Under the Double Rice System	LI Xin-yang, LONG Jian, WANG Shu-bing, <i>et al.</i>	(406)
Distribution Characteristics of Mercury in Reed Leaves from the Jiapiougou Gold Mine in the Songhua River Upstream	ZHANG Man-yin, LI Meng-jie, CUI Li-juan, <i>et al.</i>	(415)
Effect of Nitrate Amendment on Soil Denitrification Activity and Anthracene Anaerobic Degradation	DAI Jun-shuai, ZUO Xiao-hu, WANG Ming-xia, <i>et al.</i>	(422)
Effects of Long-term Fertilization Regimes on Microbial Biomass, Community Structure and Activity in a Paddy Soil	WANG Wei-hua, LIU Yi, TANG Hai-ming, <i>et al.</i>	(430)
Analysis of Sulfate-Reducing and Sulfur-Oxidizing Prokaryote Community Structures in Marine Sediments with Different Sequencing Technologies	ZHANG Yu, MI Tie-zhu, ZHEN Yu, <i>et al.</i>	(438)
Seasonal and Spatial Variations of Microcystins and Their Relationships with Physicochemical and Biological Factors in Poyang Lake	YUAN Li-juan, LIAO Qie-gen, ZHANG Li, <i>et al.</i>	(450)
Distribution of Multidrug-Resistant Bacteria and Antibiotic-Resistant Genes in Livestock Manures	ZHANG Hao, WANG Pan-liang, YANG Qing-xiang, <i>et al.</i>	(460)
Influence of Air Pollution Control (APC) Systems and Furnace Type on the Characteristics of APC Residues from Municipal Solid Waste Incinerators	ZHANG Hua, YU Si-yuan, SHAO Li-ming, <i>et al.</i>	(467)