

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第6期

Vol.33 No.6

2012

中国科学院生态环境研究中心 主办

科学出版社 出版



目次

我国湖泊富营养化效应区域差异性分析	曹金玲, 许其功, 席北斗, 李小平, 杨柳燕, 江立文, 魏自民, 吴献花 (1777)
基于“源”“汇”景观格局指数的海河流域总氮流失评价	孙然好, 陈利顶, 王伟, 王赵明 (1784)
云蒙湖流域土地利用变化对非点源氮污染负荷的影响	孟晓云, 于兴修, 泮雪芹 (1789)
深圳市沿岸表层海水中全氟化合物的残留特征及其分布规律	陈清武, 张鸿, 柴之芳, 沈金灿, 杨波 (1795)
典型电器工业区河涌沉积物中多环芳烃的分布、来源和潜在生态风险	邓代永, 邱孟德, 孙国萍, 郭俊, 张宏涛, 张琴, 许玫英 (1801)
珠江下游河段沉积物中重金属含量及污染评价	谢文平, 王少冰, 朱新平, 陈昆慈, 潘德博, 洪孝友, 尹怡 (1808)
扎龙湿地南山湖沉积岩芯重金属污染特征及来源判别	苏丹, 臧淑英, 叶华香, 孙丽, 贾晓丹, 李苗 (1816)
汕头湾沉积物磷的形态分布与季节变化特征研究	赵建刚, 乔永民 (1823)
氮磷比对东海浮游植物群落生长影响的微宇宙实验	黄伟, 朱旭宇, 曾江宁, 寿鹿, 陈全震, 江志兵 (1832)
春季福建北部海域浙闽沿岸流消亡期浮游桡足类种类组成及其分布	王彦国, 林景宏, 王春光, 林茂 (1839)
滩涂红树林种植-养殖耦合系统中多环芳烃含量水平分析	陈冠秋, 李耀初, 黄晋沐, 南燕, 林茂宏 (1846)
四溴双酚 A 在 5 种巢湖鱼类体内的组织分布与生物浓缩因子研究	杨苏文, 王圣瑞, 闫振广, 张普青 (1852)
五氯酚对稀有鮐鲫卵黄蛋白原及 p53 的诱导效应	熊力, 马永鹏, 张晓峥, 金帮明, 李伟, 苏永良, 毛思予, 刘堰 (1858)
全氟辛烷磺酸 (PFOS) 对斑马鱼卵黄蛋白原 mRNA 水平的影响	程艳, 崔媛, 党志超, 谢文平, 李海山, 殷缓缓, 陈会明 (1865)
水溶性有机物电子转移能力与荧光峰强度的关系研究	陶亚, 袁田, 周顺桂, 袁勇, 庄莉, 王辉亮 (1871)
MIEX 中试实验对二级出水中有机物去除的 3DEEM 解析	杨建, 高金华, 常江 (1878)
XDLVO 理论解析钙离子对腐殖酸反渗透膜污染的影响机制	姚淑娣, 高欣玉, 郭本华, 包南, 谢慧君, 梁爽 (1884)
栅藻 LX1 在水产养殖废水中的生长、脱氮除磷和油脂积累特性	马红芳, 李鑫, 胡洪管, 于茵, 巫寅虎 (1891)
氯化铁用于反硝化同步化学生物絮凝工艺研究	王宏杰, 董文艺, 刘莉莎, 韩贵超 (1897)
合成氨废水短程反硝化特性研究	李妍, 李泽兵, 马家轩, 王晓毅, 赵白航, 李军 (1902)
基于新型反应器的好氧颗粒污泥的稳定性控制	李志华, 杨帆, 李胜, 谢磊, 王晓昌 (1907)
采用非生长能量代谢参数表征颗粒污泥稳定性	李志华, 吴军, 李胜, 谢磊, 王晓昌 (1913)
酸-碱预处理促进剩余污泥厌氧消化的研究	袁光环, 周兴求, 伍健东 (1918)
小回流比条件下污泥浓度分区试验研究	史思, 王素兰, 李瑞, 邢传宏 (1923)
非离子表面活性剂对污泥调质脱水效果的影响	侯海攀, 濮文虹, 时亚飞, 于文华, 樊明明, 刘欢, 杨昌柱, 李野, 杨家宽 (1930)
中国空气污染指数变化特征及影响因素分析	李小飞, 张明军, 王圣杰, 赵爱芳, 马潜 (1936)
南京 3 类不同大气污染过程下气溶胶水溶性无机离子的特征研究	张秋晨, 朱彬, 苏继峰, 王红磊 (1944)
深圳市郊区大气中 PM _{2.5} 的特征分析	戴伟, 高佳琪, 曹罡, 欧阳峰 (1952)
餐饮业油烟的颗粒物分析	谭德生, 邝元成, 刘欣, 戴飞鸿 (1958)
Fe-MnO _x -CeO ₂ /ZrO ₂ 低温催化还原 NO 性能研究	刘荣, 杨志琴 (1964)
自然型氨基酸及其钾盐的 CO ₂ 吸收和再生特性	晏水平, 陈竞翱, 徐明亮, 艾平, 张衍林 (1971)
耕作方式对紫色水稻土农田生态系统 CH ₄ 和 N ₂ O 排放的影响	张军科, 江长胜, 郝庆菊, 唐其文, 程炳红, 李辉, 陈璐豪 (1979)
垄作覆膜条件下田间氨挥发及影响因素	上官宇先, 师日鹏, 李娜, 韩坤, 李会科, 王林权 (1987)
添加不同 N 源条件下典型除草剂对土壤呼吸和 N ₂ O 排放的影响	孙青, 史淳星, 石坤, 言儒斌, 蒋静艳, 吴以中 (1994)
某石墨阳极法氯碱生产场地二噁英污染特征分析	余立凤, 魏文侠, 田亚静, 吴广龙, 李培中, 赵丹 (2000)
脱硫石膏对酸化森林土壤短期修复效果的研究	罗遥, 康荣华, 余德祥, 谭炳全, 段雷 (2006)
岩溶山地土壤氧化铁形态及其与成土环境的关系	张治伟, 朱章雄, 傅瓦利, 文志林 (2013)
废弃尾矿库 15 种植物对重金属 Pb、Zn 的积累和养分吸收	施翔, 陈益泰, 王树凤, 李江川 (2021)
铬胁迫对 3 种草本植物生长及铬积累的影响	王爱云, 黄姗姗, 钟国锋, 徐刚标, 刘志祥, 申响保 (2028)
湘西花垣矿区主要植物种类及优势植物重金属蓄积特征	杨胜香, 田启建, 梁士楚, 周耀渝, 邹慧成 (2038)
增施 CO ₂ 对 C3 和 C4 植物根际氯氰菊酯残留浓度的影响	慕楠, 刁晓君, 王曙光, 王鹏腾, 李攀峰 (2046)
生物强化去除吡啶的特性及微生物种群动态变化分析	乔琳, 赵宏, 王建龙 (2052)
A/O MBR 处理生活污水效率与菌群多样性的关系	邝斌宇, 史青, Montcho Leon Monthero, 丁嫚, 温东辉 (2061)
石油污染土壤生物修复过程中氮循环功能基因的动态检测	吴彬彬, 卢滇楠, 刘铮 (2068)
武汉市儿童多途径铅暴露风险评估	郝汉舟, 陈同斌, 吴基良, 雷梅, 田辉, 祖文普, 钟学斌 (2075)
电子鼻预处理装置的开发及适用性研究	卜凡阳, 文晓刚, 万梅, 刘锐, 陈吕军, 张永明 (2083)
ToxTell 生物传感器在 Cu ²⁺ 、Cd ²⁺ 冲击活性污泥系统分析中的应用	王学江, 王鑫, 刘免, 吴真, 杨连珍, 夏四清 (2090)
环境样品免疫检测基质效应分析与控制	盛建武, 何苗, 施汉昌 (2095)
热等离子体熔融固化模拟医疗废物的研究	张璐, 严建华, 杜长明, 陆胜勇, 李晓东 (2104)
城市生活垃圾组分低温干燥特性及模型研究	吴亚娟, 刘红梅, 陆胜勇, 严建华, 李晓东 (2110)
厌氧-准好氧联合型生物反应器填埋场产气规律的研究	韩智勇, 刘丹, 李启彬 (2118)
处理垃圾渗滤液的 Fe/C 空气阴极 MFC 性能研究	唐玉兰, 彭漫, 于燕, 何亚婷, 傅金祥, 赵玉华 (2125)
基于冗余分析的典型喀斯特山区土壤-石漠化关系研究	龙健, 廖洪凯, 李娟, 陈彩云 (2131)
北京市能源消费与经济增长关系的协整检验分析	陈操操, 张妍, 刘春兰, 王海华, 李铮 (2139)
《环境科学》征稿简则 (1877)	
《环境科学》征订启事 (1890)	
信息 (1822, 1857, 1896, 2138)	

添加不同 N 源条件下典型除草剂对土壤呼吸和 N₂O 排放的影响

孙青, 史淳星, 石坤, 言儒斌, 蒋静艳*, 吴以中

(南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095)

摘要: 通过室内土壤培养实验, 采用间歇密闭培养-气相色谱法研究了添加不同 N 源条件下我国典型旱地除草剂对农田土壤呼吸和 N₂O 排放的影响。结果表明, 在添加 (NH₄)₂SO₄ 氮源条件下, 莠去津和百草枯对土壤呼吸和 N₂O 排放无显著影响 ($P > 0.05$)。草甘膦显著抑制了土壤呼吸 ($P < 0.05$), 是对照的 78.5%, N₂O 的排放无显著影响 ($P > 0.05$), 仅表现为均值降低了 20.1%。苯磺隆显著促进了土壤呼吸 ($P < 0.05$), 是对照的 1.1 倍, 对 N₂O 排放也无显著影响 ($P > 0.05$)。乙草胺显著促进了土壤呼吸和 N₂O 的排放 ($P < 0.05$), 分别是对照的 1.1 和 1.5 倍。在添加尿素的条件下, 莠去津和乙草胺对土壤呼吸和 N₂O 排放无显著影响 ($P > 0.05$)。百草枯显著促进了 N₂O 的排放 ($P < 0.05$), 是对照的 1.4 倍, 但对土壤呼吸无显著影响 ($P > 0.05$)。草甘膦显著抑制了土壤呼吸 ($P < 0.05$), 仅为对照的 82.5%, 对 N₂O 的排放却无显著影响 ($P > 0.05$)。苯磺隆显著促进了土壤呼吸和 N₂O 的排放 ($P < 0.05$), 其分别是对照的 1.3 和 1.6 倍。鉴于不同除草剂对不同微生物生理代谢影响的复杂性, 其对温室气体的作用和影响还需长期田间试验研究。

关键词: 除草剂; (NH₄)₂SO₄; 尿素; 土壤呼吸; N₂O

中图分类号: X144 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)06-1994-06

Effects of Typical Herbicides on Soil Respiration and N₂O Emissions from Soil Added with Different Nitrogen Fertilizers

SUN Qing, SHI Chun-xing, SHI Kun, YAN Ru-bin, JIANG Jing-yan, WU Yi-zhong

(College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: To investigate the effects of typical herbicides on soil respiration and N₂O emissions from soil added with different nitrogen fertilizers, a laboratory incubation experiment was carried out using a modified gas chromatograph (Agilent 4890D) method. The results showed that with (NH₄)₂SO₄ amendment, soil respiration and N₂O emissions from the Atrazine and Paraquat treatments had no significant difference in comparison to the control ($P > 0.05$). Glyphosate significantly inhibited soil respiration by 21.5% ($P < 0.05$) and had no obvious influence on N₂O emissions ($P > 0.05$). Tribenuron-methyl significantly promoted soil respiration with the increase of 14.3% ($P < 0.05$) and also had no obvious influence on N₂O emissions ($P > 0.05$). Acetochlor significantly increased soil respiration and N₂O emissions ($P < 0.05$) with the increase of 6.1% and 45.1%, respectively. With urea application, Atrazine and Acetochlor had no significant influence on soil respiration and N₂O emissions ($P > 0.05$). Paraquat increased N₂O emissions significantly ($P < 0.05$) with the increase of 43.5% and had no significant influence on soil respiration ($P > 0.05$). Glyphosate significantly inhibited soil respiration by 17.5% ($P < 0.05$), and had no significant influence on N₂O emissions ($P > 0.05$). Tribenuron-methyl enhanced soil respiration and N₂O emissions significantly ($P < 0.05$), and its soil respiration and N₂O emissions were 1.3 and 1.6 times higher than those from the control. Due to the complexity of effects of different herbicides on microbial physiological metabolism, long-term *in-situ* studies need to be carried out to better understand the effect of various herbicides on greenhouse gas emissions.

Key words: herbicide; (NH₄)₂SO₄; urea; soil respiration; N₂O

全球变暖和有机污染加剧是当今极其重要的环境问题, 已经引起国内外学术界的广泛关注。土壤呼吸作为全球碳循环的一个重要组成部分, 直接关系到温室气体的排放, 越来越受到各国研究者的重视^[1,2]。N₂O 是一种重要的温室气体, 农田生态系统是大气 N₂O 的重要源, 农田排放的 N₂O 主要产生于土壤微生物硝化和反硝化过程^[3]。

近年来, 我国农田除草剂施用面积不断以每年 200 万 hm² 的速度扩大^[4]。除草剂与化肥的长

期大量施用作为农田管理的一个重要组成部分, 势必会通过影响土壤微生物生物量及其活性^[5,6], 进而影响农田土壤呼吸和 N₂O 的产生与排放。除草剂对土壤微生物群落的影响, 与除草剂的种类和使用浓度、微生物的种类、土壤性质和实验条件

收稿日期: 2011-08-02; 修订日期: 2011-09-30

基金项目: 国家自然科学基金项目(40975091)

作者简介: 孙青(1988~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为环境污染与全球变化, E-mail: 2010103063@njau.edu.cn

* 通讯联系人, E-mail: lilacjy@njau.edu.cn

等因素有关^[7~9]。目前,关于除草剂对土壤呼吸的研究已有不少报道.荆瑞勇^[10]和周博如^[11]等研究了乙草胺和阿特拉津对土壤微生物数量及土壤呼吸的影响,结果表明乙草胺在培养初期促进土壤 CO₂ 排放速率增加,之后呼吸强度恢复到对照水平,甚至有降低的趋势,阿特拉津对土壤呼吸强度和呼吸总量的影响表现为前期具有促进作用,后期具有抑制作用.林晓燕等^[12]也对苄嘧磺隆对淹水稻田土壤呼吸和酶活性的影响进行了研究.但目前国内外关于除草剂对 N₂O 的影响还鲜有报道. Das 等^[13]研究了丙草胺和苄嘧磺隆单施和混施对水稻田 CH₄ 和 N₂O 排放的影响,结果表明单独喷施苄嘧磺隆和丙草胺都减少了 CH₄ 和 N₂O 的排放,混合使用则增加了 CH₄ 和 N₂O 的排放.目前国内外关于除草剂对温室气体排放影响的研究只关注零星的几种除草剂,将除草剂对土壤呼吸和 N₂O 排放的影响结合起来的研究更少,系统地研究不同种类除草剂对土壤呼吸和 N₂O 排放的影响

还鲜有报道.

本研究主要是通过室内模拟培养实验,分析了不同 N 源施用条件下典型除草剂对土壤呼吸和 N₂O 排放的影响,旨在揭示典型除草剂对土壤呼吸和 N₂O 排放的影响规律,为农田温室气体的估算以及合理使用除草剂提供科学依据.

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试土壤采自江苏省南京市江浦农场,为南京农业大学江浦农场农业生产用土,土壤质地为黏土,有机质含量为 35.04 g·kg⁻¹,全氮 1.65 g·kg⁻¹,pH (H₂O)6.7,土壤容重 1.08 g·cm⁻³.

供试除草剂见表 1.根据除草剂作用机制分类,结合我国目前的需求量,考虑到除草剂在土壤中的半衰期或降解特性,选择了各代表三氮苯类、联吡啶类、有机磷类、磺酰脲类和酰胺类的 5 种典型除草剂进行实验.

表 1 供试除草剂品种、来源和常规用量

Table 1 Variety, source and conventional dosage of the tested herbicides			
除草剂代码	除草剂品种	厂家	田间常规用量
ATZ	莠去津 (Atrazine)	安徽丰乐农化	1 500 g·hm ⁻²
PQ	百草枯 (Parquet)	湖北仙隆化工	3 750 mL·hm ⁻²
GPS	草甘膦 (Glyphosate)	江苏无锡龙邦化工	6 000 mL·hm ⁻²
TBM	苯磺隆 (Tribenuron-methyl)	江苏省激素研究所	225 g·hm ⁻²
AC	乙草胺 (Acetochlor)	江苏绿利来	1 500 mL·hm ⁻²

1.2 实验方法

本实验为室内模拟培养实验,将供试风干土经过 20 目筛过筛后称取 100 g 置于 590 mL 的盐水瓶内,调节土壤水分 0.30 g·kg⁻¹,置于 25℃ 培养箱中预培养一周.预培养完成后,在添加 (NH₄)₂SO₄ 和尿素条件下 (氮肥水平皆为 200 kg·hm⁻²,代码分别为 N 和 U),分别加入上述 5 种除草剂 (按表 1 田间常规用量结合本实验实际面积吸取药液,采用稀释法加入到培养瓶中^[14]),每种除草剂的代码具体见表 1,以不施除草剂作为对照.每处理 3 重复,恒温 (25℃) 恒湿 (重量法调节) 培养,共培养了 40 d.

1.3 分析方法

N₂O 排放及土壤呼吸观测采用间歇密闭培养-气相色谱法分析气体,即每天采样 1 次,每次密闭 4~6 h,通过 60 mL 的注射器外接三通开关,直接从橡胶塞扎入瓶内抽取上部空间的气体样品,气样体积为 30 mL,采完气后敞口恒温恒湿培养,至第 2 次采样,以此类推.

气体样品用 Agilent4890 气相色谱测定.色谱气路系统及仪器分析原理可参见文献^[15]的研究报道. CO₂、N₂O 的排放速率计算公式为: $F = \Delta m / (W \times \Delta t)$ $= \rho \times V \times \Delta c / (W \times \Delta t)$,式中, F 为气体排放速率; ρ 为气体密度, g·L⁻¹; $\rho = \text{相对分子质量} / 22.4 \times 273 / (273 + T)$; V 为培养容器内气体的有效空间 (即土层上部空间), L; Δc 为 Δt 时间内气体浓度差; W 为培养容器内的烘干土重, g; T 为培养温度,℃; Δt 为培养时间, h. 具体各种气体计算公式如下:

$$\text{CO}_2 \text{ 通量 } (F) [\text{ng} \cdot (\text{g} \cdot \text{h})^{-1}] = 44 / 22.4 \times 273 / (273 + T) \times V \times \Delta c / (W \times \Delta t) \times 12 / 44 \times 1\,000$$
$$\text{N}_2\text{O 通量 } (F) [\text{ng} \cdot (\text{g} \cdot \text{h})^{-1}] = 44 / 22.4 \times 273 / (273 + T) \times V \times \Delta c / (W \times \Delta t) \times 28 / 44 \times 1\,000$$

CO₂ 和 N₂O 累积排放量由其排放通量结合培养时间计算得出.

1.4 数据处理

实验结果表示为重复的平均值 ± 标准误. 图表制作采用 EXCEL 软件,用 SPSS 16.0 进行方差分

析,用 Duncan 法进行处理间多重比较。

2 结果与分析

2.1 添加不同 N 源条件下典型除草剂对土壤呼吸动态变化的影响

图 1 和图 2 为模拟旱地分别添加 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 和尿素的条件下,施用典型的除草剂,土壤的呼吸量随培养时间的动态变化。从中可以看出,土壤呼吸对各种除草剂的处理非常敏感,除草剂对土壤呼吸的影响在不同的培养阶段也是不同的。在添加 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 的条件下,整个培养周期内没有明显的排放高峰,对照处理的土壤呼吸在第 2 d 达到排放高峰,是添加尿素的对照处理的排放高峰的 1.3 倍。在添加尿素的条件下,5 种除草剂处理除乙草胺在

培养的第 16 d 达到排放高峰,其余 4 种都在第 1 d 达到排放高峰,莠去津、百草枯、草甘膦和苯磺隆处理的土壤呼吸峰分别是对照的 1.5、1.5、1.5 和 1.9 倍。以除草剂种类和培养时间对土壤呼吸作两因素方差分析,结果表明,在添加 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 的条件下,整个培养时间内,草甘膦处理的土壤呼吸与对照相比,有显著差异 ($P < 0.05$),从均值水平来看,是对照的 73.7%,抑制了土壤呼吸;其余 4 种除草剂处理的土壤呼吸与对照相比,都无显著差异。在添加尿素的条件下,两因素方差分析表明,苯磺隆处理的土壤呼吸与对照相比,有显著差异 ($P < 0.05$),从均值水平来看,是对照的 1.2 倍,促进了土壤呼吸;其余 4 种除草剂处理的土壤呼吸与对照相比,都无显著差异。

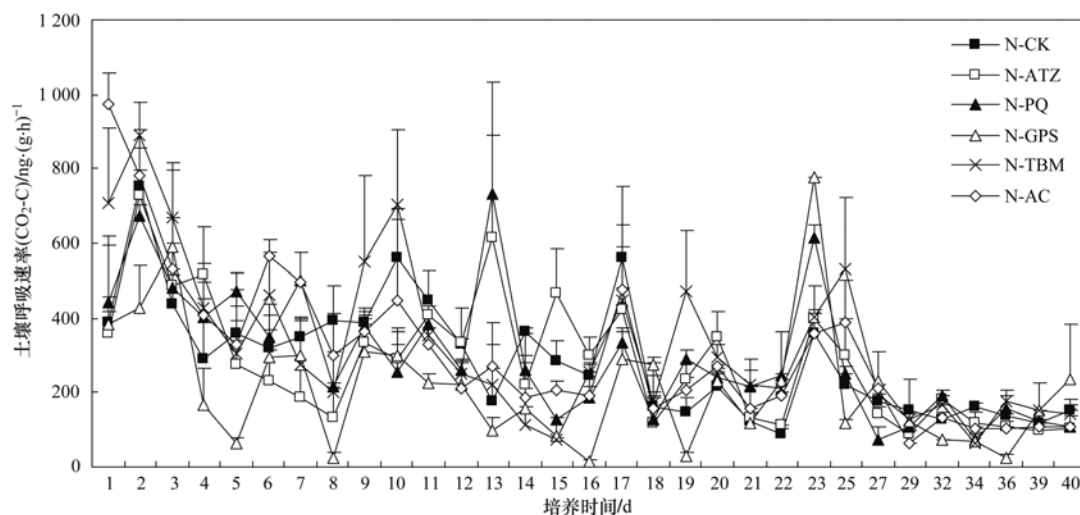


图 1 添加 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 条件下不同除草剂对土壤呼吸的影响

Fig. 1 Effects of different herbicides on soil respiration amended with $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ as N source

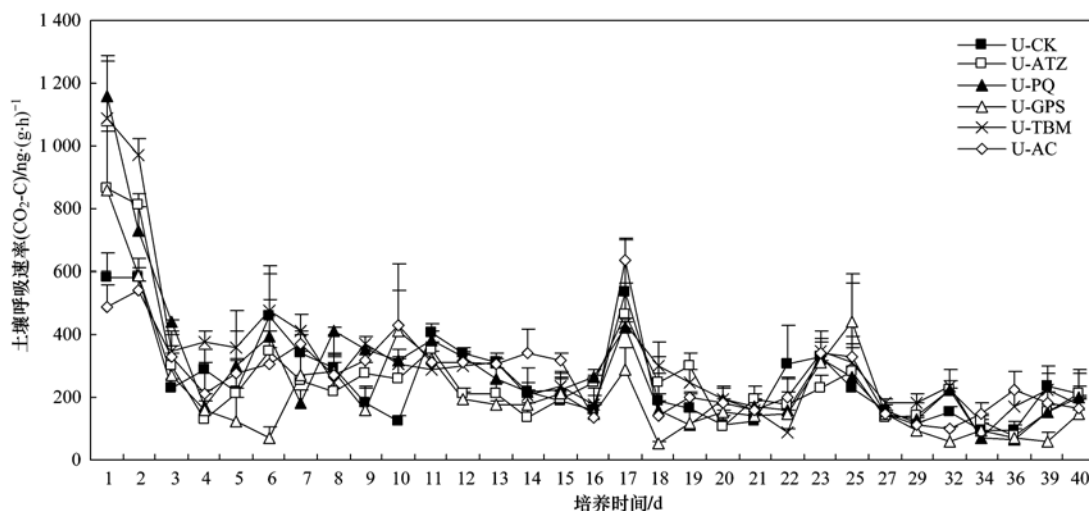


图 2 添加尿素条件下不同除草剂对土壤呼吸的影响

Fig. 2 Effects of different herbicides on soil respiration amended with urea as N source

2.2 添加不同 N 源条件下典型除草剂对 N₂O 排放动态变化的影响

图 3 和图 4 反映了在模拟旱地分别添加 (NH₄)₂SO₄ 和尿素条件下,施用典型的除草剂后土壤 N₂O 的排放量随培养时间变化的动态趋势.两图对比可以看出,添加 2 种 N 肥条件下施用除草剂对土壤 N₂O 排放的影响的变化模式大致相同,都是添加 N 源后第 2 d 左右出现峰值,然后呈现逐渐下降的趋势.在添加尿素的条件下,对照的 N₂O 排放高峰与添加 (NH₄)₂SO₄ 的排放高峰相同,除乙草胺作用下 N₂O 的排放高峰只有添加 (NH₄)₂SO₄ 条件下的 0.8 倍之外,其余 4 种除草剂作用下的 N₂O 的排放高峰都比添加 (NH₄)₂SO₄ 条件下高,其中莠去

津、百草枯、草甘膦、苯磺隆作用下的 N₂O 的排放高峰分别是添加 (NH₄)₂SO₄ 条件下的 1.5、1.5、2.0 和 1.7 倍.以除草剂种类和培养时间对 N₂O 排放作两因素方差分析,结果表明,在添加 (NH₄)₂SO₄ 的条件下,加入莠去津、百草枯和草甘膦的土壤 N₂O 的排放在培养的前 20 d 与对照相比,有显著差异 ($P < 0.05$); 20 d 之后与对照相比,无显著差异 ($P > 0.05$). 加入苯磺隆和乙草胺的土壤 N₂O 的排放在培养的前 23 d 与对照相比,有显著差异 ($P < 0.05$); 23 d 之后,与对照相比,无显著差异 ($P > 0.05$). 在添加尿素的条件下,两因素方差分析表明,培养的前 15 d,加入莠去津、百草枯、草甘膦和苯磺隆的土壤 N₂O 的排放与对照相比,有显著差异 ($P < 0.05$);

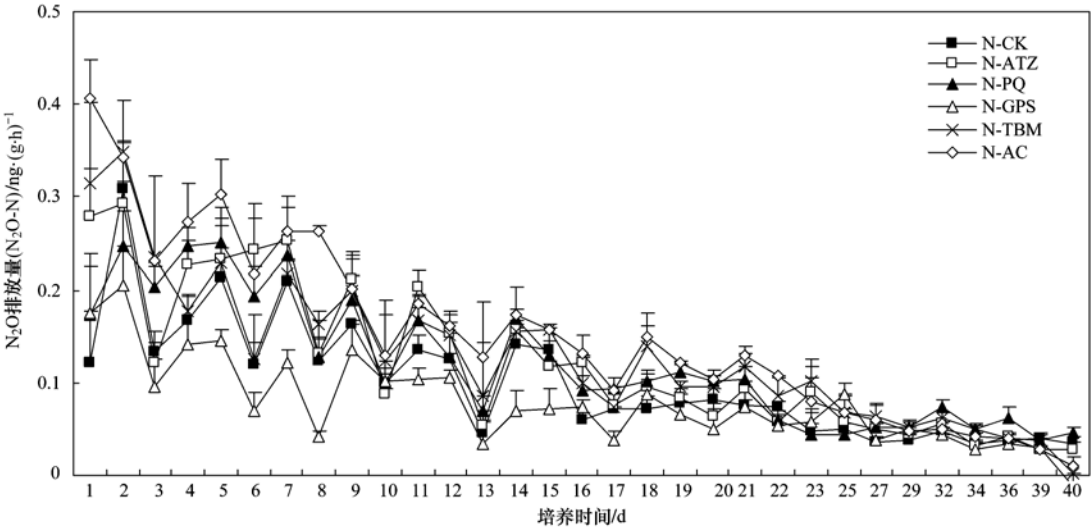


图 3 添加 (NH₄)₂SO₄ 条件下不同除草剂对土壤 N₂O 排放的影响

Fig. 3 Effects of different herbicides on N₂O emissions from soil added with (NH₄)₂SO₄

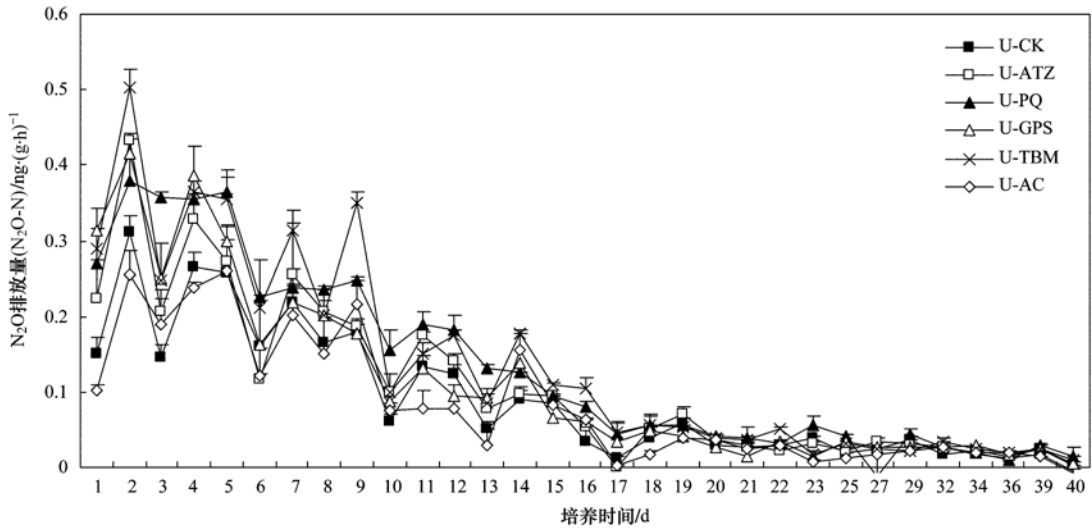


图 4 添加尿素条件下不同除草剂对 N₂O 排放的影响

Fig. 4 Effects of different herbicides on N₂O emissions from soil added with urea

15 d 之后,与对照相比,都无显著差异($P > 0.05$). 乙草胺处理下的土壤 N_2O 的排放在培养的前 2 d 与对照相比,有显著差异($P < 0.05$); 2 d 之后与对照相比,即无显著差异($P > 0.05$).

2.3 添加不同 N 源条件下典型除草剂对土壤呼吸和 N_2O 累积排放的影响

由表 2 可以看出,在添加 $(NH_4)_2SO_4$ 的条件下,莠去津、百草枯、苯磺隆和乙草胺处理 N_2O 排放均值较对照高,这 4 种除草剂的加入都不同程度地促进了 N_2O 的排放,其中乙草胺达到显著促进的水平($P < 0.05$), N_2O 的排放量是对照的 1.5 倍. 而草甘膦处理 N_2O 排放均值较对照降低了 20.1%,但与对照相比,没有显著差异. 同时苯磺隆和乙草胺显著促进了土壤的呼吸($P < 0.05$), CO_2 的累积排放量是对照的 1.1 倍. 而草甘膦则显著抑制了土壤的呼

吸作用($P < 0.05$), CO_2 的累积排放量只有对照的 78.5%. 莠去津与百草枯处理的土壤呼吸与对照相比,无显著差异. 在添加尿素的条件下,培养 40 d 后,莠去津、草甘膦和乙草胺处理与对照相比, N_2O 的累积排放量无明显差异,而其余 2 种除草剂的加入都显著促进了 N_2O 的排放($P < 0.05$), 苯磺隆和百草枯处理 N_2O 的排放分别是对照的 1.6 和 1.4 倍. 同时在添加尿素的条件下,除了草甘膦是显著抑制土壤呼吸之外($P < 0.05$),其余 4 种除草剂都不同程度的增强了土壤呼吸,其中苯磺隆处理与对照相比有显著差异($P < 0.05$),是对照的 1.3 倍. 另外,将表 2 中不同 N 源添加条件下的 N_2O-N 与 CO_2-C 进行线性回归分析,得到线性回归方程 $y = 0.412x - 7.295$ ($R^2 = 0.495$, $P < 0.05$),表明土壤 N_2O 的产生与有机碳的矿化显著相关.

表 2 添加不同 N 源条件下各除草剂处理对土壤呼吸和 N_2O 累积排放量的影响¹⁾/ng·g⁻¹

Table 2 Effects of typical herbicides on soil respiration and N_2O cumulative emissions added with different nitrogen fertilizers/ng·g⁻¹

处理	加 $(NH_4)_2SO_4$		加尿素	
	N_2O-N	CO_2-C	N_2O-N	CO_2-C
CK	83.45 ± 5.10 (bc)	250.61 ± 17.35 (b)	71.90 ± 4.56 (c)	225.81 ± 20.35 (b)
ATZ	99.60 ± 3.66 (ab)	244.00 ± 5.23 (b)	84.49 ± 1.82 (bc)	226.08 ± 4.82 (b)
PQ	101.19 ± 6.56 (ab)	258.13 ± 13.18 (ab)	103.18 ± 4.16 (ab)	243.31 ± 4.07 (b)
GPS	66.69 ± 12.94 (c)	196.77 ± 1.29 (c)	87.76 ± 14.70 (bc)	186.34 ± 14.33 (c)
TBM	107.48 ± 18.30 (ab)	286.57 ± 9.97 (a)	114.59 ± 8.22 (a)	283.31 ± 1.58 (a)
AC	121.10 ± 15.11 (a)	265.80 ± 4.56 (a)	70.30 ± 6.98 (c)	242.67 ± 23.51 (ab)

1) 表中纵栏括号内不同小写字母表示处理间有显著差异($P < 0.05$)

3 讨论

除草剂的加入会影响土壤微生物碳氮含量^[16],影响土壤微生物的群落结构组成及微生物活性,进而影响土壤呼吸. 本研究结果中土壤呼吸累积量包含了尿素水解产生的 CO_2 ,原因一是尿素水解速率受土壤温度^[17]、水分^[18]、pH 值^[19]、质地及土壤中脲酶活性^[20]等的影响,故无法准确估算尿素中的碳施入土壤后是否完全水解转化为 CO_2 的排放数值;二是假定尿素中的碳施入土壤后完全水解转化为 CO_2-C ,结合尿素转化公式及其施入量可计算其释放的 CO_2-C 为 $38 \mu g \cdot g^{-1}$,其与表 2 加尿素各处理土壤呼吸累积量相比,占比基本上小于 20%,即使各处理完全扣除该部分,其除草剂处理与对照之间的比较与未扣除时的结论是一致的,故而表 2 在计算土壤呼吸累积量时未扣除尿素水解部分释放的 CO_2 . 从表 2 中可以看出,2 种氮肥条件下草甘膦都显著抑制了土壤呼吸,此结论与 Araujo 等^[21]利用田间原位实验研究得到的草甘膦对土壤呼吸存在抑制作用的结论基本一致. 本研究关于乙草胺对土壤呼

吸的结果也与荆瑞勇等^[10]研究的乙草胺对土壤微生物数量及土壤呼吸的影响的结果存在一致性. 林晓燕等^[12]研究得到苄嘧磺隆对土壤呼吸具有一定的促进作用,可能是由于土壤的吸附作用使得微生物接触到的除草剂浓度有所下降以及土壤中存在许多能分解这些除草剂的微生物类群,有毒物质的缓慢降解,可能还对其他微生物的生长有刺激作用,进而使微生物数量增加,从而呼吸强度增强^[14],苯磺隆与苄嘧磺隆同样是磺酰脲类除草剂,它们对土壤呼吸的影响可能相似,本研究结果也是无论在何种氮源条件下苯磺隆都显著促进了土壤呼吸.

本研究结果中乙草胺在添加 $(NH_4)_2SO_4$ 的条件下促进了土壤呼吸作用和 N_2O 的排放,而在添加尿素的条件下对二者无显著影响,此结果的原因可能是乙草胺施入土壤后对土壤脲酶表现为抑制作用,由于乙草胺抑制了脲酶的活性^[22],从而可以提高氮肥的利用率,减少 N_2O 的排放. 草甘膦在添加 $(NH_4)_2SO_4$ 的条件下抑制 N_2O 的排放,而在添加尿素的条件下则促进了 N_2O 的排放,此结论的原因可能是草甘膦总体上激活土壤脲酶活性^[23]. 这也与

Sannino 等^[24]的研究结果较为一致,他们发现草甘膦浓度为 1.5 mmol/L 时,22 个土样中除 2 个土样脲酶受到抑制外,其余土样的脲酶受到激活. 丁洪等^[25]所研究的除草剂乙草胺 + 莠去津、丁草胺 + 莠去津、噻磺隆 + 乙草胺对 N_2O 的影响,得到的施用除草剂能显著或极显著降低氮肥产生的 N_2O 排放量的结论,与本研究的结论存在一定的差异,说明不同的除草剂对 N_2O 排放的影响可能不尽相同,单施与混施的结果也可能不尽相同,或许还与土壤类型、除草剂分子结构和除草剂用量等诸多因素有关. 至于不同除草剂具有的不同分子结构是如何影响土壤微生物活性和微生物底物(如 DOC、硝态氮和铵态氮等),尚需进一步研究.

本研究仅是室内模拟实验,采用的是恒温恒湿无植物培养条件,鉴于田间条件的复杂性及不同除草剂对不同微生物生理代谢影响的复杂性,其对温室气体的作用和影响还需长期田间试验研究. 基于本实验的研究结果,结合除草剂田间残留效应,建议农民在相同的除草效果下优先选择草甘膦.

4 结论

在本研究室内培养 40 d 的条件下,不同除草剂对土壤 N_2O 累积排放和土壤呼吸的影响不同,同一除草剂不同 N 源条件对土壤呼吸和 N_2O 累积排放的影响也不完全相同. 添加 $(NH_4)_2SO_4$ 和尿素 2 种氮源条件下,草甘膦对土壤呼吸都表现为显著抑制效应,对 N_2O 累积排放无显著影响,而百草枯、苯磺隆对土壤呼吸和 N_2O 累积排放基本上是促进作用,苯磺隆的促进效应更显著一些. 在添加 $(NH_4)_2SO_4$ 的条件下乙草胺促进了土壤呼吸作用和 N_2O 的排放,而在添加尿素的条件下对二者无显著影响. 2 种氮源条件下莠去津对土壤呼吸和 N_2O 累积排放皆无显著影响,鉴于其田间长残留性其长期影响效应尚需进一步关注.

致谢:感谢资环院杨秀琳老师、刘丽华、秦艳梅、赵妍、汪润池、夏青、褚慧、谢少华、韩新忠等硕士研究生在实验过程中给予的帮助!

参考文献:

- [1] 高会议,郭胜利,刘文兆,等. 施氮水平对黄土旱塬区麦田土壤呼吸变化的影响[J]. 环境科学,2010,31(2):390-395.
- [2] Schimel D S. Terrestrial ecosystems and the carbon cycle[J]. Global Change Biology, 1995, 1(1): 77-91.
- [3] 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.
- [4] 张泽博. 我国农田杂草治理技术的发展[J]. 植物保护,2004,30(2):28-33.
- [5] 赵兰,黎华寿. 四种除草剂对稻田土壤微生物类群的影响[J]. 农业环境科学学报,2008,27(2):508-514.
- [6] 黄顶成,尤民生,侯有明,等. 化学除草剂对农田生物群落的影响[J]. 生态学报,2005,25(6):1451-1458.
- [7] Ghamry El A M, 徐建民,黄昌勇. 除草剂对土壤微生物生物量和氮矿化的影响[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版),1999,25(6):639-644.
- [8] Wardle D A, Rahman A. Side-effects of herbicides on the soil microbial biomass[A]. In: Proceedings of the 1st International Weed Control Congress[C]. Melbourne, Australia: Weed Science Society of Victoria, 1992. 561-564.
- [9] Subhani A, Elghamry A M, Huang C Y, et al. Effects of pesticides (herbicides) on soil microbial biomass-a review[J]. Pakistan Journal of Biological Sciences, 2000, 3(5):705-709.
- [10] 荆瑞勇,王丽艳,谭焕波,等. 乙草胺对土壤微生物数量及土壤呼吸的影响[J]. 土壤通报,2011,42(2):298-301.
- [11] 周博如,王志英,王会研,等. 阿特拉津对土壤微生物类群及土壤呼吸强度的影响[J]. 东北林业大学学报,2009,39(7):82-83.
- [12] 林晓燕,王祎,赵宇华,等. 苯磺隆对淹水稻田土壤呼吸和酶活性的影响[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版),2008,34(1):109-113.
- [13] Das S, Ghosh A, Adhya T K. Nitrous oxide and methane emission from a flooded rice field as influenced by separate and combined application of herbicides bensulfuron methyl and pretilachlor[J]. Chemosphere, 2011, 84(1):54-62.
- [14] 袁树忠,吴进才. 稻田除草剂对水稻生长生理影响的初步研究[J]. 杂草科学,2002,(4):12-14.
- [15] 王跃思,刘广仁,王迎红,等. 一台气相色谱仪同时测定陆地生态系统 CO_2 、 CH_4 和 N_2O 排放[J]. 环境污染治理技术与设备,2003,4(10):84-89.
- [16] 姚斌,张超兰. 除草剂对土壤微生物生物量碳、氮及呼吸的影响[J]. 生态环境,2008,17(2):580-583.
- [17] Xu J G, Heeraman D A, Wang Y. Fertilizer and temperature effects on urea hydrolysis in undisturbed soil[J]. Biology and Fertility of Soils, 1993, 16(1):63-65.
- [18] Sahrawat K L. Effects of temperature and moisture on urease activity in semi-arid tropical soils[J]. Plant and Soil, 1984, 78(3):401-408.
- [19] 李世清,李生秀. 影响土壤尿素水解速率的一些因子[J]. 植物营养与肥料学报,1999,5(2):156-162.
- [20] 董燕,王正银. 尿素在土壤中的转化与植物利用效率[J]. 磷肥与复肥,2005,20(2):76-78.
- [21] Araujo A S F, Monteiro R T R, Abarkeli R B. Effect of glyphosate on the microbial activity of two Brazilian soils[J]. Chemosphere, 2003, 52(5):799-804.
- [22] 荆瑞勇,王丽艳,王彦杰,等. 乙草胺对土壤微生物数量和酶活性的影响[J]. 中国生态农业学报,2010,18(6):1302-1305.
- [23] 呼蕾,和文祥,王旭东,等. 草甘膦的土壤酶效应研究[J]. 农业环境科学学报,2009,28(4):680-685.
- [24] Sannino F, Gianfreda L. Pesticide influence on soil enzymatic activities[J]. Chemosphere, 2001, 45(4-5):417-425.
- [25] 丁洪,王跃思. 除草剂对氮肥反硝化损失与 N_2O 排放的影响[J]. 中国环境科学,2004,24(5):596-599.

CONTENTS

Regional Heterogeneity of Lake Eutrophication Effects in China	CAO Jin-ling, XU Qi-gong, XI Bei-dou, <i>et al.</i> (1777)
Correlating Landscape Pattern with Total Nitrogen Concentration Using a Location-weighted Sink-source Landscape Index in the Haihe River Basin, China	SUN Ran-hao, CHEN Li-ding, WANG Wei, <i>et al.</i> (1784)
Impact of the Land-use Change on the Non-point Source Nitrogen Load in Yunneng Lake Watershed	MENG Xiao-yun, YU Xing-xiu, PAN Xue-qin (1789)
Residue Characteristics and Distributions of Perfluorinated Compounds in Surface Seawater Along Shenzhen Coastline	CHEN Qing-wu, ZHANG Hong, CHAI Zhi-fang, <i>et al.</i> (1795)
Distribution and Potential Ecological Risk of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Sediments from Typical Electronics Industrial Zone	DENG Dai-yong, QIU Meng-de, SUN Guo-ping, <i>et al.</i> (1801)
Residues and Potential Ecological Risk Assessment of Metal in Sediments from Lower Reaches and Estuary of Pearl River	XIE Wen-ping, WANG Shao-bing, ZHU Xin-ping, <i>et al.</i> (1808)
Character and Sources Identification of Heavy Metals Contamination in Sediment from the Core Sediment in Nanshan Lake, the Zhalong Wetland	SU Dan, ZANG Shu-ying, YE Hua-xiang, <i>et al.</i> (1816)
Distribution Characteristics of Phosphorus Forms in Surface Sediments of the Shantou Bay in China	ZHAO Jian-gang, QIAO Yong-min (1823)
Microcosm Experiments on the Influence of Different N/P Ratios on Phytoplankton Community Growth in the East China Sea	HUANG Wei, ZHU Xu-yu, ZENG Jiang-ning, <i>et al.</i> (1832)
Species Composition and Distribution Characteristics of Pelagic Copepods in the Northern Sea of Fujian During Withdraw of Zhe-Min Coastal Current	WANG Yan-guo, LIN Jing-hong, WANG Chun-guang, <i>et al.</i> (1839)
PAHs Concentrations in Aquatic Products and Food Safety Evaluation in the Coupled Mangrove Planting-Aquaculture Ecological System	CHEN Guan-qiu, LI Yao-chu, HUANG Jin-mu, <i>et al.</i> (1846)
Tissue Distribution and Bioconcentration Factors of Tetrabromobisphenol A in Five Fishes in Lake Chaohu	YANG Su-wen, WANG Sheng-rui, YAN Zhen-guang, <i>et al.</i> (1852)
Induction Effects of Pentachlorophenol on Vitellogenin and p53 in Chinese Rare Minnow (<i>Gobiocypris rarus</i>)	XIONG Li, MA Yong-peng, ZHANG Xiao-zheng, <i>et al.</i> (1858)
Effects of Perfluorooctane Sulfonate (PFOS) Exposure on Vitellogenin mRNA Level in Zebrafish (<i>Brachydanio rerio</i>)	CHENG Yan, CUI Yuan, DANG Zhi-chao, <i>et al.</i> (1865)
Relationship Between Electron Transfer Capacity and <i>Fluorescence Characteristics</i> of Dissolved Organic Matter	TAO Ya, YUAN Tian, ZHOU Shun-gui, <i>et al.</i> (1871)
Characterization of the Change in DOM During Municipal Secondary Effluent Treatment with Magnetic Ion Exchange Resin by 3DEEM	YANG Jian, GAO Jin-hua, CHANG Jiang (1878)
Reverse Osmosis Membrane Fouling by Humic Acid Using XDLVO Approach; Effect of Calcium Ions	YAO Shu-di, GAO Xin-yu, GUO Ben-hua, <i>et al.</i> (1884)
Growth, Removal of Nitrogen and Phosphorus, and Lipid Accumulation Property of <i>Scenedesmus</i> sp. LX1 in Aquaculture Wastewater	MA Hong-fang, LI Xin, HU Hong-ying, <i>et al.</i> (1891)
Iron Chloride for Simultaneous Denitrification and Chemical-Biological Flocculation Process	WANG Hong-jie, DONG Wen-yi, LIU Li-sha, <i>et al.</i> (1897)
Characteristic Research of Shortcut Denitrification in Synthetic Ammonia Industrial Wastewater Treatment Process	LI Yan, LI Ze-bing, MA Jia-xuan, <i>et al.</i> (1902)
Stability Control of Aerobic Granules Using an Innovative Reactor	LI Zhi-hua, YANG Fan, LI Sheng, <i>et al.</i> (1907)
Description of the Stability of Granules Using Nongrowth-related Parameters	LI Zhi-hua, WU Jun, LI Sheng, <i>et al.</i> (1913)
Enhancement of Anaerobic Digestion of Excess Sludge by Acid-Alkali Pretreatment	YUAN Guang-huan, ZHOU Xing-qiu, WU Jian-dong (1918)
Pilot Validation of Sludge Concentration Partition at Small Reflux Ratio Condition	SHI Si, WANG Su-lan, LI Rui, <i>et al.</i> (1923)
Influence of Non-ionic Surfactants on Sludge Dewaterability	HOU Hai-pan, PU Wen-hong, SHI Ya-fei, <i>et al.</i> (1930)
Variation Characteristics and Influencing Factors of Air Pollution Index in China	LI Xiao-fei, ZHANG Ming-jun, WANG Sheng-jie, <i>et al.</i> (1936)
Characteristics of Aerosol Water-Soluble Inorganic Ions in Three Types Air-Pollution Incidents of Nanjing City	ZHANG Qiu-chen, ZHU Bin, SU Ji-feng, <i>et al.</i> (1944)
Characterization of Atmospheric PM _{2.5} in the Suburb of Shenzhen	DAI Wei, GAO Jia-qi, CAO Gang, <i>et al.</i> (1952)
Analysis on Oil Fume Particles in Catering Industry Cooking Emission	TAN De-sheng, KUANG Yuan-cheng, LIU Xin, <i>et al.</i> (1958)
Low-Temperature Catalytic Reduction of NO over Fe-MnO _x -CeO ₂ /ZrO ₂ Catalyst	LIU Rong, YANG Zhi-qin (1964)
CO ₂ Absorption and Regeneration Performance of a Natural Amino Acid and Its Potassium Salt	YAN Shui-ping, CHEN Jing-ao, XU Ming-liang, <i>et al.</i> (1971)
Effects of Tillage-Cropping Systems on Methane and Nitrous Oxide Emissions from Agro-Ecosystems in a Purple Paddy Soil	ZHANG Jun-ke, JIANG Chang-sheng, HAO Qing-ju, <i>et al.</i> (1979)
Factors Influencing Ammonia Volatilization in a Winter Wheat Field with Plastic Film Mulched Ridges and Unmulched Furrows	SHANGGUAN Yu-xian, SHI Ri-peng, LI Na, <i>et al.</i> (1987)
Effects of Typical Herbicides on Soil Respiration and N ₂ O Emissions from Soil Added with Different Nitrogen Fertilizers	SUN Qing, SHI Chun-xing, SHI Kun, <i>et al.</i> (1994)
Analysis of Characteristics of Dioxin Contamination in the Chlor-alkali Site that Uses Graphite Anode for Production	YU Li-feng, WEI Wen-xia, TIAN Ya-jing, <i>et al.</i> (2000)
Effect of Flue Gas Desulfurization Gypsum Application on Remediation of Acidified Forest Soil	LUO Yao, KANG Rong-hua, YU De-xiang, <i>et al.</i> (2006)
Morphology of Soil Iron Oxides and Its Correlation with Soil-Forming Process and Forming Conditions in a Karst Mountain	ZHANG Zhi-wei, ZHU Zhang-xiong, FU Wa-li, <i>et al.</i> (2013)
Pb, Zn Accumulation and Nutrient Uptake of 15 Plant Species Grown in Abandoned Mine Tailings	SHI Xiang, CHEN Yi-tai, WANG Shu-feng, <i>et al.</i> (2021)
Effect of Cr(VI) Stress on Growth of Three Herbaceous Plants and Their Cr Uptake	WANG Ai-yun, HUANG Shan-shan, ZHONG Guo-feng, <i>et al.</i> (2028)
Bioaccumulation of Heavy Metals by the Dominant Plants Growing in Huayuan Manganese and Lead/Zinc Mineland, Xiangxi	YANG Sheng-xiang, TIAN Qi-jian, LIANG Shi-chu, <i>et al.</i> (2038)
Effect of CO ₂ Fertilization on Residual Concentration of Cypermethrin in Rhizosphere of C3 and C4 Plant	MU Nan, DIAO Xiao-jun, WANG Shu-guang, <i>et al.</i> (2046)
Bioaugmented Removal of Pyridine and the Microbial Community Dynamic Analysis	QIAO Lin, ZHAO Hong, WANG Jian-long (2052)
Relationship Between Sewage Treatment Efficiency and Bacterial Community Diversity in an A/O MBR	KUANG Bin-yu, SHI Qing, Montcho Leon Monthero, <i>et al.</i> (2061)
Dynamic Changes in Functional Genes for Nitrogen Cycle During Bioremediation of Petroleum-Contaminated Soil	WU Bin-bin, LU Dian-nan, LIU Zheng (2068)
Risk Assessment of Lead Exposure from Different Intake Pathways for Children in Wuhan City	HAO Han-zhou, CHEN Tong-bin, WU Ji-liang, <i>et al.</i> (2075)
Implementation of a Pretreatment Device for an Electronic Nose	BU Fan-yang, WEN Xiao-gang, WAN Mei, <i>et al.</i> (2083)
Copper and Cadmium Toxicities to Activated Sludge Investigated with ToxTell Biosensor	WANG Xue-jiang, WANG Xin, LIU Mian, <i>et al.</i> (2090)
Matrix Effect and Control of Immunoassay for Environmental Samples	SHENG Jian-wu, HE Miao, SHI Han-chang (2095)
Study on Vitrification of Simulated Medical Wastes by Thermal Plasma	ZHANG Lu, YAN Jian-hua, DU Chang-ming, <i>et al.</i> (2104)
Study on the Low Temperature Drying of Components of Municipal Solid Waste and Its Model Analysis	WU Ya-juan, LIU Hong-mei, LU Sheng-yong, <i>et al.</i> (2110)
Aerogenesis Evolution of the Anaerobic-semiaerobic Bioreactor Landfill	HAN Zhi-yong, LIU Dan, LI Qi-bin (2118)
Performance of Microbial Fuel Cells with Fe/C Catalyst Carbon Felt Air-Cathode for Treating Landfill Leachate	TANG Yu-lan, PENG Man, YU Yan, <i>et al.</i> (2125)
Relationships Between Soil and Rocky Desertification in Typical Karst Mountain Area Based on Redundancy Analysis	LONG Jian, LIAO Hong-kai, LI Juan, <i>et al.</i> (2131)
Energy Consumption and GDP Growth in Beijing: Cointegration and Causality Analysis	CHEN Cao-cao, ZHANG Yan, LIU Chun-lan, <i>et al.</i> (2139)

《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 汤鸿霄 陈吉宁 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)

2012年6月15日 33卷 第6期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 33 No. 6 Jun. 15, 2012

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: 70.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行人