

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)
五氯酚对稀有鮎鲫卵黄蛋白原及 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)	

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*

(西北农林科技大学资源环境学院, 杨凌 712100)

摘要: 通过大田试验, 采用密闭法研究了垄沟覆膜栽培条件下冬小麦生育期内土壤氨挥发动态过程及相关土壤理化性质。结果表明, 生育期内垄沟覆膜处理氨挥发累积量(以 N 计)为 $(1.66 \pm 0.3) \sim (3.28 \pm 0.51) \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 常规栽培为 $(4.68 \pm 0.35) \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 垄作栽培比常规栽培减少了 29.8% ~ 63.8%, 氮肥损失率从常规栽培的 1.9% 下降到了 0.3% ~ 0.8%。小麦生育期内土壤氨挥发率先升后降, 冬前高、冬后低。常规栽培土壤氨挥发主要发生在越冬前, 其挥发量占总挥发量的 82%; 而垄作栽培的越冬前挥发量只占挥发总量的 49% ~ 61%。越冬前常规栽培土壤氨挥发速率受土壤铵态氮浓度和土壤含水量的共同影响; 而垄作条件下土壤氨挥发主要受土壤铵态氮浓度影响, 地表温度和土壤含水量通过土壤铵态氮间接影响氨挥发。返青后 2 种栽培模式下的氨挥发主要受土壤铵态氮浓度的影响。常规栽培和垄沟覆膜高施氮量条件下土壤氨挥发累积量动态过程符合对数函数; 而不施肥和垄沟覆膜低施氮量条件下的动态过程可以用线性函数表示。垄沟覆膜栽培在一定程度上改变了土壤氨挥发机制和过程, 显著降低土壤氨挥发和氮肥损失。

关键词: 氮肥; 氨挥发; 土壤湿度; 地表温度; 冬小麦

中图分类号: X171.5; S153 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)06-1987-07

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, HAN Kun, LI Hui-ke, WANG Lin-quan

(College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling 712100, China)

Abstract: The objective of this experiment was to quantify ammonia volatilization from a winter wheat field with plastic film mulched-ridges and unmulched-furrows (PMRF). The trial was conducted during the 2010-2011 winter wheat growing season at Yangling, Shaanxi Province. Ammonia volatilization from the soil was measured using the closed-chamber method. The results indicated that NH_3 emission losses ranged between (1.66 ± 0.3) and $(3.28 \pm 0.51) \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ in the PMRF treatment. In comparison, the NH_3 emission loss was $(4.68 \pm 0.35) \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ in the conventional tillage treatment (i. e., smooth soil surface). The PMRF treatment reduced NH_3 emissions by 29.8 to 63.8% compared with the conventional treatment. The NH_3 emission losses were equivalent to 1.9% of the applied N in the conventional practice treatment. In contrast, the losses were equivalent to only 0.3% to 0.8% of the applied N in the PMRF treatment. Ammonia emissions were greatest during the first two weeks after sowing. Emissions before winter accounted for 82% of total NH_3 emission in the conventional practice treatment, but only 49% to 61% of the total NH_3 emission in the PMRF treatment. The soil NH_4^+ -N content and the soil moisture content had direct effects on NH_3 emission before winter in the conventional treatment. In the PMRF treatment, the soil NH_4^+ -N content had a direct effect on NH_3 emission before winter, whereas soil surface temperature and soil moisture had indirect effects. Ammonia emissions after the greening stage were mainly influenced by the soil NH_4^+ -N content. Simulation results indicated that logarithmic functions best described cumulative NH_3 emission in the PMRF + high N rate treatment and the conventional treatment. A linear function best described cumulative NH_3 emission in the PMRF + low N rate treatment and the unfertilized treatment. In conclusion, the PMRF treatment can significantly reduce N losses from winter wheat fields by changing the spatial-temporal dynamics of soil NH_3 volatilization.

Key words: nitrogen fertilizer; ammonia volatilization; soil moisture; soil temperature; winter wheat

中国是世界上氮肥生产和使用量最大的国家^[1], 但氮肥利用率仅为 30% ~ 35%^[2], 损失率高达 30% ~ 50%, 其中氨挥发是氮肥气态损失的重要途径^[3, 4], 其损失量占施 N 量的 0.41% ~ 40%^[5, 6]。施肥产生的氨挥发不仅造成了巨大的经济损失, 还会产生不良环境效应^[7]。进入到大气的氨气对酸沉降、湖泊富营养化和温室效应等有直接或间接的影响^[8, 9]。据观测, 绝大部分进入大气的 NH_3 会在短时间内通过干、湿沉降返回地表^[10], 部分会被氧化

成氮氧化合物, 这给环境安全带来巨大的威胁。如何减少氨挥发损失, 提高氮肥利用率, 充分发挥氮肥增产效益, 保护生态环境是我国农业亟待解决的问题^[11]。

水分胁迫和养分胁迫是旱地作物生长的 2 个主

收稿日期: 2011-08-29; 修订日期: 2011-12-26

基金项目: 国家自然科学基金项目(30571085)

作者简介: 上官宇先(1987~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为农业温室气体排放, E-mail: 1987329002@nwsuaf.edu.cn

* 通讯联系人, E-mail: linquanw@yahoo.com.cn

要限制因子^[12],在旱作农业中采用地面覆盖可以有效减少土壤水分蒸发,提高降水利用率^[13, 14].地膜微垄集雨技术,将地膜覆盖技术与传统的垄作种植技术相结合,充分发挥垄作与覆膜两者优势,具有良好的经济效益与生态效应.垄沟覆膜栽培改变了土壤微环境,势必对土壤氮素形态转化和平衡产生效应.魏宗强等^[15]的研究表明覆盖措施能够显著减少鸡粪堆肥过程中氨的挥发,但覆盖措施下土壤氨挥发的研究较少.因此本研究分析了垄作覆膜栽培模式下冬小麦土壤氨挥发规律及影响因素,以期对垄作覆膜栽培模式的生态环境效应评估提供理论依据.

1 材料与方法

1.1 试验地概况与供试材料

试验于2010年10月~2011年6月在西北农林科技大学农作一站进行,该站位于黄土高原南部, N 34°18', E 108°04', 属半湿润易旱区,海拔524 m.降水主要集中在7~9月,年均降水量为550~600 mm;年平均气温13℃.2004~2010年冬小麦生育期平均降水265.7 mm,2010~2011年小麦生育期间当地降雨及气温变化见图1,总降水量220 mm,与往年相比降水偏少;≥10℃有效积温1418℃.土壤类型为红油土,0~20 cm土壤基本理化性质如下:土壤有机质14.6 g·kg⁻¹,碱解氮34.6 g·kg⁻¹, pH值为8.0,速效磷(P)15.7 g·kg⁻¹,速效钾(K)189.8 g·kg⁻¹.供试冬小麦品种为小偃22,氮肥为尿素(N≥46%),磷肥为过磷酸钙(P₂O₅≥16%).

1.2 试验设计

本试验设置2个栽培模式:常规栽培和垄沟覆膜栽培.常规栽培设2个施氮处理:常规栽培不施肥(CK)和常规栽培180 kg·hm⁻² (TF180);垄沟覆膜栽培设3个施氮处理,垄作栽培120 kg·hm⁻² (RM120)、垄作栽培180 kg·hm⁻² (RM180)和垄作栽培240 kg·hm⁻² (RM240)等,共计5个处理.播种量为112.5 kg·hm⁻².各小区施P₂O₅120 kg·hm⁻²做肥底.每个处理重复3次.2010年10月16日播种,2011年6月6日收获.

试验小区面积为14.4 m² (3.6 m×4 m),每小区6垄,垄的结构为:垄宽25 cm,垄沟宽35 cm,垄高15 cm.垄上覆膜,每垄两侧各种1行,共计播种12行/区.

施肥方法:垄作栽培为垄下集中施肥,先开沟将肥料均匀条施,后覆土起垄,垄上覆膜.常规栽培

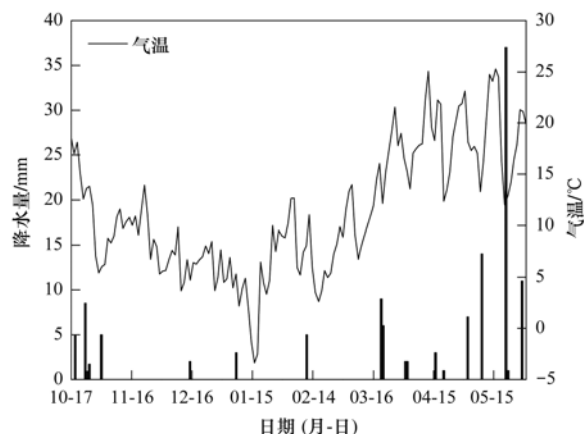


图1 小麦生育期内的降雨与气温

Fig. 1 Precipitation amounts and air temperature during the winter wheat growing season

(平作)区施肥方式为播种前将肥料均匀撒在地表,然后用锄头深翻15 cm左右,与土壤混匀.各小区的肥料均一次施入,不施追肥,不灌水.施肥播种后在各小区设置氨挥发捕获装置,采用密闭法测定田间土壤的氨挥发.同时测定0~20 cm土壤温度、土壤含水量和土壤硝、铵态氮含量等.

1.3 捕获装置与测定方法

氨捕获装置由PVC硬质塑料制成下方敞开的正方体捕获箱,规格为20 cm×20 cm×20 cm.从施肥当天开始,将捕获箱随机扣置于小区内,箱内放1个装有20 mL 2%硼酸溶液的培养皿.平作小区随机放置2个捕获装置,垄作覆膜小区垄上和垄沟中分别放置1个捕获装置,次日或隔日取样.取样时,将培养皿中的吸收液迅速倒入预先准备好的塑料瓶中密闭保存.用蒸馏水润洗培养皿,将20 mL 2%的硼酸溶液加入培养皿中,迅速用捕获箱盖住,开始下一次氨吸收过程.前2周,每2 d取1次样;以后视测到的挥发氨量多少,取样间隔可延长到1周,直至到土壤上冻为止,遇降雨时测定顺延,来年轻小麦返青后重新开始测定.氨挥发捕获装置回收率以及大田试验氨挥发速率的计算均参照文献^[16]的研究.

由下式计算田间土壤的氨挥发速率:

$$\text{NH}_3\text{-N} [\text{kg} \cdot (\text{hm}^{-2} \cdot \text{d})^{-1}] = [M / (S \times t)] \times 10^4$$

式中, M 为单个装置平均每次测得的氨挥发量; S 为收集装置的横截面积(m²); t 为每次连续收集的时间(d).累计氨挥发量为各时期测得的氨挥发量总和.

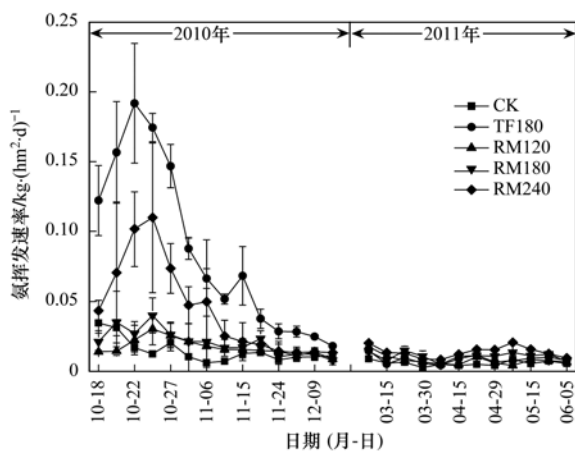
土壤水分采用烘干法测定,土壤硝态氮和铵态氮采用1 mol·L⁻¹ KCl浸提,AA-3连续流动分析仪测定,土壤温度使用地温计测定.

采用 PASW 17.0、ORIGIN 8.0 数据处理系统进行试验数据的统计分析和制图。

2 结果与分析

2.1 土壤氨挥发速率

由图 2 可以看出,越冬前土壤氨挥发速率波动明显,施肥后土壤氨挥发速率迅速上升,在施肥后一周产生氨挥发的峰值,随后迅速下降。其中常规栽培(TF180)处理的氨挥发峰值(以 N 计,下同)在施肥后第 6 d 出现,达到了 $0.19 \text{ kg} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{d})^{-1}$,垄作处理的氨挥发速率的峰值出现在第 8 d,分别为: RM120 的 $0.03 \text{ kg} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{d})^{-1}$ 、RM180 的 $0.04 \text{ kg} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{d})^{-1}$ 和 RM240 的 $0.11 \text{ kg} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{d})^{-1}$ 。常规栽培(TF180)的氨挥发速率显著高于垄作处理。返青后各个处理土壤氨挥发速率大幅度下降,但在扬花期(5 月 10 日左右)出现了一个弱峰值。与越冬前相反,TF180 处理氨挥发速率显著小于垄作处理,变化幅度也比垄作处理平稳。垄作处理的氨挥发速率随着施肥量的增加逐渐升高,其中 RM240 处理的土壤氨挥发速率高、波动大。



图中数据为 3 个重复的平均值,误差棒代表标准差,下同

图 2 小麦生育期内土壤氨挥发速率

Fig. 2 Changes in soil NH_3 volatilization rates during the winter wheat growing season

2.2 土壤铵态氮浓度变化

施入尿素后土壤铵态氮浓度迅速上升,其中 RM240 处理土壤铵态氮浓度上升速率最快,各处理土壤铵态氮浓度(以 NH_4^+ 计,下同)在第 8 d 达到峰值,分别为 TF180 的 $114 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、RM120 的 $257 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、RM180 的 $304 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 RM240 的 $613 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (图 3)。其中垄作处理土壤铵态氮峰值明显,而 TF180 处理土壤铵态氮的浓度在施肥后 8 d

内变化平稳,之后开始出现下降趋势,1 个月后与对照处理无明显差异。越冬前垄作处理土壤铵态氮浓度始终高于 TF180 处理。

返青后,垄作处理土壤铵态氮浓度变化较大,但总体呈下降趋势。到小麦成熟期时,除了 RM240 略高外,其余几个处理的土壤铵态氮浓度差异很小。

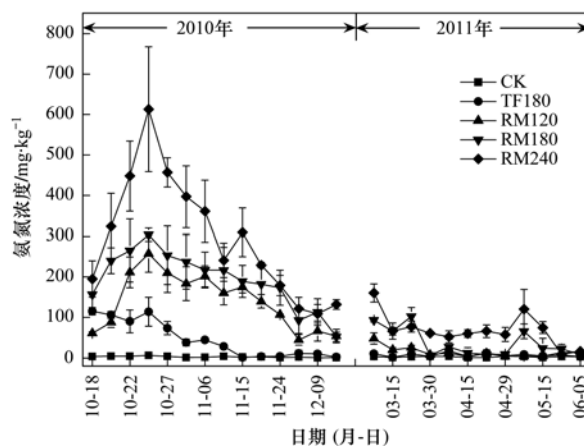


图 3 小麦生育期内土壤铵态氮变化

Fig. 3 Changes in the NH_4^+ -N concentration of topsoil during the winter wheat growing season

2.3 土壤硝态氮浓度变化

越冬前各个处理土壤硝态氮浓度逐渐上升,在 12 月中旬达到最高。在 10 ~ 11 月,TF180 处理土壤硝态氮浓度一直高于垄作处理,在 12 月 1 日达到峰值(以 NO_3^- 计,下同),为 $208.7 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,随后出现下降。而垄作各个处理土壤硝态氮含量峰值出现较晚, RM120 在 12 月 1 日,为 $198 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, RM180 和 RM240 处理峰值出现在 12 月 17 日,分别为 $252 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $301 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (图 4)。返青后各个处理土壤硝态氮含量均有下降的趋势,其中 TF180 处理土

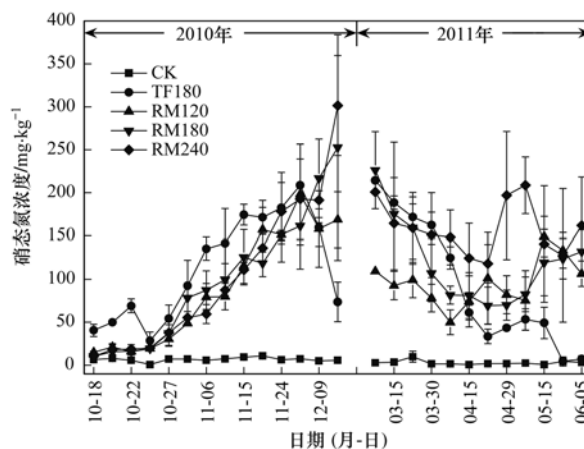


图 4 小麦生育期土壤硝态氮变化

Fig. 4 Changes in the soil NO_3^- -N concentration during the winter wheat growing season

壤硝态氮浓度下降较快,而垄沟处理的土壤硝态氮含量下降速度缓慢,小麦生育后期土壤硝态氮含量较高, RM240 处理在 5 月上旬又出现一个小峰值. 说明垄作覆膜处理在冬前有抑制或延缓硝化作用的效应,而冬后有保氮效应.

2.4 不同处理土壤氨挥发累积量

由表 1 可以看出,不同处理的氨挥发累积量差异显著. 不施肥(CK)处理氨挥发量(以 N 计,下同)最低为: $(1.29 \pm 0.08) \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, TF180 处理土壤氨挥发量最高,达 $(4.68 \pm 0.35) \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 占施入肥料的 1.9%. 垄作处理氨挥发量较少,其中 RM120 处理的氨挥发最低为: $(1.66 \pm 0.34) \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, RM180 处理的氨挥发量为: $(2.16 \pm 0.49) \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, RM240 处理为: $(3.28 \pm 0.51) \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$; 其氮肥损失率均小于 1%. TF180 处理越冬前氨挥

发量占总氨挥发量的比例最达 81.96%. 垄作处理越冬前氨挥发量占总挥发量的比例仅为 49.12% ~ 61.04%. 垄作处理越冬前土壤氨挥发量显著小于 TF180 处理. 相同施肥量下,垄作比常规栽培氨挥发减少了一半多.

2.5 土壤氨挥发速率的机制模型

越冬前土壤氨挥发速率(Y)与土壤铵态氮浓度(c)、地表气温(T)、土壤含水量(W)之间的模拟结果见表 2. 常规栽培模式下,土壤铵态氮浓度和土壤含水量对氨挥发速率有显著的影响. 垄作模式下,土壤铵态氮浓度对氨挥发有显著影响,土壤湿度和温度影响不显著,而地表温度和土壤含水量与铵态氮浓度的相互作用显著. 因此土壤铵态氮浓度是土壤氨挥发的决定因素,地表温度和土壤含水量通过影响土壤铵态氮浓度间接影响土壤氨挥发.

表 1 氨挥发累积量及损失率

Table 1 Accumulation and loss of ammonia

处理	越冬前累积量 (以 N 计)/ $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$	占比例 /%	返青后累积量 (以 N 计)/ $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$	占比例 /%	总累积量 (以 N 计)/ $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$	氮肥损失率 /%
CK	0.74 ± 0.05	57.56	0.55 ± 0.03	42.40	$1.29 \pm 0.08 \text{ d}$	—
TF180	3.84 ± 0.28	81.96	0.84 ± 0.06	18.04	$4.68 \pm 0.35 \text{ a}$	1.9 ± 0.05
RM120	0.92 ± 0.19	55.26	0.74 ± 0.15	44.74	$1.66 \pm 0.34 \text{ d}$	0.3 ± 0.2
RM180	1.06 ± 0.24	49.12	1.10 ± 0.25	50.88	$2.16 \pm 0.49 \text{ c}$	0.5 ± 0.3
RM240	2.00 ± 0.31	61.04	1.28 ± 0.20	28.96	$3.28 \pm 0.51 \text{ b}$	0.8 ± 0.2

1) 损失率 = (不同处理的累积量 - 对照处理的累积量) / 施入的氮肥量; 数据后不同小写字母分别表示处理间差异达 5% 显著水平

表 2 越冬前土壤氨挥发速率函数模拟¹⁾

Table 2 Simulation function of the NH_3 volatilization rate before winter

处理	模拟函数表达式	R^2	备注
平作	$Y = 0.001e^{0.0157c} + 0.59W - 0.07$	0.88	$c = 0.001^{**}$; $W = 0.035^{*}$
垄作	$Y = e^{0.0048c[5.71\ln T - 69.67\ln(1-W) - 26.46]} + 12.25$	0.83	$c = 0.006^{**}$; $c \times T = 0.006^{**}$; $c \times W = 0.004^{**}$

1) c : 土壤铵态氮浓度; T : 地表温度; W : 土壤含水量; * 表示 $P = 0.05$ 水平上显著; ** 表示 $P = 0.01$ 水平上极显著

由图 5 可以看出,常规栽培模式下越冬前土壤氨挥发速率与土壤铵态氮浓度之间关系可以用线性函数表示,而垄作模式下可以用指数函数表示,2 个模型函数的决定系数分别为 0.81 和 0.83. 常规栽培氨挥发随铵态氮浓度升高快速增加,而垄沟栽培模式下,氨挥发速率随铵态氮浓度增长缓慢.

返青后土壤氨挥发速率与土壤中铵态氮的浓度成正相关,不论是常规栽培还是垄沟栽培,土壤氨挥发都与土壤中铵态氮浓度呈直线关系. 垄沟栽培下氨挥发速率随土壤铵态氮浓度变化斜率低于常规栽培模式.

2.6 土壤氨挥发累积量的经验模型

由图 6 可以看出小麦生育期内,土壤氨挥发累

积量与时间的关系可以用经验函数表示,其中 TF180 处理和 RM240 处理土壤氨挥发累积量与时间的关系符合对数函数模型,在该模型的初始阶段氨挥发累积量增加较快,在后期增加速率减小. 而 RM180 处理、RM120 处理和 CK 处理三者土壤氨挥发量与时间的关系符合线性函数.

对数模型可以解释 TF180 处理和 RM240 处理的 90% ~ 97% 的土壤氨挥发累积量,线性模型可以解释 95% ~ 98% 的 RM180 处理, RM120 处理和 CK 处理等三者土壤氨挥发累积量变化.

3 讨论

乔云发等^[17]研究表明施肥深度增加, NH_3 挥发

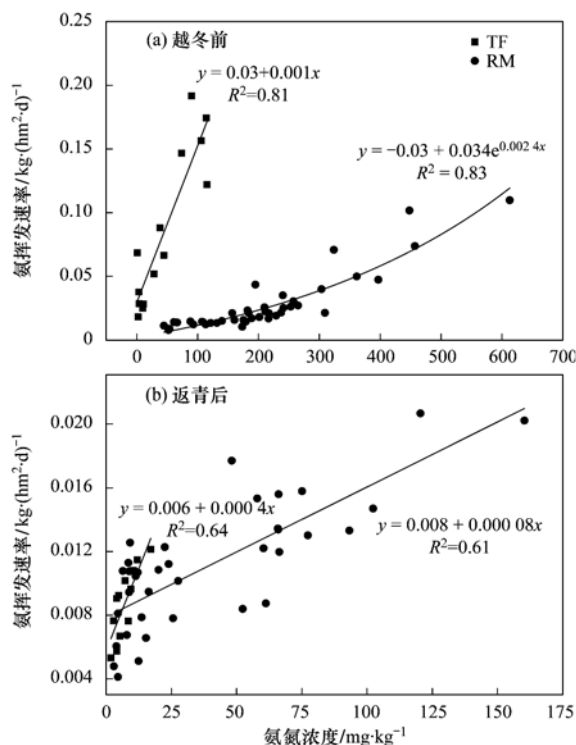


图5 土壤氨挥发速率与土壤铵态氮之间关系

Fig. 5 Simulation function between soil NH_4^+ -N concentration and NH_3 volatilization rate

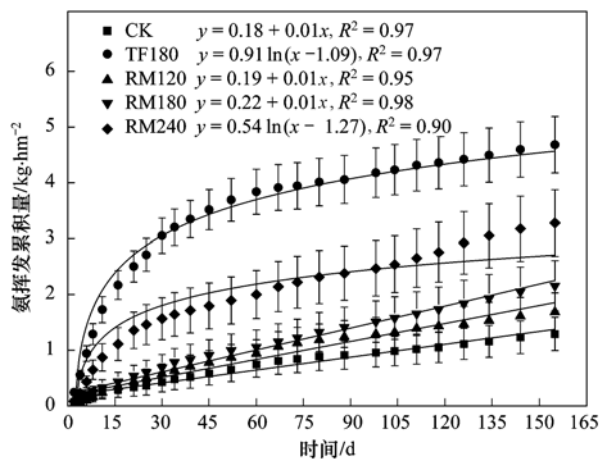


图6 氨挥发累积量经验模型

Fig. 6 Simulation function between time and ammonia loss among the treatments

损失率逐渐下降,从表施的 21.68% 减少到 2.49%。潮土上的研究表明沟施氮肥的氨挥发量在 $6 \sim 34 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,氨挥发损失率在 4.3% ~ 11.2%^[18],显著高于本试验条件下的氨挥发量,而王珏等^[19]在华北平原冬小麦季测得的土壤氨挥发损失率在 1% ~ 4.2% 之间,与本试验接近。试验条件和氨挥发测定方法的不同是造成试验结果差异巨大的原因,小麦

生长季降雨比往年偏少也可能是造成本试验中氨挥发量偏小的一个原因。土壤温度和含水量是影响土壤氨挥发的重要理化性质,温度会影响土壤微生物活性并改变土壤液相氨分压,进而影响氨气由土壤向大气的扩散^[20]。适宜的土壤含水量可以促进尿素水解和有机氮矿化,增加土壤中 NH_4^+ 浓度,加速铵态氮向氨气的转化^[21,22]。当土壤含水量较低时,抑制了土壤铵离子从固相向液相转换的过程,从而抑制了土壤的氨挥发。Al-Kannai 等^[23]发现,尿素表施条件下氨挥发量随土壤含水量增加而提高,但也有研究表明在含水量 20% ~ 25% 之间^[24,25]氨挥发强度与土壤水分含量之间无显著关系。

本试验证明不同栽培模式下,施肥都会增加土壤氨挥发,且土壤氨挥发与土壤中的铵态氮有密切关系。与平作相比,垄作覆膜下土壤铵态氮素浓度较高,但氨挥发量减少了一半以上,可能是垄作条件下氮肥深施和地表覆膜对土壤氨挥发有抑制作用^[26]。土壤氨挥发与土壤温度及水分的关系因栽培方式而异,平作处理除受土壤铵态氮浓度影响外,也受土壤含水量的显著影响,但常规栽培下温度效应不明显。垄作栽培条件下,地表温度和土壤含水量与氨挥发无直接关系,但土壤温度和水分与土壤铵态氮浓度有明显的交互效应,说明它们通过影响尿素水解和有机质矿化等作用间接影响氨挥发(表 2)。

垄作覆膜处理能够大大减少土壤越冬前氨挥发量,越冬前垄作处理不同施肥量下土壤挥发累积量占总挥发量的 49% ~ 61%,而常规栽培处理越冬前占总挥发量的 82%,远远高于垄作处理。越冬前垄作栽培氨挥发速率随着铵浓度升高缓慢增加,常规栽培处理土壤氨挥发随着铵态氮浓度升高迅速增加(图 5);返青后常规栽培下土壤氨挥发与土壤中铵态氮浓度呈线性相关,但垄作栽培的直线斜率较小(图 6)。常规栽培处理土壤施肥深度浅,表层土壤中的氨易挥发到大气中;而垄作处理氮肥深施且地表覆膜,土壤中的氨要进入到大气中必然受到土壤和薄膜的阻滞,改变了土壤氨挥发的途径,降低了土壤的氨挥发。越冬后土壤中的尿素已经完全水解,土壤铵态氮的补充主要靠土壤有机氮的矿化,因此氨态氮源不足成了限制挥发的主要因素。由于垄沟覆膜栽培的地温较高(图 7),有利于土壤有机氮的矿化^[27,28],因此铵态氮浓度较高,挥发速率较大。

硝态氮是旱地土壤中的主要有效氮源,反映了土壤供氮水平^[29]。由图 4 可以看出常规栽培条件下,尿素水解后硝化速率较快,40 d 土壤中的铵态

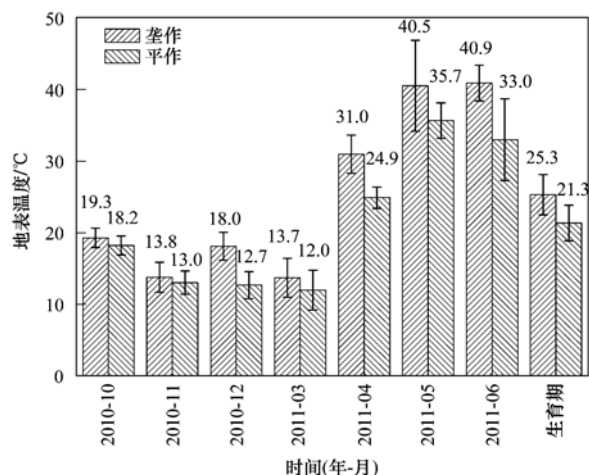


图 7 垄作与平作地表温度比较

Fig. 7 Soil surface temperatures in the TF and RM treatments

氮已经完全转变为硝态氮. 但垄作条件下氮肥深施抑制了土壤的硝化作用和氨挥发, 导致垄作处理土壤铵态氮残留较高. 返青后, 平作处理土壤中硝态氮素由于作物吸收和淋溶等原因, 含量迅速下降, 而垄作覆膜处理既降低了越冬前的氨挥发损失、延缓了硝化作用, 又避免了降雨造成的氮素淋溶, 使冬小麦生育后期耕层土壤中保留了较多的有效氮素 (图 4). 因此它与施用控释氮肥和“氮肥减量后移”同样能够达到降低氮肥施用量, 提高氮肥利用率的目的, 起到了“前氮后移”的效果, 有利于冬小麦的后期营养.

4 结论

(1) 冬小麦生育期内土壤氨挥发速率先升高后降低, 常规栽培越冬前土壤氨挥发量要高于垄作处理, 返青后则相反; 垄作覆膜处理能够显著降低土壤氨挥发量和氮肥损失率.

(2) 越冬前常规栽培土壤氨挥发速率受土壤铵态氮浓度和土壤湿度的影响; 垄作栽培的氨挥发主要受土壤铵态氮浓度影响, 土壤温度和湿度与铵态氮浓度有交互效应. 返青后 2 种栽培模式的土壤氨挥发主要受土壤铵态氮浓度影响.

(3) 不施肥或垄作低施氮量条件下, 土壤氨挥发累积量动态过程可以用直线函数表示, 而常规施肥和垄作高氮处理下其动态过程可以用对数函数表示.

(4) 越冬前垄沟覆膜栽培具有抑制或延缓硝化的作用, 越冬后保氮效应明显.

参考文献:

[1] 彭少兵, 黄见良, 钟旭华, 等. 提高中国稻田氮肥利用率的

研究策略 [J]. 中国农业科学, 2002, **35**(9): 1095-1103.

[2] 蔡贵信, 朱兆良, 文启孝. 中国土壤氮素 [M]. 南京: 江苏科技出版社, 1992. 171-196.

[3] Harrison R, Webb J. A review of the effect of N fertilizer type on gaseous emissions [J]. *Advances in Agronomy*, 2001, **73**: 65-108.

[4] Tian G M, Cao J L, Cai Z C. Ammonia volatilization from winter wheat field top-dressed with urea [J]. *Pedosphere*, 1998, **8**(4): 331-336.

[5] Xing G X, Zhu Z L. An assessment of N loss from agricultural fields to the environment in China [J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2000, **57**(1): 67-73.

[6] 苏芳, 丁新泉, 高志岭, 等. 华北平原冬小麦-夏玉米轮作体系氮肥的氨挥发 [J]. 中国环境科学, 2007, **27**(3): 409-413.

[7] Alebic-Juretic A. Airborne ammonia and ammonium within the Northern Adriatic area, Croatia [J]. *Environmental Pollution*, 2008, **154**(3): 439-447.

[8] Krupa S V. Effects of atmospheric ammonia (NH_3) on terrestrial vegetation: a review [J]. *Environmental Pollution*, 2003, **124**(2): 179-221.

[9] Erisman J W, Schaap M. The need for ammonia abatement with respect to secondary PM reductions in Europe [J]. *Environmental Pollution*, 2004, **129**(1): 159-163.

[10] Jenkinson D S. An introduction to the global nitrogen cycle [J]. *Soil Use and Management*, 1990, **6**(2): 56-61.

[11] Hayashi K, Nishimura S, Yagi K. Ammonia volatilization from a paddy field following applications of urea; rice plants are both an absorber and an emitter for atmospheric ammonia [J]. *Science of the Total Environment*, 2008, **390**(2-3): 485-494.

[12] 高亚军, 郑险峰, 李世清, 等. 农田秸秆覆盖条件下冬小麦增产的水氮条件 [J]. 农业工程学报, 2008, **24**(1): 55-59.

[13] 张洁, 吕军杰, 王育红, 等. 豫西旱地不同覆盖方式对冬小麦生长发育的影响 [J]. 干旱地区农业研究, 2008, **26**(2): 94-97.

[14] 赵海祯, 梁哲军, 齐宏立, 等. 旱地小麦覆盖栽培高产机理研究 [J]. 干旱地区农业研究, 2002, **20**(2): 1-4.

[15] 魏宗强, 李吉进, 邹国元, 等. 不同覆盖措施对鸡粪堆肥氨挥发的影响 [J]. 水土保持学报, 2009, **23**(6): 108-111.

[16] 雷杨莉, 王林权, 薛亮, 等. 交替灌溉施肥对夏玉米土壤氨挥发的影响 [J]. 农业工程学报, 2009, **25**(4): 41-46.

[17] 乔云发, 韩晓增, 赵兰坡, 等. 黑土氮肥氨挥发损失特征研究 [J]. 水土保持学报, 2009, **23**(1): 198-203.

[18] 杨淑莉, 朱安宁, 张佳宝, 等. 不同施氮量和施氮方式下田间氨挥发损失及其影响因素 [J]. 干旱区研究, 2010, **27**(3): 415-421.

[19] 王珏, 巨晓棠, 张丽娟, 等. 华北平原小麦季氮肥氨挥发损失及影响因素研究 [J]. 河北农业大学学报, 2009, **32**(3): 5-11.

[20] Freney J R, Simpson J R. Gaseous loss of nitrogen from plant-soil systems [M]. Hague: Martinus Nijhoff/Dr. W Junk Publishers, 1983. 1-32.

- [21] Vaio N, Cabrera M L, Kissel D E, *et al.* Ammonia volatilization from urea-based fertilizers applied to tall fescue pastures in Georgia, USA [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2008, **72**(6): 1665-1671.
- [22] 贺发云, 尹斌, 金雪霞, 等. 南京两种菜地土壤氨挥发的研究 [J]. *土壤学报*, 2005, **42**(2): 253-259.
- [23] Al-Kannai T, Mackenzie A F, Barthakur N N. Soil water and ammonia volatilization relationships with surface-applied nitrogen fertilizer solutions [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1991, **55**(6): 1761-1766.
- [24] 张承先, 武雪萍, 吴会军, 等. 不同土壤水分条件下华北冬小麦基施不同氮肥的氨挥发研究 [J]. *中国土壤与肥料*, 2008, (5): 28-32.
- [25] 周静, 崔键, 王霞. 红壤不同含水量对尿素氨挥发的影响 [J]. *土壤*, 2008, **40**(6): 930-933.
- [26] 上官宇先, 师日鹏, 韩坤, 等. 垄作覆膜条件下冬小麦田的氨挥发研究 [J]. *干旱地区农业研究*, 2011, **29**(5): 163-168.
- [27] 周旺明, 秦胜金, 刘景双, 等. 沼泽湿地土壤氮矿化对温度变化及冻融的响应 [J]. *农业环境科学学报*, 2011, **30**(4): 806-811.
- [28] Dessureault-Rompré J, Zebbarth B J, Georgallas A, *et al.* Temperature dependence of soil nitrogen mineralization rate: comparison of mathematical models, reference temperatures and origin of the soils [J]. *Geoderma*, 2010, **157**(3-4): 97-108.
- [29] 金发会, 李世清, 卢红玲, 等. 石灰性土壤供氮能力几种生物测定方法的评价研究 [J]. *中国农业科学*, 2007, **40**(7): 1422-1431.

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