

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第2期

Vol.34 No.2

2013

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

16 届亚运会期间广州城区 PM _{2.5} 化学组分特征及其对霾天气的影响	陶俊, 柴发合, 高健, 曹军骥, 刘随心, 张仁健 (409)
北京地区秋季雾霾天 PM _{2.5} 污染与气溶胶光学特征分析	赵秀娟, 蒲维维, 孟伟, 马志强, 董璠, 何迪 (416)
上海市秋季大气 VOCs 对二次有机气溶胶的生成贡献及来源研究	王倩, 陈长虹, 王红丽, 周敏, 楼晟荣, 乔利平, 黄成, 李莉, 苏雷燕, 牟莹莹, 陈宜然, 陈明华 (424)
杭州市大气超细颗粒物浓度谱季节性特征	谢小芳, 孙在, 付志民, 杨文俊, 林建忠 (434)
保定市大气气溶胶中正构烷烃的污染水平及来源识别	李杏茹, 杜熙强, 王英锋, 王跃思 (441)
春节期间西安城区碳气溶胶污染特征研究	周变红, 张承中, 王格慧 (448)
华东区域高山背景点 PM ₁₀ 和 PM _{2.5} 背景值及污染特征	苏彬彬, 刘心东, 陶俊 (455)
基于电子鼻土壤与地下水污染修复现场 TVOC 和恶臭的评估	田秀英, 蔡强, 刘锐, 张永明 (462)
积融雪控制下土壤大气间汞交换通量特征	张刚, 王宁, 艾建超, 张蕾, 杨净, 刘子琪 (468)
靖海湾重金属污染及铅稳定同位素溯源研究	徐林波, 高勤峰, 董双林, 刘佳, 傅秀娟 (476)
正构烷烃及单体碳同位素记录的石臼湖生态环境演变研究	欧杰, 王延华, 杨浩, 胡建芳, 陈霞, 邹军, 谢云 (484)
干旱区城市昌吉降雪及积雪中 PGEs 含量分布及其影响因素	刘玉燕, 刘浩峰, 张兰 (494)
降尘收集方法对降尘效率的影响	张正偲, 董治宝 (499)
海河流域水生生态功能一级二级分区	孙然好, 汲玉河, 尚林源, 张海萍, 陈利顶 (509)
长江中下游浅水湖泊水下辐照度漫射衰减特征研究	时志强, 张运林, 王明珠, 刘笑茵 (517)
内陆水体叶绿素反演模型普适性及其影响因素研究	黄昌春, 李云梅, 徐良将, 杨浩, 吕恒, 陈霞, 王延华 (525)
溶氧对富集培养的河口湿地表层沉积物氨氧化菌多样性及氨氧化速率的影响	邱昭政, 罗专溪, 赵艳玲, 颜昌宙 (532)
自然条件下盐城海滨湿地土壤水分/盐度空间分异及其与植被关系研究	张华兵, 刘红玉, 李玉凤, 安静, 薛星宇, 侯明行 (540)
淮河流域农业非点源污染空间特征解析及分类控制	周亮, 徐建刚, 孙东琪, 倪天华 (547)
高岚河不同降雨径流类型磷素输出特征	崔玉洁, 刘德富, 宋林旭, 陈玲, 肖尚斌, 向坤, 张涛 (555)
城市雨水径流水质演变过程监测与分析	董雯, 李怀恩, 李家科 (561)
复合人工湿地系统强化处理单元的运行特性与效果	任峰, 陆忆夏, 刘琴, 汤杨杨, 王世和, 高海鹰, 乔红杰, 王为进 (570)
给水管网中耐氯分枝杆菌的灭活特性及机制研究	郑琦, 陈超, 张晓健, 陆品品, 刘源源, 陈雨乔 (576)
1 株溶藻菌的部分生物学特性及溶鱼腥藻作用	李三华, 张奇亚 (583)
水生植物热解生物油对中肋骨藻抗氧化酶活性的影响	姚远, 李锋民, 李媛媛, 单时, 李杰, 王震宇 (589)
TiO ₂ 光催化联合技术降解苯酚机制及动力学	张轶, 黄若男, 王晓敏, 王齐, 丛燕青 (596)
皮革废水有机污染物生物降解特性研究	王勇, 李伟光, 杨力, 宿程远 (604)
链霉菌 FX645 对偶氮染料红 AR30 的降解机制研究	谢练武, 方继前, 郭亚平 (611)
一种负载型生物载体的制备及性能研究	杨基先, 曾红云, 周义, 邱珊, 马放, 王蕾, 肖大伟 (616)
基于污泥资源化利用的蛋白核小球藻 (<i>Chlorella pyrenoidosa</i>) 培养研究	嵇雯雯, 夏会龙, 方治国, 刘惠君 (622)
温和热处理对低有机质污泥厌氧消化性能的影响	陈汉龙, 严媛媛, 何群彪, 戴晓虎, 周琪 (629)
天然和水热合成针铁矿对有机物厌氧分解释放 CH ₄ 的影响	姚敦璠, 陈天虎, 王进, 周飞跃, 岳正波 (635)
蚀刻废液及其回收后生产的铜盐产品中 PCDD/Fs 含量水平及分布特征	青宪, 韩静磊, 温炎桑 (642)
基于特定场地污染概念模型的健康风险评估案例研究	钟茂生, 姜林, 姚珏君, 夏天翔, 朱笑盈, 韩丹, 张丽娜 (647)
区域地下水污染风险评价方法研究	杨彦, 于云江, 王宗庆, 李定龙, 孙宏伟 (653)
地下水有机污染源识别技术体系研究与示范	王晓红, 魏加华, 成志能, 刘培斌, 纪轶群, 张干 (662)
祁连山不同海拔土壤有机碳库及分解特征研究	朱凌宇, 潘剑君, 张威 (668)
黑土有机碳、氮及其活性对长期施肥的响应	骆坤, 胡荣桂, 张文菊, 周宝库, 徐明岗, 张敬业, 夏平 (676)
根茬连续还田对镉污染农田土壤中镉赋存形态和生物有效性的影响	张晶, 于玲玲, 辛木贞, 苏德纯 (685)
长期施肥措施下稻田土壤有机质稳定性研究	罗璐, 周萍, 童成立, 石辉, 吴金水, 黄铁平 (692)
外源 Cr(III) 在我国 22 种典型土壤中的老化特征及关键影响因子研究	郑顺安, 郑向群, 李晓辰, 刘书田, 姚秀荣 (698)
某林丹生产企业搬迁遗留场地土壤中六六六的残留特征	潘峰, 王利利, 赵浩, 尤奇中, 刘林 (705)
大型炼锌厂周边土壤及蔬菜的汞污染评价及来源分析	刘芳, 王书肖, 吴清茹, 林海 (712)
天津成人头发指甲中有机氟污染物的残留特征	姚丹, 张鸿, 柴之芳, 沈金灿, 杨波, 王艳萍, 刘国卿 (718)
沉积物中雌激素及壬基酚、辛基酚、双酚 A 的测定	吴唯, 史江红, 陈庆彩, 张晖, 刘晓薇 (724)
动物饲料中砷、铜和锌调查及分析	姚丽贤, 黄连喜, 蒋宗勇, 何兆桓, 周昌敏, 李国良 (732)
氟虫双酰胺在水稻和稻田中的残留动态研究	王点点, 宋宁慧, 吴文铸, 由宗政, 何健, 石利利 (740)
2 株降解菲的植物内生细菌筛选及其降解特性	倪雪, 刘娟, 高彦征, 朱雪竹, 孙凯 (746)
嗜盐拟香味菌 Y6 降解硝基苯的特性研究	厉阗, 钱坤, 肖伟, 王进军, 邓新平 (753)
固定化条件对苯系物细胞传感器检测效果的影响	唐阔, 马安周, 于清, 邓雪梅, 吕迪, 庄国强 (760)
16S rDNA 克隆文库分析高含盐生物脱硫系统细菌多样性	刘卫国, 梁存珍, 杨金生, 王桂萍, 刘苗苗 (767)
氨氮浓度对 CANON 工艺功能微生物丰度和群落结构的影响	刘涛, 李冬, 曾辉平, 畅晓燕, 张杰 (773)
筒青霉 (<i>Penicillium simplicissimum</i>) 对木质纤维素的降解及相关酶活性特征	沈莹, 胡天觉, 曾光明, 黄丹莲, 尹璐, 刘杨, 吴娟娟, 刘晖 (781)
石油污染土壤微生物群落结构与分布特性研究	杨萌青, 李立明, 李川, 李广贺 (789)
土霉素在鸡粪好氧堆肥过程中的降解及其对相关参数的影响	王桂珍, 李兆君, 张树清, 马晓彤, 梁永超 (795)
生活垃圾填埋过程含水率变化研究	李睿, 刘建国, 薛玉伟, 张媛媛, 岳东北, 聂永丰 (804)
动物消化机制用于木质纤维素的厌氧消化	吴昊, 张盼月, 郭建斌, 吴永杰 (810)
《环境科学》征订启事 (447)	
《环境科学》征稿简则 (493)	
信息 (508, 588, 610, 731)	
专辑征稿通知 (788)	

氟虫双酰胺在水稻和稻田中的残留动态研究

王点点^{1,2}, 宋宁慧², 吴文铸², 由宗政^{2,3}, 何健^{2,3}, 石利利^{2*}

(1. 南京信息工程大学环境科学与工程学院, 南京 210044; 2. 环境保护部南京环境科学研究所, 南京 210042; 3. 南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095)

摘要: 采用超高效液相色谱法 (UPLC) 测定了氟虫双酰胺 19.8% 悬浮剂 (SC) 在水稻及稻田环境中的残留动态。结果表明, 当氟虫双酰胺及其代谢产物 NNI-des-iodo 的添加量为 0.05 ~ 1.0 mg·kg⁻¹ 时, 其在水稻田土壤、田水、稻秆、稻米和稻壳中的平均回收率为 78.2% ~ 104.8%, 变异系数为 1.1% ~ 4.4%。氟虫双酰胺在 2011 年三地 (福建福州、天津、江苏南京) 的稻田水中的降解半衰期为 9.8 ~ 17.3 d, 土壤中 10.8 ~ 22.4 d, 植株中 7.6 ~ 17.3 d, 其在稻田水样品中检出了代谢产物 NNI-des-iodo, 而在土壤和植株样品中未检出。在推荐使用剂量下, 于末次施药 10 d 后, 氟虫双酰胺在水稻稻米中的残留量均低于美国规定的在稻谷上的最大残留允许量 (0.5 mg·kg⁻¹)。

关键词: 氟虫双酰胺; 水稻; 残留; 降解; 超高效液相色谱

中图分类号: X592 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)02-0740-06

Residue Dynamics of Flubendiamide in Paddy Field

WANG Dian-dian^{1,2}, SONG Ning-hui², WU Wen-zhu², YOU Zong-zheng^{2,3}, HE Jian^{2,3}, SHI Li-li²

(1. Institute of Environmental Science and Engineering, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China; 2. Nanjing Institute of Environmental Science, Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China, Nanjing 210042, China; 3. College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: Residue dynamics and terminal residue of flubendiamide 19.8% suspension concentrate (SC) in rice and field environment were measured by ultra performance liquid chromatography (UPLC). As flubendiamide and its metabolite were applied at a range of concentrations from 0.05 to 1.0 mg·kg⁻¹, average recoveries of them in soil, water, rice straw, rice grain and rice hull samples ranged from 78.2% to 104.8%, with variation coefficients of 1.1% - 4.4%. One-year and three-area results showed that the half-life of gradation for flubendiamide was 9.8 to 17.3 d in water, 10.8 to 22.4 d in soil, and 7.6 to 17.3 d in rice plants, respectively. Residues of metabolite NNI-des-iodo in water were detected, but not in soil or rice plants. When flubendiamide was applied at the recommended dose, its residue in rice grain on the 10th day after application was lower than 0.5 mg·kg⁻¹, the maximum residue limit allowed by US for agricultural chemical residues in rice.

Key words: flubendiamide; rice; residue; degradation; ultra performance liquid chromatography (UPLC)

氟虫双酰胺 (flubendiamide) 是拜耳公司和日本农药公司联合开发的一种新型邻苯二甲酰胺类杀虫剂^[1~4], 其作用于兰尼碱受体, 通过破坏昆虫细胞质内钙离子环境的稳定性而起到杀虫作用, 目前主要用于蔬菜、水果、水稻和棉花等防治鳞翅目害虫, 且对节肢类益虫和哺乳动物低毒^[5~8]。氟虫双酰胺不易水解, 在土壤中相对稳定, 无致癌、致畸作用^[9~13], 其主要代谢产物简称为 NNI-des-iodo, 结构式见图 1。有报道显示^[14], 氟虫双酰胺代谢产物 NNI-des-iodo 对水蚤的 EC₅₀ 值为 881 μg·L⁻¹, 对摇蚊的 EC₅₀ 值为 18.6 μg·L⁻¹, 并且对大鼠的生殖系统有影响。

目前关于水稻中氟虫双酰胺的报道较少^[15], Caboni 等^[16] 采用液相色谱-串联质谱正负离子切换扫描分析茄子、番茄、辣椒、苹果、梨和葡萄中氯虫苯甲酰胺和氟虫双酰胺, 内标法定量; Battu 等^[17]

采用液相色谱-紫外检测器分析、高效薄层色谱确证甘蓝、番茄、木豆、红辣椒和土壤中残留的氟虫双酰胺及其代谢产物; 刘金凤等^[18] 采用超高效液相色谱-串联质谱法分析了氟虫双酰胺在土壤和水中的降解动态, 研究表明在水田环境中, 施药 14 d 后氟虫双酰胺的降解率均达到 85% 以上, 属于易降解型农药。

基于国内尚无对氟虫双酰胺在水稻和稻田中的残留动态及最终残留的研究报道^[19], 且我国目前还没有关于该药在稻谷中的最大残留限量标准^[20~22]。本研究采用固相萃取净化-超高效液相色谱-紫外检测器测定水稻样品中氟虫双酰胺及其代谢产物, 所

收稿日期: 2012-04-19; 修订日期: 2012-05-31

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项

作者简介: 王点点 (1988 ~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为农药残留, E-mail: diandian_w@126.com

* 通讯联系人, E-mail: sl@nies.org

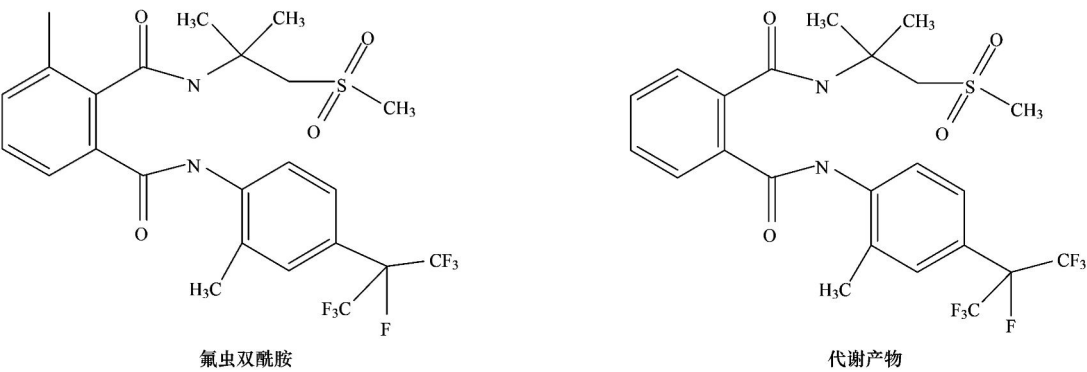


图1 氟虫双酰胺及其代谢产物结构式

Fig. 1 Chemical structure of flubendiamide and its metabolite

建立的残留分析方法具有简便、灵敏度高、重复性好等特点. 同时, 进一步对水稻中氟虫双酰胺的残留动态和最终残留量进行检测, 以期为该药在水稻田中的安全使用提供参考.

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 试验农药

氟虫双酰胺, 19.8% 悬浮剂 (SC), 拜耳作物科

学公司提供.

氟虫双酰胺及其代谢物标准品: 氟虫双酰胺 (flubendiamide) 纯度 98.1%、氟虫双酰胺代谢产物 (NNI-des-iodo) 纯度 99.8%, 均由拜耳作物科学公司提供.

1.1.2 试验时间、地点及试验作物

试验时间: 2011 年 6 月 ~ 2011 年 12 月; 试验地点: 各试验地稻田历年都未施用过氟虫双酰胺, 其气候条件和土壤类型如表 1.

表1 试验地点的气候条件和土壤类型

Table 1 Soil type and climate condition of the three experimental fields

试验地点	气候类型	平均气温 /℃	年降雨量 /mm	土壤质地	土壤有机质 含量/%	土壤 pH
福建省福州市永泰县富泉乡	中、南亚热带海洋性季风	26.3	1 240	黏壤土	2.26	6.5
天津市武清区汊沽港镇	温带季风	22.3	466.5	壤土	1.84	7.1
江苏省南京市江宁区横溪镇	亚热带季风	23.6	1 173	壤土	0.92	6.8

试验作物: (福建) 双季水稻, 水稻品种特优航 2 号中晚籼杂交稻; (天津) 单季水稻, 水稻品种垦育 8 号; (南京) 单季水稻, 水稻品种南粳 46 号.

1.1.3 主要仪器和试剂

Waters Hclass 超高效液相色谱仪, 二极管阵列紫外检测器 (Waters, US); CR22GII 高速离心机 (Hitachi, JP); E24A 恒温振荡器 (NBS, US); R-210 旋转蒸发仪 (Buchi, SW); WH-3 微型旋涡混合仪 (上海泸西分析仪器厂有限公司); 固相萃取装置 (Supelco 公司, US). 乙腈 (色谱纯, MERCK), 乙酸乙酯、丙酮 (分析纯, 南京化学试剂有限公司), 氯化钠 (140℃ 烘烤 4 h), 无水硫酸钠 (130℃ 烘烤 4 h), 固相萃取小柱 Sep-Pak Carbon-NH₂ 双层柱 (6 cc/500 mg), 纯水.

1.2 田间试验方法

参照农药残留试验准则^[23], 选择我国水稻种植代表性地区开展氟虫双酰胺田间降解动态试验和残留检测研究. 试验分为了降解动态试验区、最终残留试验区和空白对照试验区.

1.2.1 降解动态试验

采用 1 次施药后多次采样的方法, 在供试的水稻田内设置 3 个面积为 30 m² 的重复小区, 小区之间设立保护带. 在水稻的苗期手动喷施剂量为 129.6 g·hm⁻² 的氟虫双酰胺农药. 于施药后第 0、1、3、5、7、15、21、30、45、60 d, 随机采集水稻稻秆、稻田土壤 (0 ~ 15 cm 深) 和田水样品. 稻秆去残叶后剪碎, 土壤除去碎石、杂草和植物根茎等杂物冻干后过 20 目筛, 稻秆和土壤样品不少于 500 g, 田水样品不少于 500 mL, 贴好标签, -20℃ 条件下冷冻保存, 待测.

1.2.2 最终残留试验

设两个施药剂量,分别为低剂量 $86.4 \text{ g} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和高剂量 $129.6 \text{ g} \cdot \text{hm}^{-2}$,于水稻抽穗期开始第一次施药,各设 2、3 次施药,小区面积 30 m^2 ,重复 3 个小区,小区间设立保护带,施药间隔为 14 d. 试验距最后一次施药 10 d、20 d、30 d 每小区随机采集水稻植株(包括稻秆和稻谷)与土壤样品,植株经脱粒处理将稻秆和稻谷分开,稻秆晒干后剪碎,稻谷晒干后用砻谷机将稻壳和稻米分开,然后将稻壳和稻米分别粉碎,土壤除去碎石、杂草和植物根茎等杂物冻干后过 20 目筛,样品均不少于 500 g,贴好标签, -20°C 条件下冷冻保存,待测.

1.2.3 空白对照小区

在距离试验区 30 m 以外的地作为空白对照试验小区,在降解动态试验期取田水、土壤和稻秆样品,在最终残留试验期取水稻稻秆、稻米、稻壳与土壤样品,样品处理及保存方法同 1.2.1 和 1.2.2 节.

1.3 分析方法

1.3.1 提取及净化

(1)田水 量取过滤后的 100 mL 田水样,分别用 30 mL 乙酸乙酯萃取两次,合并有机相,旋转蒸发仪蒸干后,乙腈/水(40/60,体积比)定容到 2 mL,过 $0.22 \mu\text{m}$ 滤膜,待 UPLC 测定.

(2)土壤 称取 20 g(精确至 0.01 g)土,加入 10 mL 水润湿,再分别用 30 mL 丙酮提取两次,合并提取液,旋蒸除去丙酮后,水相分别用乙酸乙酯 30 mL 萃取两次,蒸干,乙腈/水(40/60,体积比)定容到 2 mL,过 $0.22 \mu\text{m}$ 滤膜,待 UPLC 测定.

(3)稻秆、稻米、稻壳 分别称取捣碎后的 5 g 待测样品(精确至 0.01 g)于 80 mL 离心管中,加入 30 mL 乙腈,用均质器在 $15\,000 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 均质提取 2 min,将离心管放入离心机,在 $8\,000 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 离心 5 min,取上清液过无水硫酸钠,残渣用 30 mL 乙腈重复提取一次,离心,将合并后的提取液于 50°C 水浴旋转蒸发至约 1 mL,待净化.

在 Carbon-NH₂ 柱中用 3 mL 乙腈预洗小柱,下接锥形瓶,放入固定架上.将上述样品浓缩液转移至小柱中,用 20 mL 乙腈洗涤样液瓶,并将洗涤液移入柱中,收集上述所有流出液于锥形瓶中,旋转蒸发至干后,乙腈/水(40/60,体积比)定容到 1 mL,过 $0.22 \mu\text{m}$ 滤膜,待 UPLC 测定.

1.3.2 色谱条件

Waters 超高效液相色谱仪 UPLC, PDA 检测器,

色谱柱: C18 柱(ACQUITY UPLC-BEH $1.7 \mu\text{m}$, $2.1 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$); 流动相: 乙腈/水 = 40/60(体积比), 流速为 $0.4 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$, 进样体积: $5.0 \mu\text{L}$, 紫外检测波长为 200 nm, 柱温: 30°C . 保留时间分别为: 氟虫双酰胺 7.862 min, 其代谢产物 NNI-des-iodo 是 4.866 min.

2 结果与讨论

2.1 标准曲线

氟虫双酰胺及其代谢物 NNI-des-iodo 农药标准溶液用乙腈/水(40/60,体积比)依次稀释,得浓度分别为 0.02、0.1、0.5、1.0、5.0、10.0 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的工作溶液,在上述色谱条件下测定.以标准溶液质量浓度为横坐标,峰面积为纵坐标作标准曲线,曲线方程: (氟虫双酰胺) $y = 58\,035x + 566.14$, $R^2 = 1$; (NNI-des-iodo) $y = 93\,521x + 772.05$, $R^2 = 1$. 根据液相色谱图的 10 倍信噪比为定量限,仪器最小检出量在 0.004 ~ 0.02 ng.

2.2 回收率及最低检测浓度

分别取空白样品水 100 mL,土壤 20.0 g,稻秆、稻米及稻壳 5.0 g,加入一定量的农药标准溶液,混匀,分别设置 3 个添加水平: 0.05、0.1、1.0 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,每个添加水平测定 5 次,按照上述样品前处理方法的步骤进行试验,另设空白对照,测得氟虫双酰胺及其代谢产物在样品中的平均回收率: 田水 86.5% ~ 104.8%, 变异系数 1.1% ~ 2.6%; 土壤 85.9% ~ 94.3%, 变异系数 1.8% ~ 3.0%; 稻秆 86.7% ~ 92.2%, 变异系数 1.2% ~ 3.3%; 稻米 80.7% ~ 91.7%, 变异系数 2.1% ~ 3.4%; 稻壳 78.2% ~ 93.8%, 变异系数 1.5% ~ 4.4%, 符合农药残留分析要求^[23].

在该方法条件下,将进样谱图的 10 倍信噪比作为检测限,得到氟虫双酰胺及其代谢产物 NNI-des-iodo 的最低检出浓度依次为: 田水, 0.000 8 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、0.000 9 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$; 土壤, 0.001 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、0.002 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; 稻秆, 0.002 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、0.002 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; 稻米, 0.001 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、0.002 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; 稻壳, 0.001 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、0.003 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$.

2.3 氟虫双酰胺及其代谢产物的降解动态

由于三地田间试验情况复杂,氟虫双酰胺及其代谢产物在水稻中的残留降解速率与试验期间天气状况、土壤类型和水稻品种等密切相关.一般认为,农药在土壤中的残留和降解还主要与土壤有机质含量、pH、湿度、温度和植物根系分泌物等多种因

素有关,同时还与农药本身的理化性质有关^[24,25].

2.3.1 氟虫双酰胺及其代谢产物在稻田水中的降解动态

结果表明(图2):氟虫双酰胺在三地稻田水中的降解半衰期分别为9.8 d(福建)、16.1 d(南京)、17.3 d(天津). 其中,南京试验地稻田水中检测到氟虫双酰胺代谢产物 NNI-des-iodo,但浓度较低,浓度范围为0.001 8~0.017 9 mg·L⁻¹,而福建和天津两地田水中均未检测到氟虫双酰胺代谢产物,即降解过程中产生的代谢物含量小于方法检出限.

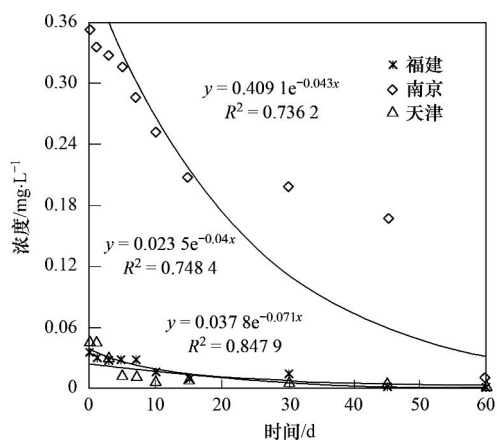


图2 氟虫双酰胺在稻田水中的降解动态

Fig. 2 Degradation dynamics of flubendiamide in paddy water

2.3.2 氟虫双酰胺及其代谢产物在稻田土壤中的降解动态

结果表明(图3):三地稻田土壤中都未检出氟虫双酰胺代谢产物,氟虫双酰胺在南京试验点的降解半衰期为22.4 d,在福建试验点为10.8 d. 而刘金凤等^[18]研究了浙江诸暨水稻田土壤中氟虫双酰胺的降解半衰期仅为1.0 d,除了施药剂量少,试验期间天气状况、土壤类型和水稻品种等不同会影响降解速率外,还有其他原因有待进一步研究. 同时,试验期间天津点稻田土壤中未检出氟虫双酰胺,即按推荐剂量的1.5倍施药,土壤中的氟虫双酰胺残留量<0.001 mg·kg⁻¹,其原因可能是与施药后主要在植株与田水中分配有关,另外在降解动态试验期为水稻分蘖期,田间水分充足,而氟虫双酰胺在田水中的降解较快,施药后撒落的农药先是直接进入田水中,然后再慢慢渗透到土壤中,加之土壤中的有机质含量较高,对氟虫双酰胺的降解有加速作用.

2.3.3 氟虫双酰胺及其代谢产物在水稻植株中的降解动态

结果表明(图4):氟虫双酰胺在植株上的初始

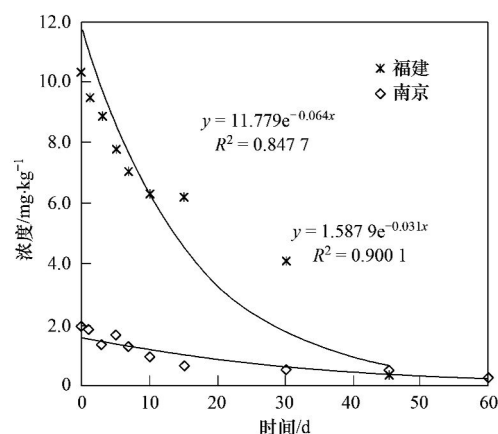


图3 氟虫双酰胺在稻田土壤中的降解动态

Fig. 3 Degradation dynamics of flubendiamide in paddy soil

沉积量分别为:7.389 mg·kg⁻¹(福建)、8.385 mg·kg⁻¹(天津)、10.428 mg·kg⁻¹(南京),15 d之后其残留量降解率达85.5%(福建)、58.4%(天津)、97.6%(南京),在南京试验点降解最快. 氟虫双酰胺在水稻植株中的降解速度较快,其在福建、天津及南京三地的降解半衰期为7.6~17.3 d之间. 三地的试验结果均表明:与土壤的残留动态结果相似,植株中未检出氟虫双酰胺代谢产物.

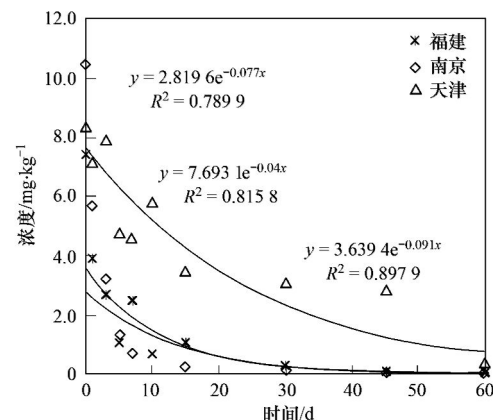


图4 氟虫双酰胺在水稻植株中的降解动态

Fig. 4 Degradation dynamics of flubendiamide in paddy plant

2.4 氟虫双酰胺及其代谢产物的最终残留

分别以氟虫双酰胺低剂量(86.4 g·hm⁻²)和高剂量(129.6 g·hm⁻²)各施药2次和3次,施药间隔14 d. 距最后一次施药10 d、20 d、30 d随机采收水稻植株、稻穗及土壤样品,测定其在水稻和土壤中的最终残留量,结果见表2.

最终残留试验测定结果表明,氟虫双酰胺在三地土壤中的最终残留量为0.019 4~0.233 2 mg·kg⁻¹,且天津点的最终残留量在0.019 4~0.098 7 mg·kg⁻¹之间,而降解动态试验期间未检出

表 2 氟虫双酰胺在水稻和土壤中的最终残留量¹⁾

Table 2 Final residues of flubendiamide in rice and soil

试验地点	样品	施药次数/次	氟虫双酰胺最终残留量/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$					
			施药剂量 $86.4\text{ g}\cdot\text{hm}^{-2}$			施药剂量 $129.6\text{ g}\cdot\text{hm}^{-2}$		
			10 d	20 d	30 d	10 d	20 d	30 d
福建	土壤	2	0.054 7	0.030 5	0.025 4	0.070 1	0.066 3	0.038 8
		3	0.086 0	0.057 6	0.033 4	0.233 2	0.129 4	0.092 1
	稻秆	2	0.551 4	0.513 2	0.275 8	1.472 1	0.915 5	0.708 0
		3	1.102 2	0.715 7	0.628 4	2.051 4	1.526 5	1.472 1
	稻米	2	ND	ND	ND	ND	ND	ND
		3	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	稻壳	2	ND	ND	ND	0.267 6	0.174 8	0.129 2
		3	0.130 7	ND	ND	0.730 8	0.336 6	0.283 5
南京	土壤	2	0.038 5	0.025 6	0.022 6	0.077 8	0.035 0	0.030 0
		3	0.049 5	0.033 6	0.031 3	0.094 2	0.041 7	0.039 3
	稻秆	2	1.157 1	0.818 3	0.168 4	1.446 4	1.207 9	0.492 1
		3	1.195 5	1.185 6	0.233 5	1.564 1	1.270 6	0.786 2
	稻米	2	ND	ND	ND	ND	ND	ND
		3	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	稻壳	2	0.378 2	0.162 7	0.108 9	0.689 0	0.461 4	0.135 5
		3	0.646 2	0.164 2	0.133 9	0.972 9	0.557 5	0.236 1
天津	土壤	2	0.036 8	0.024 5	0.019 4	0.097 9	0.075 0	0.065 4
		3	0.066 8	0.057 8	0.052 8	0.098 7	0.090 3	0.082 1
	稻秆	2	3.001 6	1.040 1	0.425 0	5.303 3	3.581 2	3.341 4
		3	3.544 1	3.305 2	2.911 0	5.580 5	3.678 1	3.583 8
	稻米	2	0.113 4	0.087 0	0.043 6	0.322 1	0.155 3	0.076 9
		3	0.153 5	0.116 4	0.067 6	0.380 3	0.199 9	0.078 5
	稻壳	2	3.464 5	2.592 6	1.862 2	8.210 8	4.816 6	3.678 2
		3	4.992 3	4.237 6	2.711 5	8.864 7	5.979 6	4.288 1

1) “ND”表示残留量低于方法最低检出浓度

氟虫双酰胺,其主要原因很可能是动态试验期间仅施药 1 次而最终残留试验设 2、3 次施药;在稻秆中的最终残留量在 $0.233\ 5 \sim 5.580\ 5\ \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 之间;在稻米上的残留量仅天津一地为 $0.043\ 6 \sim 0.380\ 3\ \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,福建和南京两地均低于检出限;在稻壳中的残留量为 $0.108\ 9 \sim 8.864\ 7\ \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. 同时,低剂量与高剂量用药时,稻田土壤、稻秆、稻米、稻壳中氟虫双酰胺代谢产物 NNI-des-iodo 均未检出。

3 结论

(1)本研究建立的 UPLC-PDA 检测方法分析时间较短,且样品前处理步骤较为简便,不但未使用正己烷有机溶剂,而且减少了其他溶剂使用量。

(2)降解动态研究结果表明,氟虫双酰胺在稻田水、土壤和植株中的残留量随时间延长而逐渐降低,降解动态曲线符合一级动力学方程,其在田水中的降解半衰期为 $9.8 \sim 17.3\ \text{d}$,土壤中 $10.8 \sim 22.4\ \text{d}$,植株中 $7.6 \sim 17.3\ \text{d}$. 试验过程中土壤和植株样品中未检出代谢产物 NNI-des-iodo,仅稻田水中检出了代谢产物,但是浓度维持在较低水平。

(3)最终残留试验结果表明,按试验设计于水稻孕穗期开始以 19.8% 氟虫双酰胺悬浮剂推荐剂量和推荐剂量的 1.5 倍,分别施药 2~3 次,于末次施药后 10 d、20 d、30 d 收割采集的稻米样品中,氟虫双酰胺残留量在末次施药 10 d 后均低于美国规定的在稻谷上的最大残留允许量 MRL ($0.5\ \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$). 因此建议 19.8% 氟虫双酰胺 SC 在水稻上使用的安全间隔期为施药后 10 d。

参考文献:

- [1] 吴永果,陈明,毛春晖. 鱼尼丁受体杀虫剂 Flubendiamine [J]. 农药研究与应用, 2007, **11**(2): 1-4.
- [2] Tohnishi M, Nishimatsu T, Motoba K, *et al.* Development of a novel insecticide, flubendiamide [J]. Journal of Pesticide Science, 2010, **35**(4): 490-491.
- [3] Ebbinghaus D, Schnorbach H J, Elbert A. Field development of flubendiamide a new insecticide for the control of lepidopterous pests[J]. Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer, 2007, **60**(2): 219-246.
- [4] 王唤,米娜,范志金,等. 鱼尼丁受体类杀虫剂的研究进展 [J]. 四川师范大学学报(自然科学版), 2011, **34**(3): 427-434.
- [5] Ebbinghaus-Kintscher U, Lümen P, Raming K, *et al.*

- Flubendiamide, the first insecticide with a novel mode of action on insect ryanodine receptors [J]. *Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer*, 2007, **60**(2): 117-140.
- [6] Hirooka T, Kodama K. Field development of flubendiamide for lepidopterous insect control on vegetables, fruits, tea, cotton and rice[J]. *Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer*, 2007, **60**(2): 203-218.
- [7] Singh G, Sahoo S K, Takkar R, *et al.* Residual behaviour and risk assessment of flubendiamide on Chickpea (*Cicer arietinum* L.) [J]. *Chemosphere*, 2011, **84**(10): 1416-1421.
- [8] Kato K, Kiyonaka S, Sawaguchi Y, *et al.* Molecular characterization of flubendiamide sensitivity in the lepidopterous ryanodine receptor Ca^{2+} release channel [J]. *Biochemistry*, 2009, **48**(43): 10342-10352.
- [9] Das SK, Mukherjee I. Flubendiamide transport through packed soil columns [J]. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 2012, **88**(2): 229-233.
- [10] Paramasivam M, Banerjee H. Persistence and dissipation of the insecticide flubendiamide and its metabolite desiodo flubendiamide residues in tomato fruit and soil [J]. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 2012, **88**(3): 344-348.
- [11] Paramasivam M, Banerjee H. Degradation dynamics of flubendiamide in different types of soils [J]. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 2012, **88**(4): 511-514.
- [12] Sahoo S K, Sharma R K, Battu R S. Dissipation kinetics of flubendiamide on chili and soil [J]. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 2009, **83**(3): 384-387.
- [13] 秦春梅, 秦旭, 孙扬, 等. 氟虫双酰胺在土壤和白菜中的高效液相色谱分析[J]. *农药*, 2009, **48**(10): 755-756.
- [14] Hall T. Ecological effects assessment of flubendiamide [J]. *Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer*, 2007, **60**(2): 167-182.
- [15] 钱鸣蓉, 章虎, 吴俐勤, 等. 高效液相色谱-串联质谱法测定蔬菜中氯虫苯甲酰胺和氟虫双酰胺残留 [J]. *分析化学*, 2010, **38**(5): 702-706.
- [16] Caboni P, Sarais G, Angioni A, *et al.* Liquid chromatography-tandem mass spectrometric ion-switching determination of chlorantraniliprole and flubendiamide in fruits and vegetables [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2008, **56**(17): 7696-7699.
- [17] Battu R S, Singh B, Kooner R, *et al.* Simple and efficient method for the estimation of residues of flubendiamide and its metabolite desiodo flubendiamide [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2008, **56**(7): 2299-2302.
- [18] 刘金凤, 朱国念, 丁伟, 等. 超高效液相色谱-串联质谱法分析氟虫双酰胺在稻田生态系统中的消解动态 [J]. *农药学报*, 2011, **13**(3): 310-313.
- [19] Gopal M, Mishra E. Analytical method for estimation of a new insecticide flubendiamide and its safety evaluation for usage in rice crop [J]. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 2008, **81**(4): 360-364.
- [20] 杨永珍, 何艺兵, 宋稳成, 等. 日本“肯定列表制度”中农药残留标准对我国农产品出口的影响及应对措施 [J]. *农药科学与管理*, 2006, **25**(8): 48-51.
- [21] United States Department of Agriculture, Foreign Agricultural Service. Pesticide MRL Database [R/OL]. <http://www.mrlatabase.com>, 2009-07-09.
- [22] 宋稳成, 单炜力, 叶纪明, 等. 国内外农药最大残留限量标准现状与发展趋势 [J]. *农药学报*, 2009, **11**(4): 414-420.
- [23] NY/T788-2004, 农药残留试验准则[S].
- [24] 苏允兰, 莫汉宏, 安凤春. 土壤中结合态苯氧羧酸类除草剂的测定 [J]. *环境化学*, 2001, **20**(6): 577-581.
- [25] 孔晶晶, 裴志国, 温蓓, 等. 磺胺嘧啶和磺胺噻唑在土壤中的吸附行为 [J]. *环境化学*, 2008, **27**(6): 736-741.

CONTENTS

Characterization of Chemical Compositions in PM _{2.5} and Its Impact on Hazy Weather During 16 th Asian Games in Guangzhou	TAO Jun, CHAI Fa-he, GAO Jian, <i>et al.</i> (409)
PM _{2.5} Pollution and Aerosol Optical Properties in Fog and Haze Days During Autumn and Winter in Beijing Area	ZHAO Xiu-juan, PU Wei-wei, MENG Wei, <i>et al.</i> (416)
Forming Potential of Secondary Organic Aerosols and Sources Apportionment of VOCs in Autumn of Shanghai, China	WANG Qian, CHEN Chang-hong, WANG Hong-li, <i>et al.</i> (424)
Study on Number Concentration Distribution of Atmospheric Ultrafine Particles in Hangzhou	XIE Xiao-fang, SUN Zai, FU Zhi-min, <i>et al.</i> (434)
Pollution Characteristics and Source Identification of Atmospheric Particulate Matters <i>n</i> -Alkanes in Baoding City	LI Xing-ru, DU Xi-qiang, WANG Ying-feng, <i>et al.</i> (441)
Study on Pollution Characteristics of Carbonaceous Aerosols in Xi'an City During the Spring Festival	ZHOU Bian-hong, ZHANG Cheng-zhong, WANG Ge-hui (448)
Characteristics of PM ₁₀ and PM _{2.5} Concentrations in Mountain Background Region of East China	SU Bin-bin, LIU Xin-dong, TAO Jun (455)
Assessment of TVOC and Odor in the Remediation Site of Contaminated Soil and Groundwater Using Electronic Nose	TIAN Xiu-ying, CAI Qiang, LIU Rui, <i>et al.</i> (462)
Characteristics of Mercury Exchange Flux Between Soil and Atmosphere Under the Snow Retention and Snow Melting Control	ZHANG Gang, WANG Ning, AI Jian-chao, <i>et al.</i> (468)
Study on Heavy Metal Contaminations and the Sources of Pb Pollution in Jinghai Bay Using the Stable Isotope Technique	XU Lin-bo, GAO Qin-feng, DONG Shuang-lin, <i>et al.</i> (476)
Eco-environmental Evolution Inferred from <i>n</i> -Alkanes and $\delta^{13}\text{C}$ Records in the Sediments of Shijiu Lake	OU Jie, WANG Yan-hua, YANG Hao, <i>et al.</i> (484)
Distribution of PGEs Contents and Its Factors in Snowfall and Snow Cover over the Arid Region in Changji City	LIU Yu-yan, LIU Hao-feng, ZHANG Lan (494)
Effect of Dust Deposition Collection Methods on Collection Efficiency	ZHANG Zheng-cai, DONG Zhi-bao (499)
Regionalization of the Freshwater Eco-regions in the Haihe River Basin of China	SUN Ran-hao, JI Yu-he, SHANG Lin-yuan, <i>et al.</i> (509)
Characteristics of Diffuse Attenuation Coefficient of Underwater Irradiance in the Lakes in the Middle and Lower Reaches of Yangtze River	SHI Zhi-qiang, ZHANG Yun-lin, WANG Ming-zhu, <i>et al.</i> (517)
Study on Influencing Factors and Universality of Chlorophyll- <i>a</i> Retrieval Model in Inland Water Body	HUANG Chang-chun, LI Yun-mei, XU Liang-jing, <i>et al.</i> (525)
Effect of Dissolved Oxygen on Diversity of Ammonia-Oxidizing Microorganisms in Enrichment Culture from Estuarine Wetland Surface Sediments and Ammonia-oxidizing Rate	QIU Zhao-zheng, LUO Zhuan-xi, ZHAO Yan-ling, <i>et al.</i> (532)
Spatial Variation of Soil Moisture/Salinity and the Relationship with Vegetation Under Natural Conditions in Yancheng Coastal Wetland	ZHANG Hua-bing, LIU Hong-yu, LI Yu-feng, <i>et al.</i> (540)
Spatial Heterogeneity and Classified Control of Agricultural Non-Point Source Pollution in Huaihe River Basin	ZHOU Liang, XU Jian-gang, SUN Dong-qi, <i>et al.</i> (547)
Phosphorus Output Characteristics Under Different Rainfall-Runoffs in Gaolan River	CUI Yu-jie, LIU De-fu, SONG Lin-xu, <i>et al.</i> (555)
Monitoring and Analysis on Evolution Process of Rainfall Runoff Water Quality in Urban Area	DONG Wen, LI Huai-en, LI Jia-ke (561)
Characteristics and Contribution of the Strengthening Units of Composite Constructed Wetland for Treating Urban Sewage	REN Feng, LU Yi-xia, LIU Qin, <i>et al.</i> (570)
Inactivation of <i>Mycobacteria mucogenicum</i> in Drinking Water: Chlorine Resistance and Mechanism Analysis	ZHENG Qi, CHEN Chao, ZHANG Xiao-jian, <i>et al.</i> (576)
Partial Biological Characteristics and Algicidal Activity of an Algicidal Bacterium	LI San-hua, ZHANG Qi-ya (583)
Effects of Macrophytes Pyrolysis Bio-oil on <i>Skeletonema costatum</i> Antioxidant Enzyme Activities	YAO Yuan, LI Feng-min, LI Yuan-yuan, <i>et al.</i> (589)
Mechanism and Kinetics of Phenol Degradation by TiO ₂ Photocatalytic Combined Technologies	ZHANG Yi, HUANG Ruo-nan, WANG Xiao-min, <i>et al.</i> (596)
Biodegradation Characteristics of Organic Pollutants Contained in Tannery Wastewater	WANG Yong, LI Wei-guang, YANG Li, <i>et al.</i> (604)
Microbial Degradation Mechanism of Disperse Azo Dye Red 30 by <i>Streptomyces</i> sp. FX645	XIE Lian-wu, FANG Ji-qian, GUO Ya-ping (611)
Study on Preparation and Performance of a Biological Carrier with Tourmaline	YANG Ji-xian, ZENG Hong-yun, ZHOU Yi, <i>et al.</i> (616)
Study on the <i>Chlorella pyrenoidosa</i> Cultivation Technology Based on the Excess Sludge Utilization	JI Wen-wen, XIA Hui-long, FANG Zhi-guo, <i>et al.</i> (622)
Effects of Mild Thermal Pretreatment on Anaerobic Digestibility of Sludge with Low Organic Content	CHEN Han-long, YAN Yuan-yuan, HE Qun-biao, <i>et al.</i> (629)
Effect of Natural and Hydrothermal Synthetic Goethite on the Release of Methane in the Anaerobic Decomposition Process of Organic Matter	YAO Dun-fan, CHEN Tian-hu, WANG Jin, <i>et al.</i> (635)
Concentrations and Distribution Characteristics of PCDD/Fs in Spent Etching Solution and Its Copper Salt Recycling Products	QING Xian, HAN Jing-lei, WEN Yan-shen (642)
Case Study on Health Risk Assessment Based on Site-Specific Conceptual Model	ZHONG Mao-sheng, JIANG Lin, YAO Jue-jun, <i>et al.</i> (647)
Study on the Risk Assessment Method of Regional Groundwater Pollution	YANG Yan, YU Yun-jiang, WANG Zong-qing, <i>et al.</i> (653)
Groundwater Organic Pollution Source Identification Technology System Research and Application	WANG Xiao-hong, WEI Jia-hua, CHENG Zhi-neng, <i>et al.</i> (662)
Study on Soil Organic Carbon Pools and Turnover Characteristics Along an Elevation Gradient in Qilian Mountain	ZHU Ling-yu, PAN Jian-jun, ZHANG Wei (668)
Response of Black Soil Organic Carbon, Nitrogen and Its Availability to Long-term Fertilization	LUO Kun, HU Rong-gui, ZHANG Wen-ju, <i>et al.</i> (676)
Phytoavailability and Chemical Speciation of Cadmium in Different Cd-Contaminated Soils with Crop Root Return	ZHANG Jing, YU Ling-ling, XIN Shu-zhen, <i>et al.</i> (685)
Study on Mechanism of SOM Stabilization of Paddy Soils Under Long-term Fertilizations	LUO Lu, ZHOU Ping, TONG Cheng-li, <i>et al.</i> (692)
Aging Process of Cr(III) in 22 Typical Soils of China and Influence Factors Analysis	ZHENG Shun-an, ZHENG Xiang-qun, LI Xiao-zheng, <i>et al.</i> (698)
Residual Characteristics of HCHs in Soils of a Former Lindane Production Enterprise	PAN Feng, WANG Li-li, ZHAO Hao, <i>et al.</i> (705)
Evaluation and Source Analysis of the Mercury Pollution in Soils and Vegetables Around a Large-scale Zinc Smelting Plant	LIU Fang, WANG Shu-xiao, WU Qing-ru, <i>et al.</i> (712)
Residue of Organic Fluorine Pollutants in Hair and Nails Collected from Tianjin	YAO Dan, ZHANG Hong, CHAI Zhi-fang, <i>et al.</i> (718)
Analysis of Estrogens, Nonylphenol, 4-tert-Octylphenol and Bisphenol A in the Sediments	WU Wei, SHI Jiang-hong, CHEN Qing-cai, <i>et al.</i> (724)
Investigation of As, Cu and Zn Species and Concentrations in Animal Feeds	YAO Li-xian, HUANG Lian-xi, JIANG Zong-yong, <i>et al.</i> (732)
Residue Dynamics of Flubendiamide in Paddy Field	WANG Dian-dian, SONG Ning-hui, WU Wen-zhu, <i>et al.</i> (740)
Isolation of Two Endophytic Phenanthrene-Degrading Strains and Their Degradation Capacity	NI Xue, LIU Juan, GAO Yan-zheng, <i>et al.</i> (746)
Biodegradation of Nitrobenzene by a Halophilic <i>Myroides odoratimimus</i> Strain Y6	LI Tian, QIAN Kun, XIAO Wei, <i>et al.</i> (753)
Effect of Immobilization on Biosensor for Benzene Derivates Detection	TANG Kuo, MA An-zhou, YU Qing, <i>et al.</i> (760)
Investigation of Bacterial Diversity in the Biological Desulfurization Reactor for Treating High Salinity Wastewater by the 16S rDNA Cloning Method	LIU Wei-guo, LIANG Cun-zhen, YANG Jin-sheng, <i>et al.</i> (767)
Assessment of the Effect of Influent NH ₄ ⁺ -N Concentration on the Abundance and Community Structure of Functional Bacteria in CANON Process	LIU Tao, LI Dong, ZENG Hui-ping, <i>et al.</i> (773)
Biodegradation of Lignocellulose by <i>Penicillium simplicissimum</i> and Characters of Lignocellulolytic Enzymes	SHEN Ying, HU Tian-jue, ZENG Guang-ming, <i>et al.</i> (781)
Microbial Community Structure and Distribution Characteristics in Oil Contaminated Soil	YANG Meng-qing, LI Li-ming, LI Chuan, <i>et al.</i> (789)
Degradation of Oxytetracycline in Chicken Feces Aerobic-Composting and Its Effects on Their Related Parameters	WANG Gui-zhen, LI Zhao-jun, ZHANG Shu-qing, <i>et al.</i> (795)
Research of Moisture Content Variation in MSW Landfill	LI Rui, LIU Jian-guo, XUE Yu-wei, <i>et al.</i> (804)
Anaerobic Digestion of Lignocellulosic Biomass with Animal Digestion Mechanisms	WU Hao, ZHANG Pan-yue, GUO Jian-ben, <i>et al.</i> (810)

《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)

2013年2月15日 34卷 第2期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 2 Feb. 15, 2013

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: 90.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行