

# 环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第35卷 第1期

Vol.35 No.1

2014

中国科学院生态环境研究中心 主办  
科学出版社 出版



目次

|                                                           |                                                                            |
|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| 雾霾重污染期间北京居民对高浓度 PM <sub>2.5</sub> 持续暴露的健康风险及其损害价值评估 ..... | 谢元博, 陈娟, 李巍 ( 1 )                                                          |
| 长白山 PM <sub>2.5</sub> 中水溶性离子季节变化特征研究 .....                | 赵亚南, 王跃思, 温天雪, 戴冠华 ( 9 )                                                   |
| 青岛大气颗粒物数浓度变化及对能见度的影响 .....                                | 柯馨姝, 盛立芳, 孔君, 郝泽彤, 屈文军 ( 15 )                                              |
| 重庆市大气二噁英污染水平及季节变化 .....                                   | 张晓岭, 卢益, 朱明吉, 蹇川, 郭志顺, 邓力, 孙静, 张芹, 罗财红 ( 22 )                              |
| 西南地区再生铝冶炼行业二噁英大气排放 .....                                  | 卢益, 张晓岭, 郭志顺, 蹇川, 朱明吉, 邓力, 孙静, 张芹 ( 30 )                                   |
| 西南地区新型干法水泥生产中的二噁英大气排放 .....                               | 张晓岭, 卢益, 蹇川, 郭志顺, 朱明吉, 邓力, 孙静, 张芹 ( 35 )                                   |
| 杭州市办公场所室内空气中 PBDEs 的污染现状与特征 .....                         | 蒋欣慰, 孙鑫, 裴小强, 金漫彤, 李云龙, 沈学优 ( 41 )                                         |
| 模拟不同排放源排放颗粒及多环芳烃的粒径分布研究 .....                             | 符海欢, 田娜, 商惠斌, 张彬, 叶素芬, 陈晓秋, 吴水平 ( 46 )                                     |
| 川东北地区元素大气沉降通量及其季节变化 .....                                 | 童晓宁, 周厚云, 游镇烽, 汤静, 刘厚均, 黄颖, 贺海波 ( 53 )                                     |
| 重庆市铁山坪 2001 ~ 2010 年酸沉降变化 .....                           | 余德祥, 马萧萧, 谭炳全, 赵大为, 张冬保, 段雷 ( 60 )                                         |
| 汉江上游金水河流域氮湿沉降 .....                                       | 王金杰, 张克荣, 吴川, 张全发 ( 66 )                                                   |
| 麦秸及其烟尘中正构脂肪酸的组成 .....                                     | 刘刚, 李久海, 吴丹, 徐慧 ( 73 )                                                     |
| 兰州市室内大气降尘环境磁学特征及其随高度变化研究 .....                            | 吴铎, 魏海涛, 赵瑞瑞, 张蕊, 刘建宝 ( 79 )                                               |
| 中亚热带针阔混交林土壤-大气界面释汞通量研究 .....                              | 马明, 王定勇, 申源源, 孙荣国, 黄礼昕 ( 85 )                                              |
| 水稻秸秆生物炭对耕地土壤有机碳及其 CO <sub>2</sub> 释放的影响 .....             | 柯跃进, 胡学玉, 易卿, 余忠 ( 93 )                                                    |
| 黄海和东海海域溶解铋地球化学分布特征 .....                                  | 吴晓丹, 宋金明, 吴斌, 李学刚 ( 100 )                                                  |
| 浑河上游(清原段)水环境中重金属时空分布及污染评价 .....                           | 马迎群, 时瑶, 秦延文, 郑丙辉, 赵艳民, 张雷 ( 108 )                                         |
| POCIS 采样技术应用于九龙江流域水环境中雌激素的检测 .....                        | 张利鹏, 王新红, 李永玉, 吴玉玲, 张祖麟 ( 117 )                                            |
| 降雨条件下岩溶地下水微量元素变化特征及其环境意义 .....                            | 陈雪彬, 杨平恒, 蓝家程, 莫雪, 师麟 ( 123 )                                              |
| 锡林河流域地表水水化学主离子特征及控制因素 .....                               | 唐玺雯, 吴锦奎, 薛丽洋, 张明泉, Frauke Barthold, Lutz Breuer, Hans-Georg Frede ( 131 ) |
| 子牙河水系河流氮素组成及空间分布特征 .....                                  | 赵钰, 单保庆, 张文强, 王超 ( 143 )                                                   |
| 水稻种植对中亚热带红壤丘陵区小流域氮磷养分输出的影响 .....                          | 宋立芳, 王毅, 吴金水, 李勇, 李裕元, 孟岑, 李航, 张满意 ( 150 )                                 |
| 黄东海表层沉积物中磷的分布特征 .....                                     | 宋国栋, 刘素美, 张国玲 ( 157 )                                                      |
| 河流沉积物中有机磷提取剂 (NaOH-EDTA) 提取比例与机制研究 .....                  | 张文强, 单保庆, 张洪, 唐文忠 ( 163 )                                                  |
| 沉积物短期扰动下 BAPP 再生和转化机制 .....                               | 武晓飞, 李大鹏, 汪明 ( 171 )                                                       |
| 三峡库区典型农村型消落带沉积物风险评价与重金属来源解析 .....                         | 敖亮, 雷波, 王业春, 周谐, 张晟 ( 179 )                                                |
| 太湖东部不同类型湖区疏浚后沉积物重金属污染及潜在生态风险评价 .....                      | 毛志刚, 谷孝鸿, 陆小明, 曾庆飞, 谷先坤, 李旭光 ( 186 )                                       |
| 滇池沉积物中主要污染物含量时间分异特征研究 .....                               | 王心宇, 周丰, 伊旋, 郭怀成 ( 194 )                                                   |
| 浓度层析荧光光谱局部匹配溢油鉴别技术 .....                                  | 王春艳, 史晓凤, 李文东, 张金亮 ( 202 )                                                 |
| 光电 Fenton 技术处理污泥深度脱水液研究 .....                             | 王现丽, 王世峰, 吴俊峰, 濮文虹, 杨昌柱, 张敬东, 杨家宽 ( 208 )                                  |
| 同步脱氮除磷颗粒污泥硝化反硝化特性试验研究 .....                               | 刘小英, 林慧, 马兆瑞, 王磊, 刘静伟, 郭超, 姜应和 ( 214 )                                     |
| 垃圾填埋场渗滤液短程生物脱氮的长期稳定性实验研究 .....                            | 孙洪伟, 郭英, 彭永臻 ( 221 )                                                       |
| 油田区土壤石油烃组分残留特性研究 .....                                    | 胡迪, 李川, 董倩倩, 李立明, 李广贺 ( 227 )                                              |
| 水稻光合同化碳在土壤中的矿化和转化动态 .....                                 | 谭立敏, 彭佩钦, 李科林, 李宝珍, 聂三安, 葛体达, 童成立, 吴金水 ( 233 )                             |
| 土地利用及退耕对喀斯特山区土壤活性有机碳的影响 .....                             | 廖洪凯, 李娟, 龙健, 张文娟, 刘云飞 ( 240 )                                              |
| 水稻土团聚体 Cu <sup>2+</sup> 吸附过程中铝的溶出及土壤溶液 pH 变化 .....        | 许海波, 赵道远, 秦超, 李玉姣, 董长勋 ( 248 )                                             |
| Cr(VI) 对两种黏土矿物在单一及复合溶液中 Cu(II) 吸附的影响 .....                | 刘娟娟, 梁东丽, 吴小龙, 屈广周, 钱勋 ( 254 )                                             |
| 淹水时长对 3 种丛枝菌根 (AM) 真菌感染 2 种湿地植物的影响 .....                  | 马雷猛, 王鹏腾, 王曙光 ( 263 )                                                      |
| 太湖水质与水生生物健康的关联性初探 .....                                   | 周笑白, 张宁红, 张咏, 牛志春, 刘雷, 于红霞 ( 271 )                                         |
| 3 种典型污染物对水生生物的急性毒性效应及其水质基准比较 .....                        | 姜东生, 石小荣, 崔益斌, 李梅 ( 279 )                                                  |
| 某制药废水对发光细菌急性毒性的评价研究 .....                                 | 杜丽娜, 杨帆, 穆玉峰, 余若祯, 左剑恶, 高俊发, 余忻, 滕丽君, 汤薪瑶 ( 286 )                          |
| 异丙甲草胺与锌共存对斜生栅藻毒性手性差异影响 .....                              | 胡晓娜, 张淑娟, 陈彩东, 刘惠君 ( 292 )                                                 |
| Biotic Ligand Model 的简化模型及预测性能评价 .....                    | 王万宾, 陈莎, 吴敏, 苏德丽, 赵婧 ( 299 )                                               |
| 基于 USEtox 的焦化行业优先污染物筛选排序研究 .....                          | 郝天, 杜鹏飞, 杜斌, 曾思育 ( 304 )                                                   |
| 微囊藻毒素降解菌 <i>Paucibacter</i> sp. CH 菌的分离鉴定及其降解特性 .....     | 游狄杰, 陈晓国, 向荟圯, 欧阳溱, 杨冰 ( 313 )                                             |
| 硝酸盐抑制油田采出水硫酸盐还原菌活性研究 .....                                | 杨德玉, 张颖, 史荣久, 韩斯琴, 李光哲, 李国桥, 赵劲毅 ( 319 )                                   |
| 降解纤维素产甲烷的四菌复合系 .....                                      | 吴俊妹, 马安周, 崔萌萌, 于清, 齐鸿雁, 庄绪亮, 庄国强 ( 327 )                                   |
| 中国陆地生态系统土壤异养呼吸变异的影响因素 .....                               | 谢薇, 陈书涛, 胡正华 ( 334 )                                                       |
| 内蒙古羊草草原根呼吸和土壤微生物呼吸区分的研究 .....                             | 史晶晶, 耿元波 ( 341 )                                                           |
| 南京河流夏季水-气界面 N <sub>2</sub> O 排放通量 .....                   | 韩洋, 郑有飞, 吴荣军, 尹继福, 孙霞 ( 348 )                                              |
| 杀菌剂对湖泊水体温室气体浓度分析的影响 .....                                 | 肖启涛, 胡正华, James Deng, 肖薇, 刘寿东, 李旭辉 ( 356 )                                 |
| 生物表面活性剂强化剩余污泥微生物燃料电池产电特性研究 .....                          | 彭海利, 张植平, 李小明, 杨麒, 罗琨, 易欣 ( 365 )                                          |
| 不同硅铝比 Fe-ZSM-5 催化剂对氧化亚氮催化分解性能的研究 .....                    | 卢仁杰, 张新艳, 郝郑平 ( 371 )                                                      |
| 硫酸铵和尿素对废物焚烧过程中多种途径生成氯苯类的抑制作用 .....                        | 严密, 祁志福, 李晓东, 胡艳军, 陈彤 ( 380 )                                              |
| 县域尺度的京津冀都市圈 CO <sub>2</sub> 排放时空演变特征 .....                | 汪浩, 陈操操, 潘涛, 刘春兰, 陈龙, 孙莉 ( 385 )                                           |
| 保水剂性能及其农用安全性评价研究进展 .....                                  | 李希, 刘玉荣, 郑袁明, 贺纪正 ( 394 )                                                  |

# 保水剂性能及其农用安全性评价研究进展

李希<sup>1,2,3</sup>, 刘玉荣<sup>1</sup>, 郑袁明<sup>1\*</sup>, 贺纪正<sup>1</sup>

(1. 中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085; 2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 中国科学院亚热带农业生态研究所亚热带农业生态过程重点实验室, 长沙 410125)

**摘要:** 保水剂能够吸收其自身体积和重量数倍的水分从而增加土壤含水率、改善土壤团粒结构、提高肥料利用效率, 促进农作物生长, 在节水农业生产等方面具有广泛的潜在应用价值. 本文介绍了国内外保水剂的种类、性能、在农业中的应用等方面的最新研究进展, 评述了保水剂对土壤的物理性质、作物生长的影响, 并指出其中存在的问题. 鉴于保水剂使用不当对土壤环境曾造成危害, 因此本文提出在保水剂的应用环节中, 在注重其保水性能的同时, 还应借鉴化学品环境安全评价的方法, 系统评估保水剂的使用对土壤生态可能造成的影响, 特别是对土壤微生物生态的影响, 避免盲目投入造成的土壤板结、土壤肥力下降等不利影响, 填补保水剂对环境影响研究的空白.

**关键词:** 保水剂; 环境安全性; 农业; 土壤

**中图分类号:** X131.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3301(2014)01-0394-07

## Characterization and Soil Environmental Safety Assessment of Super Absorbent Polymers in Agricultural Application

LI Xi<sup>1,2,3</sup>, LIU Yu-rong<sup>1</sup>, ZHENG Yuan-ming<sup>1</sup>, HE Ji-zheng<sup>1</sup>

(1. State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Key Laboratory of Agro-ecological Processes in Subtropical Region, Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Changsha 410125, China)

**Abstract:** Super absorbent polymers (SAPs) are compounds that can absorb a lot of water which can be several folds of their original size and weight. They can increase soil water content and aggregates, promote fertilizer utilization efficiency, and stimulate crop growth. Therefore, SAPs have been widely regarded as a potential agent for water-saving agriculture. In this paper, we reviewed the advances of SAPs in materials, properties and applications in agriculture and pointed out that the absence of influences of SAPs on soil microbial ecology was the main issue in current studies. In regard to the adverse effects on soil environment caused by misuse of SAPs, we should address the systematic safety assessment of SAPs application in the soil, especially the effects on the soil microorganisms, which should be an important part of chemicals risk assessment in the soil application.

**Key words:** super absorbent polymers (SAPs); environmental safety; agriculture; soil

随着世界人口剧增, 经济高速发展, 全球用水量急剧增长, 水污染日益严重, 导致水资源短缺问题在世界范围内日益显现, 在农业生产中表现得尤为突出<sup>[1,2]</sup>. 水资源影响着全球的环境与发展<sup>[3]</sup>, 中国的水资源短缺问题更为严重, 特别在中国北方地区(如华北地区等)<sup>[4]</sup>. 北方缺水地区持续枯水年份的出现, 以及黄河、淮河、海河与汉江同时遭遇枯水年份等不利因素的影响, 加剧了北方水资源的供应失衡. 所以, 阻止水土流失和抗旱节水已成为我国农业在未来能否可持续发展迫切需要解决的问题.

保水剂称高吸水剂、超强吸水树脂 (super absorbent polymer, SAP), 是一种能够吸收自身原来尺寸和重量数倍水分的化合物. 保水剂吸水后形成的水凝胶可缓慢释放水分供作物利用, 同时, 又能增强土壤保水性, 改良土壤结构, 影响土壤理化性质、

作物根系生长发育等, 进而影响水分和溶质在土壤中的运移规律和作物生理机能, 提高化肥的利用率<sup>[5]</sup>. 目前近 30 个国家已将保水剂用于工业、农业、建筑、园艺、卫生等多个领域, 在农业上也得到了很好发展, 应用前景广阔<sup>[6]</sup>. 但是, 从第一代保水剂的使用就开始发生环境问题. 第一代保水剂由于以丙烯腈单体为原料, 该原料残留会产生毒性, 影响环境安全<sup>[7]</sup>. 由日本三洋公司于 1975 年开发的第二代淀粉-聚丙烯酸接枝共聚物, 虽然成本低、毒性低, 但热稳定性不高, 耐盐性差, 在高盐分土壤中吸

收稿日期: 2013-04-15; 修订日期: 2013-05-15

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41071163); 中国科学院青年创新促进会项目

作者简介: 李希 (1983 ~), 男, 博士, 主要研究方向为基于土壤微生物分子生态学的化学品生态风险评价, E-mail: lixi821@163.com

\* 通讯联系人, E-mail: zhengym@rcees.ac.cn

水性能会降低并造成严重土壤板结. 80 年代中期研发的新型保水剂在耐盐性、热稳定性和保水性等方面有所提高,造成土壤板结的问题也得到了有效改善<sup>[8]</sup>. 但是,保水剂在应用过程中一旦盲目推广使用可能造成的环境问题使得其农用安全性评价成为必然. 虽然目前研发和使用的保水剂对土壤物理化学性质没有明显影响,但是随着现代技术的进步,仅仅对土壤基本理化性质(包括保水性能)进行评价是远远不够的. 特别是土壤微生物作为土壤生态系统的重要组成部分,与土壤物质循环和能量流动密切相关. 保水剂对土壤微生物生态影响的研究仍然处于空白.

本文对国内外保水剂的种类、性能及在农业中的应用等方面的最新研究进展进行了总结,鉴于其在农业应用中可能产生的环境安全问题尚缺乏系统研究,在借鉴典型环境污染物研究方法的基础上,提

出了保水剂环境安全性评价的方法和技术思路,以期未来开展更为全面的农用化学品环境风险研究提供借鉴,并为建立人类活动导致的土壤生态风险的评价技术和评价体系提供科学依据.

1 保水剂的类型、性能及影响其性能的因素

1.1 保水剂的类型

保水剂的吸水是由于高分子电解质的离子排斥作用所引起的分子扩张和本身网状结构阻碍分子扩张相互作用所产生的结果. 这种高分子化合物的分子链无限长地连接,分子之间呈复杂的三维网状结构,从而使其具有一定的交联度. 这种网状结构能够在水中膨胀,在分子网状结构的网眼内进入大量的水分<sup>[9,10]</sup>. 由于保水剂种类繁多,按原料不同,可以分为表 1 中几种.

表 1 保水剂的原料及种类

Table 1 Materials and types of super absorbent polymers

| 原料 | 淀粉类                    | 纤维素类             | 合成聚合物类           | 其他天然物及其衍生物系、共混物及复合物 |
|----|------------------------|------------------|------------------|---------------------|
| 种类 | 淀粉-聚丙烯酰胺型、<br>淀粉-聚丙烯酸型 | 羧甲基纤维素型、<br>纤维素型 | 聚丙烯酸型、聚丙烯腈、聚乙烯醇等 | 复合型,天然物中萃取型等        |

水解聚丙烯腈或淀粉、纤维素接枝聚丙烯腈类保水剂聚合后需进行水解,难以造粒,在土壤中容易流失;淀粉与丙烯酸(或丙烯酰胺)、交联性的单体接枝共聚物类保水剂吸水性和耐盐性较好,成本低,但稳定性较差;丙烯酸盐交联聚合物类保水剂吸水性能强,稳定性好,但耐盐性较差,其钠盐会造成土壤板结和盐渍化,一般宜用其钾盐或铵盐;丙烯酰胺交联聚合物类保水剂吸水性能稍差,但耐盐性和稳定性较好;复合型保水剂不仅保水吸水性能好,而且耐盐性和稳定性也较好. 目前,国内外应用的保水剂主要有丙烯酰胺-丙烯酸盐交联共聚物、聚丙烯酰胺 (polyacrylamide, PAM),复合型保水剂正在研究开发中,不久也将投入市场. 最近研究表明,复合材料型保水剂将主导以后保水剂市场,也是以后保水剂研究的重要方向<sup>[11]</sup>.

1.2 保水剂性能

1.2.1 吸水能力

吸水能力包括吸水倍数和吸水速率. 吸水倍数指保水剂所吸收水分质量与自身质量的比值,反映保水剂能够吸收水分的最大量,是保水剂保水性能的一个重要指标<sup>[12]</sup>. 吸水倍数越大,能够保持的水分越多,可给予农作物更多的水分吸收. 刘亚琦

等<sup>[13]</sup>使用 10 种农用保水剂进行吸水倍数的比较,发现玉米淀粉-丙烯酸共聚型保水剂的吸水性能最好.

吸水(液)速率为单位质量的保水剂在单位时间内吸收的液体的体积或质量,是衡量保水剂能否快速吸水的一个重要指标<sup>[14]</sup>. 保水剂的吸水过程符合一般吸附过程,即开始吸水较快,以后较慢,达到饱和与平衡后不再吸水. 目前,提高 SAP 吸水速率的方法主要有引入矿物质,增大 SAP 表面积等.

刘亚琦等<sup>[13]</sup>发现聚丙烯酸盐型保水剂开始吸水速率很快,随着时间的延长吸水速率逐渐下降,直至达到饱和. 而聚丙烯酸-无机矿物复合型保水剂在一开始便能迅速吸水,相比之下更适用于农业生产. 陈晓蓉等<sup>[15]</sup>发现加入养分矿粉合成复合保水剂具有实用价值,能大幅降低保水剂成本而保持较高的保水性能.

1.2.2 保水能力

保水能力是反映保水剂充分吸水后的供水能力,即所吸水量中能够释放而供植物吸收利用的比例<sup>[16]</sup>. 保水能力的大小用保水率来衡量<sup>[17]</sup>. 刘亚琦等<sup>[13]</sup>发现小粒径复合型保水剂保水性能相对较好. 在干旱地区使用保水剂,保水剂可使周围的土

壤保持一定含水量,以供给植物根系水分.在沙漠地区和极端干旱地区,施用保水剂也可植树种草.但是,传统土壤学研究中将土壤水分形态区分为有效水和束缚水,而不是仅仅用土壤含水率笼统进行衡量.目前对保水剂保水性能的研究中,还缺少对水分形态的相关研究.

### 1.2.3 保肥能力

保水剂作为一种高吸水性树脂,其表面分子具有吸附和离子交换的作用,使其同样可用于控制肥料养分的释放<sup>[18~20]</sup>.Paul 等<sup>[21]</sup>发现在废水中和动物粪便溶液中加入保水剂可以吸附溶液中的氮磷钾等营养元素.苟春林等<sup>[22]</sup>研究表明保水剂在大量吸水的同时,也对溶液中的肥料分子或者离子有吸持作用,吸持量均随肥料浓度的增加而增加;除尿素外,保水剂对肥料的吸持率随肥料浓度的增加而呈降低趋势.

### 1.3 影响保水剂性能的因素

保水剂对土壤有保水和保肥的作用,但并不是对所有浓度保水剂的施用、施用到所有类型的土壤,都具有同样的效果.具体的影响因素主要有①保水剂浓度:当保水剂浓度越高时,对土壤的保水性能并不会出现越好的效果,反而会下降,甚至出现负面的影响.有研究发现,当 PAM 与凹凸棒土复合型保水剂浓度超过 0.1% 时,对土壤的持水性能反而出现减弱的趋势<sup>[23]</sup>;而聚丙烯酸-丙烯酰胺(PAAM)型保水剂施用在高盐碱类型土壤中,将会失去其保水性能;②土壤的质地:在河砂与泥土比例混配不同质地的土壤中,其河砂/泥土比值越低的土壤,保水剂对土壤的保水能力将越弱<sup>[24]</sup>;③土壤含水量:当土壤水分充分时,施用保水剂将不会促进一些植物的生长,反而出现了抑制的作用<sup>[25]</sup>.因此,如果缺少对保水剂使用的安全性评价,那么保水剂的使用效能将会降低,并且会造成不利的生态影响.目前已有的研究主要集中在对土壤和作物性质的影响上,主要是提高土壤的含水率以及作物的生长发育,包括发芽率、生物量等,不同的研究得出的规律也不一致.需要根据作物类型、土壤类型开展系统研究,并考察除以上因素之外的对土壤微生物生态的影响,以建立更全面的保水剂的环境安全评价体系.

## 2 保水剂农用的安全性评价

我国保水剂研制和应用始于 20 世纪 80 年代中期,发展较快.国家“十五”863 项目中,“新型多功

能保水剂系列产品研制与产业化开发”列为重要内容<sup>[6]</sup>.随着科技的发展,新型多功能保水剂不断涌现,并且通过物理化学方法和生物方法围绕保水剂对作物生长及土壤物理化学性质的影响等方面开展了相当多的研究.多数研究表明,施用保水剂对农作物生长促进作用显著<sup>[26~30]</sup>.然而保水剂对环境安全性的评价还处于空白,特别是基于土壤-植物-微生物系统的环境安全性评价的报道还很欠缺.

### 2.1 保水剂应用的土壤生态风险评价

生态风险评价是将人类活动对环境的影响用科学数据进行表征,并转化为风险概率,用以阐述人类活动对环境生物不利影响的可能性<sup>[31,32]</sup>.1990 年,美国国家环保署在人体健康风险评价的技术基础上演进为以生态系统及其组分为风险受体的生态风险评价概念<sup>[33]</sup>;1992 年美国环保署颁布了生态风险评价框架;1998 年又对生态风险评价框架内容进行了修改、补充.目前生态风险评价已进入了大尺度空间的区域生态风险评价新阶段<sup>[31,32]</sup>.生态风险评价过程包括危害识别、暴露评价及效应评价、风险表征和风险管理 4 个层次<sup>[31]</sup>.危害识别即分析污染物对生物潜在的不利影响,首先包括生态受体的选择;暴露评价是预测和测定受体暴露于污染物的特征(包括强度和時間等),效应评价是对污染物的剂量-效应关系的评价;风险表征是对暴露于各种胁迫之下的不利生态效应的综合判断和表达,以便为最后的风险管理服务.目前尚未建立针对保水剂类化学品生态风险评价的概念模型.近年来,化学品及农药对土壤环境造成的污染受到世界各国的重视,纷纷以土壤生态系统组分及其功能指标开展了毒性测试和风险评价,例如对蚯蚓、跳虫等土壤动物,对敏感农作物、对土壤微生物乃至土壤呼吸以及各种土壤酶等的研究<sup>[34~38]</sup>.

作为化学品衍生物的保水剂,可以借鉴化学品及农药对环境安全性评价的方法,通过逐步开展对土壤生态系统组分及其功能的测定,构建用于保水剂安全风险评价的技术体系.如保水剂生态风险受体确定,评价终点选择,暴露途径和方式,暴露剂量分析与计算,风险表征以及保水剂生态风险管理对策等.根据 1998 年 EPA 的生态风险评价框架图<sup>[32]</sup>和已有的报道,结合保水剂自身特点,提出保水剂生态风险受体为农作物、土壤理化性质以及土壤微生物性质系统,保水剂对该系统的影响作为评价终点,以该系统各项指标值受到保水剂影响的程度反映各生态系统的状况作为暴露途径和方式,通过暴露保



水剂不同剂量、种类、施用方法的比较,评价该系统暴露可接受水平作为风险表征,最后结合上面的分析结果对保水剂进行生态风险管理.通过开展保水剂对农作物生长、土壤物理化学性质以及土壤微生物等特性的影响研究<sup>[39]</sup>,分析保水剂的使用对土壤-植物系统的影响,提出基于生态风险评价的框架(图1),为更好地建立起保水剂化学品的生态风险评价指标体系提供参考.相关研究的开展不仅可以填补保水剂环境安全性评价的空白,也是对化学品土壤利用风险评价体系的有益补充.

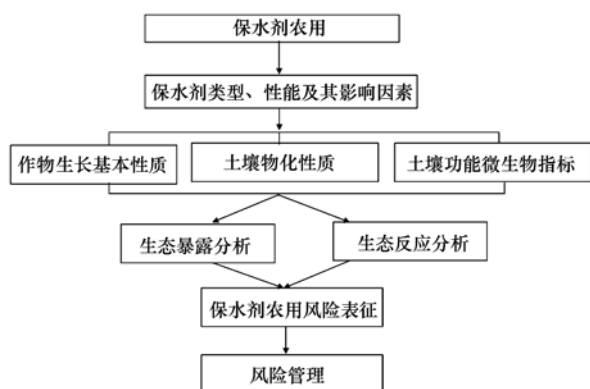


图1 保水剂生态风险评价框架

Fig. 1 Ecological risk assessment frame of SAPs

## 2.2 保水剂对农作物的影响

保水剂促进农作物生长是保水剂农用的基本需求.根据保水剂的类型和特点,相关研究主要集中在如何以低成本为前提促进植物生长等方面,主要包括保水剂的材料、施用量、使用方法等.

在保水剂材料方面,目前研发的复合型保水剂广泛得到良好的使用效果.侯冠男等<sup>[40]</sup>发现高吸水树脂型与聚丙烯酰胺型保水剂复合配比使用对小麦促进生长影响要好于单一材料配比的保水剂.张璐等<sup>[41]</sup>也发现 $\beta$ -环糊精+羧甲基纤维素钠+可溶性淀粉+玉米芯热解粉配方的复合保水剂对提高小白菜种子发芽率的效果最好.

在保水剂施用量方面,对于不同的农作物,最佳施用量也不相同,黄占斌等<sup>[42]</sup>试验认为,穴施保水剂( $15\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ )可使马铃薯增产16%.杨永辉等<sup>[43,44]</sup>研究表明 $60\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 保水剂用量的小麦产量和生长最好.目前,对一些干旱作物的研究中, $60\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 保水剂用量为最优<sup>[45]</sup>.

在保水剂施用方法方面,对于不同的农作物,最佳施用方法也不相同.刘殿红等<sup>[46]</sup>得出苗期穴施和播种沟施,能够促进马铃薯干物质的积累,提高光合生产率.张蕊等<sup>[47]</sup>得出撒施对促进春小麦地上

部及根系生物量效果最好.杜社妮等<sup>[48]</sup>研究发现沟施、穴施的效果强于散施,能够提高玉米生物量、籽粒产量.

以上的研究都是基于对农作物生长正面影响的研究.其实保水剂施入的土壤在灌水后土壤中的液相显著增加,而气相和固相减少.这是因为保水剂吸水膨胀而引起的,气相过度减少会给作物生长发育带来不同程度的副作用,导致植物缺氧、吸收养分不充分等.黄占斌等<sup>[49]</sup>得出3%保水剂含量过高,吸水过多而影响了烤烟的缓苗.同样保水剂用量过大也会抑制玉米正常生长和干物质积累.因此应根据土壤性质和作物类型确定保水剂的用量.

## 2.3 保水剂对土壤理化性质的影响

在研究保水剂农用可行性,不仅要研究其对农作物生长的影响作为基本需求,同时研究其对土壤环境的影响将是保水剂能否可持续使用的重点.目前相关的研究主要集中在对土壤物化性质影响等方面,主要包括土壤水分、土壤团粒结构和土壤渗透性能等.

在土壤水分方面,不同种类的保水剂,运用到不同种类的土壤中,得到的结果也不尽相同.其中研究其对植物生长非常重要的土壤有效水是保水剂能否改善土壤水分供给能力的基础.杨浩等<sup>[50]</sup>研究表明,钾-聚丙烯酸酯-聚丙烯酰胺共聚物类保水剂在提高土壤有效水分吸收效率和吸收数量两个方面达到了最好的水平,李扬等<sup>[51]</sup>研究得出在鄂尔多斯沙质土壤中,聚丙烯酸酯聚合物在提高有效水方面最优.

在土壤团粒结构方面,多数研究报道保水剂不同施用方法均对土壤团粒结构的形成有促进作用,特别是对土壤中 $0.5\sim 5\text{ mm}$ 粒径的团粒结构形成最明显.PAM可以减少穿透阻力,增加土壤团粒结构,防止大块硬层土壤的形成<sup>[52,53]</sup>.员学锋等<sup>[54]</sup>发现施用PAM后的土壤水稳性团聚体含量均较对照有了显著的提高.当保水剂浓度较低时,拌施和撒施均能提高土壤团聚体含量,但二者之间差异不大.

在土壤渗透性能方面,相关研究表明,在一定浓度范围内使用保水剂将有效地增加土壤的渗透能力.白文波等<sup>[55]</sup>得出,土壤入渗能力随着保水剂浓度的增加而增大,以一定浓度为临界值,大于此浓度反而会降低土壤入渗. Sojka<sup>[56]</sup>发现PAM的质量浓度为 $0.0001\%\sim 0.001\%$ 范围内,保水剂与水混合灌溉到土壤中,能够防止土壤侵蚀和提高土壤渗透率.

与保水剂对农作物生长影响报道相同,正面研究报道居多,保水剂的使用对土壤物化性质均能得到有效的改善。但是当保水剂的浓度超过一定值的时候,负面作用也会显现出来。杨红善等<sup>[23]</sup>发现土壤中不是施用保水剂量越多越好,当保水剂用量过大时会一定程度地破坏土壤结构,引起土壤板结。员学峰等<sup>[54]</sup>得出当 PAM 浓度过高时,过多的 PAM 分子并没有渗入土壤深层,而是在土壤表层过度粘结土粒,反而抑制了水的渗透。因此,要根据不同土壤的性质使用适当浓度的保水剂,以免造成对土壤环境的破坏。然而,只研究保水剂对土壤物化性质的影响,不足以阐述保水剂对土壤环境的影响,土壤微生物在土壤物质转化中具有多种重要作用,与土壤肥力和植物营养有密切关系,研究其对土壤微生物的影响将是保水剂风险评价体系中的重点内容。

#### 2.4 保水剂对土壤微生物的影响

土壤微生物活性和群落结构是土壤生态系统受外界扰动最直接、最敏感的部分,因而是评价土壤环境质量中不可缺少的生物学指标<sup>[57]</sup>。保水剂对土壤生物活性的影响将是一个在土壤理化环境和生物环境共同作用下的动态过程。上述生物学指标对保水剂施加入土壤后的敏感程度及其稳定性可能不同程度地受保水剂种类、用量、施用方法及土壤理化、生物环境的影响。因此,笔者需要根据不同种类、用量、施用方法对不同质地土壤的影响进行研究,对保水剂进行综合的风险评价。目前,国内外研究保水剂对土壤微生物的影响尚处于空白状态。为了更好地建立起保水剂的生态风险评价体系,在微生物指标方面,人们可以借鉴农药安全评价方法中对土壤微生物的影响与评价方法,对保水剂进行安全性评价。目前利用土壤微生物进行风险评价的指标值检测方法有<sup>[58]</sup>:测定有机氮转化为  $\text{NH}_4^+$  的速率和/或  $\text{NH}_4^+$  转化为  $\text{NO}_3^-$  的速率,土壤微生物生物量、呼吸等。其中土壤微生物呼吸作用是评价污染物对土壤微生物生态效应的重要指标之一,其大小通常与土壤微生物的总量有关,呼吸作用越强,微生物数量越大。随着技术进步,对土壤生态的理解也逐渐深入,微生物生态不能忽视。土壤微生物这个指标值,在化学品的土壤风险评价体系也是一个极其重要的指标参数,所以这部分内容必将是今后研究发展的重点内容。

#### 3 结语与展望

保水剂施加入土壤后,能够通过自身的特殊结

构改善土壤物理性质、提高土壤水分利用率以及促进农作物生长发育,因而保水剂在我国节水农业具有巨大的开发潜力和广阔的应用前景。然而,保水剂在高浓度下使用会对土壤物理化学性质产生负面影响,并且在土壤水分充足时对农作物生长产生抑制作用。与保水剂的使用成本结合考虑,保水剂研究应当注意适宜的用量和使用方法。此外,随着保水剂材料的不断更新,其对自然环境以及土壤微生物的影响还十分缺乏。为了能使保水剂得到合理和有效的使用,需要建立起保水剂的生态风险评价方法,尽量系统地评价保水剂使用对土壤生态系统的影响。因此,在未来的研究中,可以尝试借鉴农药等化学品土壤安全性评价的方法,逐步完善保水剂使用对土壤-农作物系统的影响,为高质量的土壤环境管理提供借鉴和参考。

#### 参考文献:

- [1] Islam M R, Eneji A E, Ren C R, *et al.* Oat-based cropping system for sustainable agricultural development in arid regions of northern China [J]. *Journal of Agriculture, Biotechnology and Ecology*, 2010, **3**(3): 1-8.
- [2] 信乃谄,王立祥编. 中国北方旱区农业[M]. 南京:江苏科技出版社,1999.
- [3] World Water Council. World Water Vision 2025 [M]. London: Earthscan Publications Ltd., 2000.
- [4] 陈志恺. 中国水资源的可持续利用问题[J]. *水文*, 2003, **23**(1): 1-5.
- [5] 杜建军,苟春林,崔英德,等. 保水剂对氮肥挥发和氮磷钾养分淋溶损失的影响[J]. *农业环境科学学报*, 2007, **26**(4): 1296-1301.
- [6] 黄占斌,夏春良. 农用保水剂作用原理研究与发展趋势分析[J]. *水土保持研究*, 2005, **12**(5): 104-106.
- [7] Fanta G F, Burr R C, William M D. Graft polymerization of acrylamide and 2-acrylamido-2-methylpropanesulfonic acid onto starch [J]. *Journal of Applied Polymer Science*, 1979, **24**(9): 2015-2023.
- [8] 王爱勤,张俊平. 有机-无机复合高吸水性树脂研究进展与发展趋势[J]. *功能材料信息*, 2006, **3**(5): 14-18.
- [9] Buchholz F L, Graham A T. Modern superabsorbent polymer technology [M]. New York: Wiley, 1997.
- [10] Mahdavinia G R, Pourjavadi A, Hosseinzadeh H, *et al.* Modified chitosan 4. Superabsorbent hydrogels from poly (acrylic acid-co-acrylamide) grafted chitosan with salt-and pH-responsiveness properties [J]. *European Polymer Journal*, 2004, **40**(7): 1399-1407.
- [11] 李荣喜,胡红莲,黄永芳,等. 6种保水剂对油茶生长和光合特性的影响[J]. *经济林研究*, 2012, **30**(4): 47-51.
- [12] 田巍,李天一,白福臣,等. 保水剂研究进展及应用[J]. *化工新型材料*, 2009, **37**(2): 11-14.
- [13] 刘亚琦,黄占斌,林杉,等. 10种农用保水剂基本性能的比

- 较研究[J]. 干旱地区农业研究, 2011, **29**(6): 147-151.
- [14] 刘宇光. 高分子复合吸水性材料的辐射合成及性能测定[J]. 哈尔滨商业大学学报: 自然科学版, 2004, **20**(3): 329-233.
- [15] 陈晓蓉, 刘辉, 陈薇, 等. 几种矿物复合保水剂的保水性能及养分增效研究[J]. 土壤学报, 2011, **49**(1): 194-197.
- [16] 党秀丽, 张玉龙, 黄毅. 保水剂在农业上的应用与研究进展[J]. 土壤通报, 2006, **37**(2): 352-355.
- [17] 张建刚, 汪勇, 汪有科, 等. 10 种保水剂基本特性对比研究[J]. 干旱地区农业研究, 2009, **27**(2): 208-212.
- [18] Shaviv A. Advances in controlled-release fertilizers [J]. Advances in Agronomy, 2001, **71**: 1-49.
- [19] Smith J D, Harrison H C. Evaluation of polymers for controlled-release properties when incorporated with nitrogen fertilizer solutions [J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 1991, **22**(5-6): 559-573.
- [20] Mikkelsen R L. Using hydrophilic polymers to control nutrient release[J]. Fertilizer Research, 1994, **38**(1): 53-59.
- [21] Paul W, Tim K. Solids, organic load and nutrient concentration reductions in swine waste slurry using a polyacrylamide (PAM)-aided solids flocculation treatment[J]. Water Research, 2005, **90**(2): 151-158.
- [22] 苟春林, 王新爱, 李永胜, 等. 保水剂与氮肥的相互影响及节水保肥效果[J]. 中国农业科学, 2011, **44**(19): 4015-4021.
- [23] 杨红善, 刘瑞凤, 张俊平, 等. PAAM-atta 复合保水剂对土壤持水性及其物理性能的影响[J]. 水土保持学报, 2005, **19**(3): 38-41.
- [24] 谢建军, 韩心强, 何新建. PAAM 高吸水树脂的土壤保水性能[J]. 材料工程, 2010, (3): 84-88.
- [25] 刘群, 王忆, 张新忠, 等. PAM 保水剂及纳米蒙脱土对果园生草地上部生物量的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2012, **30**(6): 168-173.
- [26] Azzam R A I. Polymeric conditioner gels for desert soils[J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 1983, **14**(8): 739-760.
- [27] Yazdani F, Allahdadi I, Akbari G A. Impact of superabsorbent polymer on yield and growth analysis of soybean (*Glycine max* L.) under drought stress condition[J]. Pakistan Journal Biologic Science, 2007, **10**(23): 4190-4196.
- [28] Johnson M S, Piper C D. Cross-linked, water-storing polymers as aids to drought tolerance of tomatoes in growing media [J]. Journal of Agronomy and Crop Science, 1997, **178**(1): 23-27.
- [29] Sivapalan S. Some benefits of treating a sandy soil with a crosslinked type polyacrylamide [J]. Australian Journal of Experimental Agriculture, 2006, **45**: 579-584.
- [30] Busscher W J, Bjorneberg D L, Sojka R E. Field application of PAM as an amendment in deep-tilled US southeastern coastal plain soils[J]. Soil & Tillage Research, 2009, **104**(2): 215-220.
- [31] United States Environmental Protection Agency. Framework for Ecological Risk Assessment. EPA/630/R- 692/001. [R]. Washington D C: USEPA, 1992.
- [32] United States Environmental Protection Agency. Guidelines for Ecological Risk Assessment. EPA/630/R- 695/002F. [R]. Washington D C: USEPA, 1998.
- [33] 陈辉, 刘劲松, 曹宇, 等. 生态风险评价研究进展[J]. 生态学报, 2006, **26**(5): 1558-1566.
- [34] 蔡道基. 农药环境毒理学研究[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1999.
- [35] Liu Y R, Zheng Y M, He J Z. Toxicity of profenofos to the springtail, *Folsomia candida*, and ammonia-oxidizers in two agricultural soils[J]. Ecotoxicology, 2012, **21**(4): 1126-1134.
- [36] Hanson N, Stark J D. Comparison of population level and individual level endpoints to evaluate ecological risk of chemicals [J]. Environmental Science & Technology, 2012, **46**(10): 5590-5598.
- [37] Kathrin F, Cornelis K, Martin S, *et al.* Including transformation products into the risk assessment for chemicals: the case of nonylphenol ethoxylate usage in Switzerland[J]. Environmental Science & Technology, 2002, **36**(6): 1147-1154.
- [38] Fan A, Howd R, Davis B. Risk assessment of environmental chemicals[J]. Annual Review of Pharmacology and Toxicology, 1995, **35**(1): 341-68.
- [39] Li X, He J Z, Zheng Y M, *et al.* Effects of super absorbent polymers on soil microbial properties and Chinese cabbage (*Brassica chinensis*) growth [J]. Journal Soils and Sediments, 2013, **13**(4): 711-719.
- [40] 侯冠男, 刘景辉, 郝景慧, 等. SAP、PAM 对土壤水分及小麦生长发育和产量的影响[J]. 中国农学通报, 2012, **28**(18): 102-106.
- [41] 张璐, 孙向阳, 田赞, 等. 复合保水剂吸水保水性能及其应用[J]. 农业工程学报, 2012, **28**(15): 87-93.
- [42] 黄占斌, 张国桢, 李秧秧. 保水剂特性测定及其在农业中的应用[J]. 农业工程学报, 2002, **18**(1): 22-26.
- [43] 杨永辉, 吴普特, 武继承, 等. 保水剂对冬小麦土壤水分和光合生理特征的影响[J]. 中国水土保持科学, 2010, **8**(5): 36-41.
- [44] 杨永辉, 武继承, 吴普特, 等. 保水剂用量对小麦不同生育期根系生理特性的影响[J]. 应用生态学报, 2011, **22**(1): 73-78.
- [45] 赵霞, 黄瑞冬, 李潮海, 等. 农艺措施和保水剂对土壤蒸发和夏玉米水分利用效率的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2013, **31**(1): 102-106.
- [46] 刘殿红, 黄占斌, 蔡连捷, 等. 保水剂用法和用量对马铃薯产量和效益的影响[J]. 西北农业学报, 2008, **17**(1): 266-270.
- [47] 张蕊, 耿桂俊, 于健, 等. 聚丙烯酰胺施用方式对土壤水热及春小麦生产的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2013, **31**(1): 140-145, 165.
- [48] 杜社妮, 白岗栓, 赵世伟, 等. 沃特和 PAM 施用方式对土壤水分及玉米生长的影响[J]. 农业工程学报, 2008, **24**(11): 30-35.



- [49] 黄占斌, 万惠娥, 邓西平, 等. 保水剂在改良土壤和作物抗旱节水中的效应[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1999, **5**(4): 52-55.
- [50] 杨浩, 王百田, 岳征文, 等. 应用保水剂对黄绵土水分特征的影响研究[J]. 水土保持研究, 2011, **18**(3): 183-186.
- [51] 李杨, 王百田. 高吸水性树脂对沙质土壤物理性质和玉米生长的影响[J]. 农业机械学报, 2012, **43**(1): 76-82.
- [52] Goebel M O, Bachmann J, Woche S K, *et al.* Soil wettability, aggregate stability, and the decomposition of soil organic matter [J]. Geoderma, 2005, **128**(1-2): 80-93.
- [53] John B, Yamashita T, Ludwig B, *et al.* Storage of organic carbon in aggregate and density fractions of silty soils under different types of land use[J]. Geoderma, 2005, **128**(1-2): 63-79.
- [54] 员学锋, 汪有科, 吴普特, 等. PAM 对土壤物理性状影响的试验研究及机理分析[J]. 水土保持学报, 2005, **19**(2): 37-40.
- [55] 白文波, 李茂松, 赵虹瑞, 等. 保水剂对土壤积水入渗特征的影响[J]. 中国农业科学, 2010, **43**(24): 5055-5062.
- [56] Sojka R E, Lentz R D, Westernmann D T. Water and erosion management with multiple applications of polyacrylamide in furrow irrigation [J]. Soil Science Society of America Journal, 1998, **62**(6): 1672-1680.
- [57] Speir T W. Assessment of the feasibility of using CCA (copper, chromium and arsenic)-treated and boric acid-treated sawdust as soil amendments. II. Soil Biochemical and biological properties [J]. Plant and Soil, 1992, **142**(2): 249-258.
- [58] EPPO (European and Mediterranean Plant Protection Organization). Normes OEPP/EPPO Standards PP 3/7 (2) Environmental risk assessment scheme for plant protection products, Chapter 8: Soil organisms and functions[S]. Paris: EPPO, 2002.

## CONTENTS

|                                                                                                                                                                    |                                                                    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| An Assessment of PM <sub>2.5</sub> Related Health Risks and Impaired Values of Beijing Residents in a Consecutive High-Level Exposure During Heavy Haze Days ..... | XIE Yuan-bo, CHEN Juan, LI Wei ( 1 )                               |
| Seasonal Variation of Water-Soluble Ions in PM <sub>2.5</sub> at Changbai Mountain .....                                                                           | ZHAO Ya-nan, WANG Yue-si, WEN Tian-xue, <i>et al.</i> ( 9 )        |
| Variation of Atmospheric Particle Number Concentrations in Qingdao and Its Impact on Visibility .....                                                              | KE Xin-shu, SHENG Li-fang, KONG Jun, <i>et al.</i> ( 15 )          |
| Concentrations of PCDD/Fs in the Atmosphere of Chongqing City and Its Seasonal Variation .....                                                                     | ZHANG Xiao-ling, LU Yi, ZHU Ming-ji, <i>et al.</i> ( 22 )          |
| Atmospheric Emission of PCDD/Fs from Secondary Aluminum Metallurgy Industry in the Southwest Area, China .....                                                     | LU Yi, ZHANG Xiao-ling, GUO Zhi-shun, <i>et al.</i> ( 30 )         |
| Atmospheric Emission of PCDD/Fs from Modern Dry Processing Cement Kilns with Preheating in the Southwest Area, China .....                                         | ZHANG Xiao-ling, LU Yi, JIAN Chuan, <i>et al.</i> ( 35 )           |
| Pollution Status and Characteristics of PBDEs in Indoor Air of Hangzhou .....                                                                                      | JIANG Xin-wei, SUN Xin, PEI Xiao-qiang, <i>et al.</i> ( 41 )       |
| Size Distribution of Particle and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Particle Emissions from Simulated Emission Sources .....                                     | FU Hai-huan, TIAN Na, SHANG Hui-bin, <i>et al.</i> ( 46 )          |
| Atmospheric Deposition Fluxes and Seasonal Variations of Elements in Northeast of Sichuan, Central China .....                                                     | TONG Xiao-ning, ZHOU Hou-yun, YOU Chen-feng, <i>et al.</i> ( 53 )  |
| Trend in Acid Deposition at Tieshanping, Chongqing During 2001-2010 .....                                                                                          | YU De-xiang, MA Xiao-xiao, TAN Bing-quan, <i>et al.</i> ( 60 )     |
| Wet Deposition of Atmospheric Nitrogen of the Jinshui Watershed in the Upper Hanjiang River .....                                                                  | WANG Jin-jie, ZHANG Ke-rong, WU Chuan, <i>et al.</i> ( 66 )        |
| Chemical Compositions of <i>n</i> -Alkanoic Acids in Wheat Straw and Its Smoke .....                                                                               | LIU Gang, LI Jiu-hai, WU Dan, <i>et al.</i> ( 73 )                 |
| Magnetic Properties of Indoor Dustfall at Different Heights in Lanzhou .....                                                                                       | WU Duo, WEI Hai-tao, ZHAO Rui-rui, <i>et al.</i> ( 79 )            |
| Mercury Fluxes from Conifer-Broadleaf Forested Field in Central Subtropical Forest Zone .....                                                                      | MA Ming, WANG Ding-yong, SHEN Yuan-yuan, <i>et al.</i> ( 85 )      |
| Impacts of Rice Straw Biochar on Organic Carbon and CO <sub>2</sub> Release in Arable Soil .....                                                                   | KE Yue-jin, HU Xue-yu, YI Qing, <i>et al.</i> ( 93 )               |
| Geochemical Distribution of Dissolved Bismuth in the Yellow Sea and East China Sea .....                                                                           | WU Xiao-dan, SONG Jin-ming, WU Bin, <i>et al.</i> ( 100 )          |
| Temporal-spatial Distribution and Pollution Assessment of Heavy Metals in the Upper Reaches of Hunhe River (Qingyuan Section), Northeast China .....               | MA Ying-qun, SHI Yao, QIN Yan-wen, <i>et al.</i> ( 108 )           |
| Determination of Estrogenic Compounds in Water of Jiulong River Using Polar Organic Chemical Integrative Sampler .....                                             | ZHANG Li-peng, WANG Xin-hong, LI Yong-yu, <i>et al.</i> ( 117 )    |
| Variation Characteristics and Environmental Significant of Trace Elements Under Rainfall Condition in Karst Groundwater .....                                      | CHEN Xue-bin, YANG Ping-heng, LAN Jia-cheng, <i>et al.</i> ( 123 ) |
| Major Ion Chemistry of Surface Water in the Xilin River Basin and the Possible Controls .....                                                                      | TANG Xi-wen, WU Jin-kui, XUE Li-yang, <i>et al.</i> ( 131 )        |
| Forms and Spatial Distribution Characteristics of Nitrogen in Ziya River Basin .....                                                                               | ZHAO Yu, SHAN Bao-qing, ZHANG Wen-qiang, <i>et al.</i> ( 143 )     |
| Impact of Rice Agriculture on Nitrogen and Phosphorus Exports in Streams in Hilly Red Soil Earth Region of Central Subtropics .....                                | SONG Li-fang, WANG Yi, WU Jin-shui, <i>et al.</i> ( 150 )          |
| Study on Distribution of Phosphorus in Surface Sediments of the Yellow Sea and the East China Sea .....                                                            | SONG Guo-dong, LIU Su-mei, ZHANG Guo-ling ( 157 )                  |
| Characterization and Optimization of the NaOH-EDTA Extracts for Solution <sup>31</sup> P-NMR Analysis of Organic Phosphorus in River Sediments .....               | ZHANG Wen-qiang, SHAN Bao-qing, ZHANG Hong, <i>et al.</i> ( 163 )  |
| Regeneration and Transformation of BAPP in Suspended Solids Under Short-term Sediment Disturbance .....                                                            | WU Xiao-fei, LI Da-peng, WANG Ming ( 171 )                         |
| Sediment Risk Assessment and Heavy Metal Source Analysis in Typical Country Water Level Fluctuated Zone (WLFZ) of the Three Gorges .....                           | AO Liang, LEI Bo, WANG Ye-chun, <i>et al.</i> ( 179 )              |
| Pollution Distribution and Potential Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Sediments from the Different Eastern Dredging Regions of Lake Taihu .....       | MAO Zhi-gang, GU Xiao-hong, LU Xiao-ming, <i>et al.</i> ( 186 )    |
| Study on the Stages of Major Sediments in Dianchi Lake .....                                                                                                       | WANG Xin-yu, ZHOU Feng, YI Xuan, <i>et al.</i> ( 194 )             |
| Oil Spill Identification Using Partial Surface Fitting Method Based on Concentration-Synchronous-Matrix-Fluorescence Spectra .....                                 | WANG Chun-yan, SHI Xiao-feng, LI Wen-dong, <i>et al.</i> ( 202 )   |
| Treatment of Sludge Liquor Produced in Deep Dehydration by Photoelectro-Fenton Process .....                                                                       | WANG Xian-li, WANG Shi-feng, WU Jun-feng, <i>et al.</i> ( 208 )    |
| Characteristics of Nitrification and Denitrification for Simultaneous Nitrogen and Phosphorus Removal by Granular Sludge .....                                     | LIU Xiao-ying, LIN Hui, MA Zhao-rui, <i>et al.</i> ( 214 )         |
| Study on Long-Term Stability of Biological Nitrogen Removal via Nitrite from Real Landfill Leachate .....                                                          | SUN Hong-wei, GUO Ying, PENG Yong-zhen ( 221 )                     |
| Compositions and Residual Properties of Petroleum Hydrocarbon in Contaminated Soil of the Oilfields .....                                                          | HU Di, LI Chuan, DONG Qian-qian, <i>et al.</i> ( 227 )             |
| Dynamics of the Mineralization and Transformation of Rice Photosynthesized Carbon in Paddy Soils - a Batch Incubation Experiment .....                             | TAN Li-min, PENG Pei-qin, LI Ke-lin, <i>et al.</i> ( 233 )         |
| Effects of Land Use and Abandonment on Soil Labile Organic Carbon in the Karst Region of Southwest China .....                                                     | LIAO Hong-kai, LI Juan, LONG Jian, <i>et al.</i> ( 240 )           |
| Aluminum Dissolution and Changes of pH in Soil Solution During Sorption of Copper by Aggregates of Paddy Soil .....                                                | XU Hai-bo, ZHAO Dao-yuan, QIN Chao, <i>et al.</i> ( 248 )          |
| Effect of Cr(VI) Anions on the Cu(II) Adsorption Behavior of Two Kinds of Clay Minerals in Single and Binary Solution .....                                        | LIU Juan-juan, LIANG Dong-li, WU Xiao-long, <i>et al.</i> ( 254 )  |
| Effect of Flooding Time Length on Mycorrhizal Colonization of Three AM Fungi in Two Wetland Plants .....                                                           | MA Lei-meng, WANG Peng-teng, WANG Shu-guang ( 263 )                |
| Preliminary Study on the Relationship Between the Water Quality and the Aquatic Biological Health Status of Taihu Lake .....                                       | ZHOU Xiao-bai, ZHANG Ning-hong, ZHANG Yong, <i>et al.</i> ( 271 )  |
| Acute Toxicity of Three Typical Pollutants to Aquatic Organisms and Their Water Quality Criteria .....                                                             | JIANG Dong-sheng, SHI Xiao-rong, CUI Yi-bin, <i>et al.</i> ( 279 ) |
| Evaluation of the Acute Toxicity of Pharmaceutical Wastewater to Luminescent Bacteria .....                                                                        | DU Li-na, YANG Fan, MU Yu-feng, <i>et al.</i> ( 286 )              |
| Influence of the Coexistence of Zn <sup>2+</sup> on the Enantioselective Toxicity of Metolachlor to <i>Scenedesmus obliquus</i> .....                              | HU Xiao-na, ZHANG Shu-xian, CHEN Cai-dong, <i>et al.</i> ( 292 )   |
| Simplification of Biotic Ligand Model and Evaluation of Predicted Results .....                                                                                    | WANG Wan-bin, CHEN Sha, WU Min, <i>et al.</i> ( 299 )              |
| Priority Pollutants Ranking and Screening of Coke Industry based on USEtox Model .....                                                                             | HAO Tian, DU Peng-fei, DU Bin, <i>et al.</i> ( 304 )               |
| Isolation, Identification and Characterization of a Microcystin-degrading Bacterium <i>Paucibacter</i> sp. Strain CH .....                                         | YOU Di-jie, CHEN Xiao-guo, XIANG Hui-yi, <i>et al.</i> ( 313 )     |
| Inhibition of the Activity of Sulfate-reducing Bacteria in Produced Water from Oil Reservoir by Nitrate .....                                                      | YANG De-yu, ZHANG Ying, SHI Rong-jiu, <i>et al.</i> ( 319 )        |
| Bioconversion of Cellulose to Methane by a Consortium Consisting of Four Microbial Strains .....                                                                   | WU Jun-mei, MA An-zhou, CUI Meng-meng, <i>et al.</i> ( 327 )       |
| Factors Influencing the Variability in Soil Heterotrophic Respiration from Terrestrial Ecosystem in China .....                                                    | XIE Wei, CHEN Shu-tao, HU Zheng-hua ( 334 )                        |
| Study on the Distinguishing of Root Respiration from Soil Microbial Respiration in a <i>Leymus chinensis</i> Steppe in Inner Mongolia, China .....                 | SHI Jing-jing, GENG Yuan-bo ( 341 )                                |
| Nitrous Oxide Flux at the Water-Air Interface of the Rivers in Nanjing During Summer .....                                                                         | HAN Yang, ZHENG You-fei, WU Rong-jun, <i>et al.</i> ( 348 )        |
| Effects of Antiseptic on the Analysis of Greenhouse Gases Concentrations in Lake Water .....                                                                       | XIAO Qi-tao, HU Zheng-hua, James Deng, <i>et al.</i> ( 356 )       |
| Electricity Generation of Surplus Sludge Microbial Fuel Cell Enhanced by Biosurfactant .....                                                                       | PENG Hai-li, ZHANG Zhi-ping, LI Xiao-ming, <i>et al.</i> ( 365 )   |
| Fe-ZSM-5 Catalysts with Different Silica-Alumina Ratios for N <sub>2</sub> O Catalytic Decomposition .....                                                         | LU Ren-jie, ZHANG Xin-yan, HAO Zheng-ping ( 371 )                  |
| Inhibition of Chlorobenzene Formation via Various Routes During Waste Incineration by Ammonium Sulfate and Urea .....                                              | YAN Mi, QI Zhi-fu, LI Xiao-dong, <i>et al.</i> ( 380 )             |
| County Scale Characteristics of CO <sub>2</sub> Emission's Spatial-Temporal Evolution in the Beijing-Tianjin-Hebei Metropolitan Region .....                       | WANG Hao, CHEN Cao-cao, PAN Tao, <i>et al.</i> ( 385 )             |
| Characterization and Soil Environmental Safety Assessment of Super Absorbent Polymers in Agricultural Application .....                                            | LI Xi, LIU Yu-rong, ZHENG Yuan-ming, <i>et al.</i> ( 394 )         |

# 《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)

2014年1月15日 35卷 第1期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 35 No. 1 Jan. 15, 2014

|         |                                                                                                                                                                     |                  |    |                                                                                                                                                                                                                         |
|---------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 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)<br>北京市环境保护科学研究院<br>清华大学环境学院                                                                                                                               | Co-Sponsored     | by | Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection<br>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<br>北京市2871信箱(海淀区双清路<br>18号, 邮政编码:100085)<br>电话:010-62941102, 010-62849343<br>传真:010-62849343<br>E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn<br>http://www. hjkx. ac. cn | Edited           | by | The Editorial Board of Environmental Science ( HUANJING KEXUE )<br>P. O. Box 2871, Beijing 100085, China<br>Tel:010-62941102, 010-62849343; Fax:010-62849343<br>E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn<br>http://www. hjkx. ac. cn |
| 出 版     | 科 学 出 版 社<br>北京东黄城根北街16号<br>邮政编码:100717                                                                                                                             | Published        | by | Science Press<br>16 Donghuangchenggen North Street,<br>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<br>电话:010-64017032<br>E-mail: journal@ mail. sciencep. com                                                                                                | Distributed      | by | Science Press<br>Tel:010-64017032<br>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<br>(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