

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第35卷 第5期

Vol.35 No.5

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

长三角地区秸秆燃烧排放因子与颗粒物成分谱研究 唐喜斌, 黄成, 楼晟荣, 乔利平, 王红丽, 周敏, 陈明华, 陈长虹, 王倩, 李贵玲, 李莉, 黄海英, 张钢锋 (1623)

南京市大气颗粒物中水溶性离子的粒径分布和来源解析 薛国强, 朱彬, 王红磊 (1633)

2011年春季沙尘天气影响下上海大气颗粒物及其化学组分的变化特征 李贵玲, 周敏, 陈长虹, 王红丽, 王倩, 楼晟荣, 乔利平, 唐喜斌, 李莉, 黄海英, 陈明华, 黄成, 张钢锋 (1644)

结合外场观测分析珠三角二次有机气溶胶的数值模拟 郭晓霜, 司徒淑婷, 王雪梅, 丁翔, 王新明, 闫才青, 李小滢, 郑玫 (1654)

2013年夏季嘉兴市一次光化学事件的观测分析 沈利娟, 李莉, 吕升, 张孝寒, 吴博, 章国骏, 王翡 (1662)

移动监测法测量厦门春秋季节近地面 CO₂ 的时空分布 李燕丽, 邢振雨, 穆超, 杜可 (1671)

秸秆烟尘和灰烬中元素碳的稳定同位素组成 刘刚, 李久海, 徐慧, 吴丹, 刘艳 (1680)

连续测量大气·OH的化学电离飞行时间质谱仪的研制 窦健, 花磊, 侯可勇, 蒋蕾, 谢园园, 赵无垠, 陈平, 王卫国, 田地, 李海洋 (1688)

我国重点城市水源及水厂出水中乙草胺的残留水平 于志勇, 金芬, 李红岩, 安伟, 杨敏 (1694)

巢湖水体组分垂向分布特征及其对水下光场的影响 马孟泉, 张玉超, 钱新, 马荣华, 段洪涛 (1698)

京杭大运河(杭州段)典型断面水生生物多样性调查及其与水环境相关性研究 陆胤, 许晓路, 张德勇, 王莉, 朱旭妮, 冯凤, 周巧君, 谢鹏 (1708)

合肥市典型景观水体氮磷污染特征及富营养化评价 李如忠, 刘科峰, 钱靖, 杨继伟, 张翩翩 (1718)

重庆园博园龙景湖新建初期内源氮磷分布特征及扩散通量估算 潘延安, 雷沛, 张洪, 单保庆, 李杰 (1727)

千岛湖库区及其主要入库河流水中有机氯农药残留污染特征及健康风险评价 唐访良, 张明, 徐建芬, 阮东德, 陈峰, 吴志旭, 程新良 (1735)

九龙江流域潜在病原菌污染分析 侯丽媛, 胡安谊, 马英, 于昌平 (1742)

江湖关系变化对鄱阳湖沉积物重金属分布及生态风险影响 刘婉清, 倪兆奎, 吴志强, 王圣瑞, 曾清如 (1750)

鄱阳湖-乐安河湿地水土环境中重金属污染的时空分布特征 简敏菲, 李玲玉, 徐鹏飞, 陈朴青, 熊建秋, 周雪玲 (1759)

典型岩溶水系统中溶解性有机质的运移特征 姚昕, 邹胜章, 夏日元, 许丹丹, 姚敏 (1766)

基于扰动分析方法的 AnnAGNPS 模型水文水质参数敏感性分析 席庆, 李兆富, 罗川 (1773)

混合胁迫条件下蓝藻运动特性研究 孙秀秀, 丛海兵, 高郑娟, 崔朝杰, 曹倩倩 (1781)

不同波长和强度光照对水体汞还原的影响 李希嘉, 钟紫旋, 孙荣国, 杨鲲, 王定勇 (1788)

地下水中常见离子对纳米零价铁除 Se(IV) 动力学的研究 杨文君, 郭迎庆, 杜尔登 (1793)

溴化铍可见光催化降解高效氯氟菊酯的研究 彭一莱, 赵小蓉, 贾漫珂, 周薇, 黄应平 (1798)

石墨烯基磁性复合材料吸附水中亚甲基蓝的研究 常青, 江国栋, 胡梦璇, 黄佳, 唐和清 (1804)

电化学氧化 PFOA 阳极材料筛选及其机制研究 卓琼芳, 邓述波, 许振成, 余刚 (1810)

典型抗生素在中国西南地区某污水处理厂中的行为和归趋 甘秀梅, 严清, 高旭, 张怡昕, 訾成方, 彭绪亚, 郭劲松 (1817)

颗粒状大孔阴树脂去除有机物以及缓解膜污染的效果与机制 何欢, 董秉直, 许光红, 闫昭辉 (1824)

石墨-活性炭纤维复合电极电吸附处理含盐废水的研究 周贵忠, 王兆丰, 王绚, 李文倩, 李少香 (1832)

靛基氯甲基化聚苯乙烯的制备及废水生化处理应用 张华雨, 许晴, 牛春梅, 王亚君, 侯正浩, 李绍英, 陈延明, 廉静, 吴士彬, 郭建博 (1838)

FePMo₁₂ 催化电化学反应降解染料废水的研究 王栗, 岳琳, 郭建博, 杨景亮, 廉静, 罗晓, 王开红 (1843)

实际污水培养好氧颗粒污泥及其特性研究 杨淑芳, 张健君, 邹高龙, 杜至力 (1850)

SFBR 中好氧颗粒污泥的培养及特性研究 龙焙, 杨昌柱, 濮文虹, 杨家宽, 白俊, 王晶, 周玄月, 蒋国盛, 李春阳, 刘福标 (1857)

不同好/厌氧区容积负荷对生物膜/颗粒污泥耦合工艺脱氮除磷的影响 尹航, 刘畅, 高辉, 高大文 (1866)

黄原酸化废弃污泥吸附 Cu²⁺ 研究 岑艳, 全向春, 姜晓满 (1871)

轮叶黑藻和穗花狐尾藻对铜的吸收机制研究 薛培英, 李国新, 赵全利 (1878)

不同烧制温度下玉米秸秆生物炭的性质及对苯的吸附性能 黄华, 王雅雄, 唐景春, 朱文英 (1884)

北京常见绿化树种叶片富集重金属能力研究 李少宁, 孔令伟, 鲁绍伟, 陈波, 高琛, 石媛 (1891)

泰州市区重金属污染的藜袋法与路尘法评价研究 陈勤, 方炎明, 颜赞, 陈步金 (1901)

放牧对呼伦贝尔草甸草原土壤呼吸温度敏感性的影响 王旭, 闫瑞瑞, 邓钰, 闫玉春, 辛晓平 (1909)

苹果园土壤呼吸的变化及生物和非生物因素的影响 王蕊, 郭胜利, 刘庆芳, 张彦军, 姜继超, 郭慧敏, 李如剑 (1915)

重庆铁山坪森林土壤汞释放通量的影响因子研究 王琼, 罗遥, 杜宝玉, 叶芝祥, 段雷 (1922)

上海市郊区养殖场周边环境砷含量特征 奚功芳, 周守标, 丁海城, 姚春霞, 孔娟娟 (1928)

不同施氮量下水稻分蘖期光合碳向土壤碳库的输入及其分配的量化研究: ¹³C 连续标记法 谭立敏, 吴昊, 李卉, 周萍, 李科林, 王久荣, 葛体达, 袁红朝, 吴金水 (1933)

污灌区盐分累积对土壤汞吸附行为影响的模拟研究 郑顺安, 李晓华, 徐志宇 (1939)

石灰干化污泥稳定后土壤中 Pb、Cd 和 Zn 浸出行为的研究 李翔, 宋云, 刘永兵 (1946)

大连市海产品中短链氯化石蜡的含量与分布研究 虞俊超, 王宝盛, 王亚韡, 孟梅, 陈茹, 江桂斌 (1955)

应用生物配体模型(BLM)研究辽河与太湖水体中铜对大型溞的急性毒性 周腾耀, 曹莹, 覃璐玫, 张亚辉, 曾鸿鸣, 闫振广, 刘征涛 (1962)

氧化铜纳米颗粒对水稻幼苗根系代谢毒性的研究 王淑玲, 张玉喜, 刘汉柱, 辛华 (1968)

吐温 80 对苏云金芽孢杆菌降解三苯基锡的促进机制 黄捷, 叶锦韶, 尹华, 彭辉, 马嘉雯, 唐立涛, 王惜若 (1974)

牛粪混合液微生物燃料电池长期运行稳定性研究 焦燕, 张国栋, 赵庆良 (1981)

针铁矿对城市生活垃圾有机组分厌氧发酵的影响 杨露露, 岳正波, 陈天虎, 王进 (1988)

城市生活垃圾集装箱转运过程中污染物产生状况研究 王晓媛, 刘殷华, 汪飞, 黄长缨, 陆峰, 谢冰 (1994)

铈插层黏土负载铁催化剂在 H₂S 选择性催化氧化过程中催化性能的研究 孙超, 张鑫, 郝郑平, 窦广玉, 孙春宝 (2002)

脱硫类水滑石衍生复合氧化物不同方法的制备与表征 祝春蕾, 王海林, 孙春宝 (2010)

固定污染源排气中 PM_{2.5} 采样方法综述 蒋靖坤, 邓建国, 李振, 李兴华, 段雷, 郝吉明 (2018)

产甲烷微生物研究概况 李煜珊, 李耀明, 欧阳志云 (2025)

《环境科学》征稿简则(1961) 《环境科学》征订启事(1967) 信息(1643, 1687, 1803, 1837)

我国重点城市水源及水厂出水中乙草胺的残留水平

于志勇¹, 金芬², 李红岩¹, 安伟¹, 杨敏^{1*}

(1. 中国科学院生态环境研究中心环境水质学国家重点实验室, 北京 100085; 2. 中国农业科学院农业质量标准与检测技术研究所农产品质量与食品安全重点实验室, 北京 100081)

摘要: 利用固相萃取-气质联用法调查了我国 36 个重点城市 145 个水源水和 209 个出厂水中乙草胺的残留水平。水源水中乙草胺的检出率为 66.9%, 平均浓度为 33.9 ng·L⁻¹, 水厂处理对乙草胺的去除效果有限。按不同区域划分, 东北地区的检出浓度最高; 按水源类型划分, 湖库水中浓度远高于河流水和地下水; 按水系划分, 辽河水系和沿海地区的检出率和检出浓度最高。

关键词: 乙草胺; 水源水; 出厂水; 残留水平

中图分类号: X52 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2014)05-1694-04 DOI: 10.13227/j.hjxx.2014.05.009

Residual Levels of Acetochlor in Source Water and Drinking Water of China's Major Cities

YU Zhi-yong¹, JIN Fen², LI Hong-yan¹, AN Wei¹, YANG Min¹

(1. State Key Laboratory of Environmental Aquatic Chemistry, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China; 2. Key Laboratory of Agro-product Quality and Safety, Institute of Quality Standards & Testing Technology for Agri-products, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: The concentration levels of acetochlor were investigated in source water and drinking water from 36 major cities in China by solid phase extraction (SPE) combined with gas chromatography - mass spectrometry (GC-MS). Acetochlor detection rate was 66.9% in all the 145 source water samples collected with an average concentration of 33.9 ng·L⁻¹. The average removal rate of acetochlor was limited through the drinking water treatment process. The detection concentration of the northeast region was the highest. The concentrations of acetochlor detected in lake were higher than those in river and groundwater as source water. The detection rate and concentration of Liaohe river watershed and the coastal watershed were the highest.

Key words: acetochlor; source water; drinking water; residual level

乙草胺 (acetochlor) 由美国 Monsanto 于 1971 年开发成功, 是一种应用广范的内吸性酰胺类除草剂, 主要通过阻碍蛋白质合成而抑制细胞生长, 用于防除玉米、棉花、豆类、花生、马铃薯、油菜、大蒜、烟草、向日葵、蓖麻等作物地中一年生禾本科杂草和部分小粒种子的阔叶杂草。按我国农药毒性分级标准, 乙草胺属低毒除草剂, 但进入环境后会对土壤、水体、作物和水中生物等造成长期和不可逆的影响^[1~3], 其原药具有内分泌干扰活性和致癌作用^[4,5], 进入人体后也会对肝、肾和红细胞造成损害^[6,7], 已经被美国环境保护署列为 B-2 类致癌物^[8,9], 欧盟委员会也下令欧盟成员国在 2012 年 7 月 23 日取消其登记^[10]。至今为止, 世界各国饮用水水质标准中都没有针对乙草胺的浓度限值。

乙草胺作为世界上最重要的除草剂品种之一, 在地表水、地下水及饮用水中均有检出。美国对 Yazoo 河和 Mississippi 河的研究中发现乙草胺检出浓度为 130 ~ 1 660 ng·L⁻¹, 其在排污沟中最大浓度达 11 400 ng·L⁻¹^[11,12]。乙草胺也是我国使用量最大的除草剂。

2010 年我国乙草胺原药产量已超过 6 万 t, 用量超过 1 万 t。我国山东莱州湾和胶州湾的海水中最大浓度达 78.5 ng·L⁻¹^[13]; 北京官厅水库 2003 ~ 2004 年检测到的残留浓度最大为 1.5 ng·L⁻¹, 平均浓度为 0.55 ng·L⁻¹^[14]。然而, 总体来说, 有关乙草胺在我国环境、特别是水源水中分布的研究并不多见。

本研究中采用固相萃取-气质联用法对水源水和出厂水中的乙草胺进行测试, 并分析了我国 36 个重点城市水源水和出厂水中的残留状况, 以期对饮用水水质管理提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 样品采集

2009 年 12 月 ~ 2012 年 5 月对全国 31 个省会城市和 5 个二级城市的 121 个水厂按照取样标准进

收稿日期: 2013-09-05; 修订日期: 2013-11-08

基金项目: 国家自然科学基金项目 (51290283); 国家高新技术研究发展计划 (863) 项目 (2012AA062802)

作者简介: 于志勇 (1976 ~), 男, 博士, 工程师, 主要研究方向为环境分析化学, E-mail: zzy@rcees.ac.cn

* 通讯联系人, E-mail: yangmin@rcees.ac.cn

行两次采样,共采集到 145 个水源水及 209 个出厂水样品. 水样用 4 L 棕色玻璃瓶取完后 4℃ 运回实验室进行前处理和分析.

1.2 仪器与试剂

气相色谱-质谱联用仪 (GC/MS-QP2010 Plus, Shimadzu, 日本); 固相萃取装备 (Mediwax, 美国); 真空泵 (DOA-P504-BN, GAST, 美国); 氮吹仪 (WD-12, 杭州奥盛); 纯水机 (Milli-Q Biocel, Millipore, 美国); DB-5MS (60 m × 0.25 mmID × 0.25 μm) 色谱柱 (Agilent, 美国). 乙草胺标样购自中国计量科学研究院, 浓度为 100 mg·L⁻¹. 超纯水 (电阻率 = 18.2 MΩ·cm); 二氯甲烷和甲醇为 HPLC 级 (Fisher, 美国); 正己烷为农残级 (Fisher, 美国); HLB 和 C18 固相萃取柱 (500 mg/6CC, Waters, 美国); 玻璃纤维滤膜 (GF/C Φ 70 mm, Whatman, 英国).

1.3 GC/MS 仪器条件

气相色谱条件: DB-5MS (60 m × 0.25 mmID × 0.25 μm) 色谱柱; 柱流量: 1 mL·min⁻¹; 进样口温度: 290℃; 程序升温过程: 起始温度为 80℃, 保持 2 min, 以 6℃·min⁻¹ 升至 290℃, 保持 23 min, 总的升温程序为 60 min; 样品采取不分流进样, 进样量为 1 μL; 溶剂延迟时间: 14 min. 质谱条件为电子能量: 70 eV; 检测器电压: 0.9 kV; 采用 SIM 模式定量.

1.4 样品前处理

将 1 L 水样 (水源水需先过 GF/C 膜) 通过串联的 C18 和 HLB 固相萃取柱浓缩富集. C18 和 HLB 固相萃取柱均先用 6 mL 的二氯甲烷、6 mL 的甲醇和 6 mL 的超纯水活化, 上样速度约为 10 mL·min⁻¹, 水样过完后抽干固相萃取柱. C18 和 HLB 柱分别用 10 mL 的二氯甲烷逆序洗脱, 洗脱液在微弱的氮气流下吹干, 用 1 mL 正己烷溶解用 GC-MS 测定.

1.5 质量控制与保证 (QA/QC)

由于农药的广泛使用和实际样品中的含量极低, 分析过程中的任何残留都会对分析结果产生很大的影响, 因此空白试验对样品结果的准确性是很重要的. 为控制实验过程中的空白值, 每一批样品 (6~8 个) 均采集一针溶剂空白, 每次样品均带有空白及加标样品, 所有的数据均为扣除空白后的数据. 样品中的基质对测试结果也有很大的影响, 所以实验采用外标定量时, 所用标样均是在基质中加标, 这样就消除了基质干扰. 加标浓度分别为 0、0.05、0.1、0.2 和 0.5 mg·L⁻¹. 采用分别在超纯水、北京第九水厂的源水和出厂水中加标 (0.1 μg·L⁻¹, 平行 3 次) 计算方法的回收率. 检出限采用信噪比 (s/n)

大于 10 的进样浓度作为检出限浓度.

2 结果与讨论

2.1 方法的有效性与定性和定量

实验采用外标定量, 基质加标的标线方程为:

$$Y = 203\ 650X - 629.36 \quad (r^2 = 1)$$

在超纯水、北京第九水厂的源水和出厂水中加标 (0.1 μg·L⁻¹, 平行 3 次) 的回收率分别为 78.0%、109.6% 和 89.3%. 本方法的检出限浓度为 6.9 ng·L⁻¹ (超纯水中). 乙草胺的定性采用和基质加标的色谱保留时间 (偏差 < 2%) 和离子碎片的丰度比 (偏差 < 20%) 定性, 乙草胺的保留时间为 28.89 min, 定量碎片为 160, 定性碎片为 176.

2.2 水源水中乙草胺的污染水平

采集的全国 36 个重点城市的 89 个水源水的 145 个样品中, 97 个样品中 (66.9%) 检出乙草胺, 浓度范围为 ND ~ 1 054.9 ng·L⁻¹, 平均浓度为 33.9 ng·L⁻¹ (见图 1). 匈牙利对全国表层水的调查中乙草胺的检出率 30.6%, 最大达 2 000 ~ 3 000 ng·L⁻¹ [15]. 美国对 1998 年中西部采集的 212 个水样分析乙草胺的检出率在 90% 以上 [16]; 中西部河流中乙草胺的平均浓度 1994 年为 50 ng·L⁻¹, 1995 年为 42 ng·L⁻¹, 1998 年为 72 ng·L⁻¹ [17]. 本研究中我国重点城市饮用水源水中乙草胺的检出率及其浓度水平与上述报道比较接近.

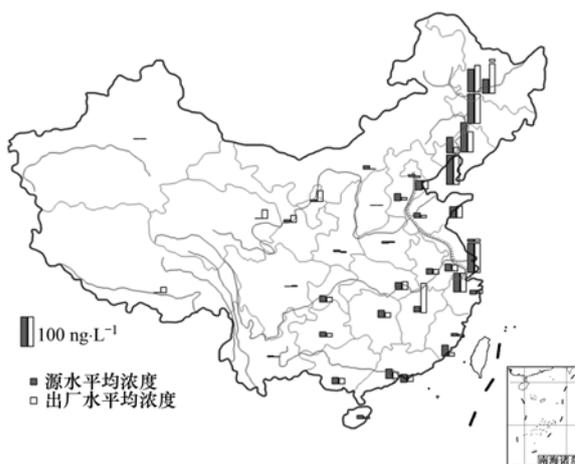


图 1 我国 36 个城市水源水和出厂水中乙草胺平均浓度
Fig. 1 Average residue concentrations of acetochlor in sources water and supply water

我国水源水中乙草胺残留按不同区域对照结果见表 1.

按区域来分, 除西北地区和西南地区以外, 其他区域检出率均高于 60.0%, 说明乙草胺的污染比较

普遍;在浓度水平上,东北地区平均检测浓度达到 $196.2 \text{ ng}\cdot\text{L}^{-1}$,远高于其他地区,其次为东部地区.乙草胺污染主要与种植业有着密切联系.我国玉米产区主要集中在北方春播玉米区、黄淮海平原夏播玉米区和西南山地玉米区;棉花产区主要集中在长江流域棉区、黄河流域棉区和新疆棉区.本研究中,东北地区、东部南方地区和东部北方地区人口密集、具有发达的集约化种植业,并且是我国玉米、棉花和大豆的主要产区.为了防除作物地中杂草,施用农药集中,容易造成乙草胺污染.特别是东北地区,夏天主要种植玉米,并且由于雨水较少,对农药的稀释作用少,所以乙草胺的污染最为严重,检出率达 94.1%.

按水系来分,辽河水系和沿海水系的水源水中乙草胺无论是检出浓度还是检出率均高于其它地区,特别是辽河水系,在所有样品中均检出乙草胺,平均浓度高达 $171.9 \text{ ng}\cdot\text{L}^{-1}$ (表 2).

按照水源类型,河流型水源水乙草胺检出率为 71.4%,平均浓度为 $17.9 \text{ ng}\cdot\text{L}^{-1}$;湖库型水源水乙草胺检出率为 70.3%,平均浓度为 $55.6 \text{ ng}\cdot\text{L}^{-1}$;地

下水型水源水乙草胺检出率为 38.9%,平均浓度为 $12.3 \text{ ng}\cdot\text{L}^{-1}$ (表 3).本研究中发现湖库型水源被乙草胺污染程度比河流型水源严重,这与乙草胺的光解和水解均很小有关.乙草胺的水解进程符合一级反应方程,在正常的环境条件下很难水解,其水解半衰期在 pH 7~10 的水中是 2 310 d,在 pH=4 的水中是 1 386 d.无机离子和腐殖酸等对乙草胺的水解影响很小^[18].乙草胺的光量子产率较低,在自然光范围内的直接光解速度较慢,乙草胺的最大吸收光谱为 194.0 nm,所以对于到达地球表面的太阳光不能有效地吸收,导致其光解速度极慢^[19].由于湖库型水源水稀释作用较河流型水源小,所以湖库型水源中残留浓度较高.乙草胺在土壤中吸附主要受土壤有机质支配,有机质含量越高越有利于吸附.在土壤中的移动性小,主要保持在 0~3 cm 土层中,属于移动性弱的农药,移动等级为 II 级^[20,21].所以地下水受污染较轻,检出率和平均浓度均最低.

2.3 出厂水中农药残留情况及健康风险

121 个出厂水的 209 个样品中,130 个(62.2%)检出乙草胺,浓度范围为 ND~909.6 $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$,平均浓

表 1 不同区域水源水中乙草胺残留情况

Table 1 Residue levels of acetochlor in source water of different regions

区域	水源水样品数	检出水平		
		浓度范围/ $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$	平均浓度/ $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$	检出率/%
东北	17	ND ¹⁾ ~1 054.9	196.2	94.1
东部北方	23	ND~34.1	10.0	78.3
西北	13	ND~12.9	3.0	46.2
中部	25	ND~21.6	6.1	60.0
东部南方	41	ND~393.7	23.9	82.9
西南	26	ND~53.3	6.7	30.8

1)ND:未检出,下同

表 2 不同水系水源水中乙草胺残留情况

Table 2 Residue levels of acetochlor in source water of different water systems

水系	水源水样品数	检出水平		
		浓度范围/ $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$	平均浓度/ $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$	检出率/%
松花江	3	ND~49.8	22.6	66.7
辽河	10	8.4~826.6	171.9	100.0
海河	10	ND~25.2	10.4	90.0
黄河	32	ND~23.5	3.7	40.6
长江	38	ND~393.8	22.1	65.8
珠江	15	ND~19.2	9.9	66.7
沿海	37	ND~1 054.9	52.7	83.8

表 3 不同水源类型水源水中乙草胺残留情况

Table 3 Residue levels of acetochlor in source water of different kinds of source water

水源水类型	水源水样品数	检出水平		
		浓度范围/ $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$	平均浓度/ $\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$	检出率/%
河流水	63	ND~393.7	17.9	71.4
湖库水	64	ND~1 054.9	55.6	70.3
地下水	18	ND~152.2	12.3	38.9

度为 $31.1 \text{ ng}\cdot\text{L}^{-1}$ (见图 1)。乙草胺的无明显效应水平(NOEL)为 $2.0 \text{ mg}\cdot(\text{kg}\cdot\text{d})^{-1}$ (基于为期 1 a 狗喂食条件下的血糖水平和肝糖原含量的降低),参考剂量(RFD)为 $0.02 \text{ mg}\cdot(\text{kg}\cdot\text{d})^{-1}$ ^[22],由此得出每个 70 kg 成年人每天可摄入乙草胺的无影响作用量为 1.4 mg。按我国 36 个重点城市出厂水中乙草胺平均浓度为 $31.1 \text{ ng}\cdot\text{L}^{-1}$,每个成年人每天饮用 2 L 饮用水计算,饮用水中乙草胺的风险商为 4.44×10^{-2} ,风险较低。但按出厂水中最高浓度 $909.6 \text{ ng}\cdot\text{L}^{-1}$ 计算,其风险商为 1.30,为高风险物质^[23],应该引起重视。

从检测的 36 个重点城市的水源水和出厂水中乙草胺的浓度水平及检出率情况分析,现有各种水厂的处理工艺对乙草胺的平均去除率为 21.5%,深度处理的平均去除率也只有 35.0%,去除率随着水源水中残留浓度的升高而升高。水体中的乙草胺通过还原、水解、光解等反应降解缓慢,只有通过生物降解或在光敏剂存在下曝气才能有效去除^[18~20],但我国的自来水厂处理工艺大多采用沉淀-絮凝-氯消毒的方式,个别水厂加入了臭氧消毒进行深度处理,但对乙草胺的去除效果都不明显。我国生活饮用水卫生标准中未规定乙草胺的限值。如果按欧盟饮用水标准计算,出厂水中乙草胺超标率(超过 $100 \text{ ng}\cdot\text{L}^{-1}$)为 6.7%。水厂现有处理工艺不能很好地去除源水中的乙草胺残留,所以要从源头抓起,加强对水源的监控,防止水源中乙草胺的污染,才能有效地降低出厂水中乙草胺的健康风险。

3 结论

采用固相萃取-气质联用法对我国主要城市的水源水和出厂水中的乙草胺进行了调查。水源水中乙草胺的检出率为 66.9%,从区域上看,东北地区的检出浓度最高;从水源类型上看,湖库水中浓度远高于河流水和地下水;从水系看,辽河水系和沿海地区的检出率和检出浓度最高。水厂处理工艺对乙草胺的平均去除率只有 21.5%,所以要严格控制水源水中的污染情况。

参考文献:

- [1] 张倩茹,周启星,张惠文. 乙草胺与硫酸铜对黑土微生物的复合生态影响[J]. 环境科学, 2007, **28**(4): 826-831.
- [2] 孙青,史淳星,石坤,等. 添加不同 N 源条件下典型除草剂对土壤呼吸和 N_2O 排放的影响[J]. 环境科学, 2012, **33**(6): 1994-1999.
- [3] 晁雷,周启星,陈苏,等. 乙草胺对小麦生理机能的影响与生物标记物识别[J]. 环境科学, 2007, **28**(4): 866-871.
- [4] 刘德英,张剑波,丁剑. 我国农药类环境内分泌干扰物使用现状和对策[J]. 自然生态保护, 2005, (6): 45-50.
- [5] 罗娜,刘欣. 除草剂乙草胺的毒性及其内分泌干扰活性研究进展[J]. 环境科学导刊, 2010, **29**(6): 10-13.
- [6] 冯慧敏,何红波,俞洁,等. 乙草胺的生态环境风险及其主要土壤行为综述[J]. 土壤通报, 2009, **40**(1): 203-208.
- [7] 董滨,王凤花,林爱军,等. 乙草胺降解菌 A-3 的筛选及其降解特性[J]. 环境科学, 2011, **32**(2): 542-547.
- [8] USEPA. Questions and answers. Conditional registration of acetochlor[S]. 1994.
- [9] USEPA. Acetochlor/alachlor: cumulative risk assessment for the chloroacetanilides[S]. 2006.
- [10] 2011 年全球农药淘汰禁限动态 [EB/OL]. <http://cn.agropages.com/News/NewsDetail--3035.htm>.
- [11] Coupe R H, Welch H L, Pell A B, *et al.* Herbicide and degradate flux in the Yazoo River Basin[J]. International Journal Environmental Analytical Chemistry, 2005, **85**(15): 1127-1140.
- [12] Rebich R A, Coupe R H, Thurman E M. Herbicide concentrations in the Mississippi River Basin the importance of chloroacetanilide herbicide degradates[J]. Science of the Total Environment, 2004, **321**(1-3): 189-199.
- [13] Xu X Q, Yang H H, Wang L, *et al.* Analysis of chloroacetanilide herbicides in water samples by solid-phase microextraction coupled with gas chromatography-mass spectrometry[J]. Analytica Chimica Acta, 2007, **591**(1): 87-96.
- [14] Xue N D, Xu X B, Jin Z L. Screening 31 endocrine-disrupting pesticides in water and surface sediment samples from Beijing Guanting reservoir [J]. Chemosphere, 2005, **61**(11): 1594-1606.
- [15] Rocha C, Pappas A E, Huang C H. Determination of trace triazine and chloroacetamide herbicides in tile-fed drainage ditch water using solid-phase microextraction coupled with GC-MS[J]. Environmental Pollution, 2008, **152**(1): 239-244.
- [16] Battaglin W A, Furlong E T, Burkhardt M R, *et al.* Occurrence of sulfonylurea, sulfonamide, imidazolinone, and other herbicides in rivers, reservoirs and ground water in the Midwestern United States, 1998 [J]. Science of the Total Environment, 2000, **248**(2-3): 123-133.
- [17] Scribner E A, Battaglin W A, Goolsby D A, *et al.* Changes in herbicide concentrations in Midwestern streams in relation to changes in use, 1989- 1998 [J]. Science of the Total Environment, 2000, **248**(2-3): 255-263.
- [18] 郑和辉,叶常明. 乙草胺和丁草胺的水解及其动力学[J]. 环境化学, 2001, **20**(2): 168-171.
- [19] 花日茂,岳永德,樊德方. 乙草胺在水中的光化学降解[J]. 农药学报, 2003, **2**(1): 71-74.
- [20] 谢国红,高扬帆,程杰,等. 土壤吸附乙草胺的热力学研究[J]. 安徽农业科学, 2006, **34**(11): 2467-2468.
- [21] 郑和辉,叶常明. 乙草胺和丁草胺在土壤中的移动性[J]. 环境科学, 2001, **22**(5): 117-121.
- [22] Extension toxicology network; Acetochlor [EB/OL]. <http://pmep.cce.comell.edu/profiles/extoxnet/24d-captan/acetochlor-ext.html>.
- [23] USEPA. Appendix E: Risk quotient method and LOCs-risks of metolachlor use to federally listed endangered barton springs salamander[S]. 2007.

CONTENTS

Emission Factors and PM Chemical Composition Study of Biomass Burning in the Yangtze River Delta Region	TANG Xi-bin, HUANG Cheng, LOU Sheng-rong, <i>et al.</i> (1623)
Size Distributions and Source Apportionment of Soluble Ions in Aerosol in Nanjing	XUE Guo-qiang, ZHU Bin, WANG Hong-lei (1633)
Characteristics of Particulate Matters and Its Chemical Compositions During the Dust Episodes in Shanghai in Spring, 2011	LI Gui-ling, ZHOU Min, CHEN Chang-hong, <i>et al.</i> (1644)
Numerical Modeling Analysis of Secondary Organic Aerosol (SOA) Combined with the Ground-based Measurements in the Pearl River Delta Region	GUO Xiao-shuang, SITU Shu-ping, WANG Xue-mei, <i>et al.</i> (1654)
Observation of a Photochemical Event in Jiaying During Summer 2013	SHEN Li-juan, LI Li, LÜ Sheng, <i>et al.</i> (1662)
Spatial and Temporal Variations of Near Surface Atmospheric CO ₂ with Mobile Measurements in Fall and Spring in Xiamen, China	LI Yan-li, XING Zhen-yu, MU Chao, <i>et al.</i> (1671)
Isotope Compositions of Elemental Carbon in the Smoke and Ash from Crop Straw Combustion	LIU Gang, LI Jiu-hai, XU Hui, <i>et al.</i> (1680)
Development of a Chemical Ionization Time-of-Flight Mass Spectrometer for Continuous Measurements of Atmospheric Hydroxyl Radical	DOU Jian, HUA Lei, HOU Ke-yong, <i>et al.</i> (1688)
Residual Levels of Acetochlor in Source Water and Drinking Water of China's Major Cities	YU Zhi-yong, JIN Fen, LI Hong-yan, <i>et al.</i> (1694)
Vertical Distribution of Water Quality and Its Influence on Underwater Light Field in Lake Chaohu	MA Meng-xiao, ZHANG Yu-chao, QIAN Xin, <i>et al.</i> (1698)
Correlation Between Aquatic Plant Diversity and Water Environment in the Typical Sites of Hangzhou Section of the Beijing-Hangzhou Grand Canal	LU Yin, XU Xiao-lu, ZHANG De-yong, <i>et al.</i> (1708)
Nitrogen and Phosphate Pollution Characteristics and Eutrophication Evaluation for Typical Urban Landscape Waters in Hefei City	LI Ru-zhong, LIU Ke-feng, QIAN Jing, <i>et al.</i> (1718)
Distribution of Nitrogen and Phosphorus in the Sediments and Estimation of the Nutrients Fluxes in Longjinghu Lake, Chongqing City, During the Initial Impoundment Period	PAN Yan-an, LEI Pei, ZHANG Hong, <i>et al.</i> (1727)
Pollution Characteristics and Health Risk Assessment of Organochlorine Pesticides (OCPs) in the Water of Lake Qiandao and Its Major Input Rivers	TANG Fang-liang, ZHANG Ming, XU Jian-fen, <i>et al.</i> (1735)
Distribution of Potential Pathogenic Bacteria in the Jiulong River Watershed	HOU Li-yuan, HU An-yi, Ma Ying, <i>et al.</i> (1742)
Influence of the River-lake Relation Change on the Distribution of Heavy Metal and Ecological Risk Assessment in the Surface Sediment of Poyang Lake	LIU Wan-qing, NI Zhao-kui, WU Zhi-qiang, <i>et al.</i> (1750)
Spatiotemporal Variation Characteristics of Heavy Metals Pollution in the Water, Soil and Sediments Environment of the Lean River-Poyang Lake Wetland	JIAN Min-fei, LI Ling-yu, XU Peng-fei, <i>et al.</i> (1759)
Dissolved Organic Matter (DOM) Dynamics in Karst Aquifer Systems	YAO Xin, ZOU Sheng-zhang, XIA Ri-yuan, <i>et al.</i> (1766)
Sensitivity Analysis of AnnAGNPS Model's Hydrology and Water Quality Parameters Based on the Perturbation Analysis Method	XI Qing, LI Zhao-fu, LUO Chuan (1773)
Movement Characteristics of <i>Cyanobacteria</i> Under Stress of Water-Lifting Aeration	SUN Xiu-xiu, CONG Hai-bing, GAO Zheng-juan, <i>et al.</i> (1781)
Influence of Light Wavelength and Intensity on the Reduction of Divalent Mercury in Aquatic System	LI Xi-jia, ZHONG Zi-xuan, SUN Rong-guo, <i>et al.</i> (1788)
Dynamic Effects of Commonly Co-Existing Anions on the Removal of Selenite from Groundwater by Nanoscale Zero-Valent Iron	YANG Wen-jun, GUO Ying-qing, DU Er-deng (1793)
BiOBr Promoted the Photocatalytic Degradation of Beta-cypermethrin Under Visible Light	PENG Yi-zhu, ZHAO Xiao-rong, JIA Man-ke, <i>et al.</i> (1798)
Adsorption of Methylene Blue from Aqueous Solution onto Magnetic Fe ₃ O ₄ /Graphene Oxide Nanoparticles	CHANG Qing, JIANG Guo-dong, HU Meng-xuan, <i>et al.</i> (1804)
Selection of Electrochemical Anodic Materials for PFOA Degradation and Its Mechanism	ZHUO Qiong-fang, DENG Shu-bo, XU Zhen-cheng, <i>et al.</i> (1810)
Occurrence and Fate of Typical Antibiotics in a Wastewater Treatment Plant in Southwest China	GAN Xiu-mei, YAN Qing, GAO Xu, <i>et al.</i> (1817)
Effects and Mechanism on Removing Organics and Reduction of Membrane Fouling Using Granular Macro-Porous Anion Exchange Resin in Drinking Water Treatment	HE Huan, DONG Bing-zhi, XU Guang-hong, <i>et al.</i> (1824)
Research on Treatment of High Salt Wastewater by the Graphite and Activated Carbon Fiber Composite Electrodes	ZHOU Gui-zhong, WANG Zhao-feng, WANG Xuan, <i>et al.</i> (1832)
Preparation and Application of the Quinonyl Chloromethylation Polystyrene in Biological Treatment of Wastewater	ZHANG Hua-yu, XU Qing, NIU Chun-mei, <i>et al.</i> (1838)
Enhanced Electro-Catalytic Oxidation of Dye Wastewater with FePMo ₁₂ Adopted Catalyst	WANG Li, YUE Lin, GUO Jian-bo, <i>et al.</i> (1843)
Formation and Characterization of Aerobic Granules in a Pilot-scale Reactor for Real Wastewater Treatment	YANG Shu-fang, ZHANG Jian-jun, ZOU Gao-long, <i>et al.</i> (1850)
Research on Cultivation of Aerobic Granular Sludge and Its Characteristics in Sequencing Fed Batch Reactor	LONG Bei, YANG Chang-zhu, PU Wen-hong, <i>et al.</i> (1857)
Effect of Different Volume Loading of Aerobic/Anaerobic Zone on Nitrogen and Phosphorus Removal by Biofilm and Granular Sludge Coupling Process	YIN Hang, LIU Chang, GAO Hui, <i>et al.</i> (1866)
Adsorption of Cu ²⁺ by Xanthate-Functionalized Waste Sludge	CEN Yan, QUAN Xiang-chun, JIANG Xiao-man (1871)
Mechanisms of Copper Uptake by Submerged Plant <i>Hydrilla verticillata</i> (L. f.) Royle and <i>Myriophyllum spicatum</i> L.	XUE Pei-ying, LI Guo-xin, ZHAO Quan-li (1878)
Properties of Maize Stalk Biochar Produced Under Different Pyrolysis Temperatures and Its Sorption Capability to Naphthalene	HUANG Hua, WANG Ya-xiong, TANG Jing-chun, <i>et al.</i> (1884)
Beijing Common Green Tree Leaves' Accumulation Capacity for Heavy Metals	LI Shao-ming, KONG Ling-wei, LI Shao-wei, <i>et al.</i> (1891)
Assessment of Heavy Metal Contamination by Moss-bag Method and Road-dust Method for Taizhou Urban Area	CHEN Qin, FANG Yan-ming, YAN Yun, <i>et al.</i> (1901)
Effect of Grazing on the Temperature Sensitivity of Soil Respiration in Hulunber Meadow Steppe	WANG Xu, YAN Rui-rui, DENG Yu, <i>et al.</i> (1909)
Variation Characteristic in Soil Respiration of Apple Orchard and Its Biotic and Abiotic Influencing Factors	WANG Rui, GUO Sheng-li, LIU Qing-fang, <i>et al.</i> (1915)
Influencing Factors of Mercury Emission Flux from Forest Soil at Tieshanping, Chongqing	WANG Qiong, LUO Yao, DU Bao-yu, <i>et al.</i> (1922)
Characteristics of Arsenic Content in the Livestock Farms' Surrounding Environment in Shanghai Suburbs	XI Gong-fang, ZHOU Shou-biao, DING Hai-cheng, <i>et al.</i> (1928)
Input and Distribution of Rice Photosynthesized Carbon in the Tillering Stage Under Different Nitrogen Application Following Continuous ¹³ C Labeling	TAN Li-min, WU Hao, LI Hui, <i>et al.</i> (1933)
Simulation Study on the Effect of Salinity on the Adsorption Behavior of Mercury in Wastewater-Irrigated Area	ZHENG Shun-an, LI Xiao-hua, XU Zhi-yu (1939)
Leaching Behavior of Pb, Cd and Zn from Soil Stabilized by Lime Stabilized Sludge	LI Xiang, SONG Yun, LIU Yong-bing (1946)
Levels and Distribution of Short Chain Chlorinated Paraffins in Seafood from Dalian, China	YU Jun-chao, WANG Thanh, WANG Ya-wei, <i>et al.</i> (1955)
Application of Biotic Ligand Model for the Acute Toxicity of Copper to <i>Daphnia magna</i> in Water of Liaohe River and Taihu Lake	ZHOU Teng-yao, CAO ying, QIN Lu-mei, <i>et al.</i> (1962)
Phytotoxicity of Copper Oxide Nanoparticles to Metabolic Activity in the Roots of Rice	WANG Shu-ling, ZHANG Yu-xi, LIU Han-zhu, <i>et al.</i> (1968)
Enhancing Effect of Tween 80 on Degradation of Triphenyltin by <i>Bacillus thuringiensis</i>	HUANG Jie, YE Jin-shao, YIN Hua, <i>et al.</i> (1974)
Long-term Performance of Microbial Fuel Cell Using Manure as Substrate	JIAO Yan, ZHANG Guo-dong, ZHAO Qing-liang (1981)
Influence of Goethite on Anaerobic Fermentation of Organic Fraction of Municipal Solid Waste (OFMSW)	YANG Lu-lu, YUE Zheng-bo, CHEN Tian-hu, <i>et al.</i> (1988)
Pollutants Produced in Municipal Refuse Container During Transfer Process	WANG Xiao-yuan, LIU Yin-hua, WANG Fei, <i>et al.</i> (1994)
Selective Catalytic Oxidation of H ₂ S over Supported Fe Catalysts on CeO ₂ -Intercalated Laponite Clay	SUN Chao, ZHANG Xin, HAO Zheng-ping, <i>et al.</i> (2002)
Preparation by Different Methods and Characterization of Desulfurization Mixed Oxides Derived from Hydrotalcites	ZHU Chun-lei, WANG Hai-lin, SUN Chun-bao (2010)
Sampling Methods for PM _{2.5} from Stationary Sources: a Review	JIANG Jing-kun, DENG Jian-guo, LI Zhen, <i>et al.</i> (2018)
A Research Overview of Methanogens	LI Yu-shan, LI Yao-ming, OUYANG Zhi-yun (2025)

《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5月15日 35卷 第5期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 35 No. 5 May 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) 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