

流域尺度水环境污染风险评估

刘晓晖^{1,2}, 王永³, 董文平⁴, 国晓春², 毕斌^{1,5}, 王玉番¹, 王炜亮¹, 卢少勇²

1. 山东师范大学地理与环境学院, 济南 250014
2. 中国环境科学研究院, 国家环境保护洞庭湖科学观测研究站, 北京 100012
3. 山东省国土测绘院, 济南 250013
4. 山东省环科院环境工程有限公司, 济南 250013
5. 山西师范大学地理科学学院, 临汾 041000

摘要 针对流域水环境风险问题, 辨识了其影响因子及其风险源, 发现主要影响因子为自然环境、经济和社会因素, 污染源主要为面源和点源。根据流域特征, 从富营养化、有机物、重金属 3 个方面, 对流域风险等级评估及方法等进行了探讨, 认为目前中国流域水环境安全处于一般水平。对流域水环境污染风险的防治, 建议加强流域水环境污染的治理力度, 建立流域水环境风险防控系统, 以减少流域水环境污染的发生机率或降低其污染损害。

关键词 流域尺度; 水环境污染; 风险评估

近几十年来, 随着工业化进程不断加快, 发生了莱茵河污染事件(1986年)、松花江流域污染事件(2005年)、无锡水污染事件(2007年)、湖南重金属砷污染事件(2011年)等诸多重大水环境事件^[1]。全国环境统计公报显示: 中国突发环境事件发生次数居高不下, 每年数百起, 其中约一半为水环境事件。水环境事件易发多发造成了巨大的生命财产损失^[2], 其影响深远, 教训沉痛, 已引发公众关注。

流域是复杂的体系, 包含着众多元素, 孕育一方土地, 但研究表明中国流域水环境污染十分严重, 而目前对流域水环境的风险多从单一物质出发, 有片面性, 因此亟需制定流域水环境风险评估的科学体系^[3]。自 20 世纪 70 年代以来, 国际上便有学者从水环境污染事故的发生频率及其对人类的危害等方面关注流域水环境风险管理问题, 提出了环境保护重点应由环境突发事故管理转向生态和健康的风险管理, 由环境污染治理转移到污染物进入环境之前的环境风险预防管理^[4]。特别是, 2014、2015 年全国环境保护工作会议专门指出要加强环境风险管理, 并且在新制定的《水污染防治行动计划》(简称“水十条”)中明确指出建立水资源、水环境承载力监测评价体系, 实行承载力监测预警, 加强水环境风险管理。

本文针对流域水环境风险问题, 根据流域特征分析风险源及其影响因子, 探讨流域重点污染物氮磷、重金属、有机物对流域水环境的风险及其等级评估, 并提出针对性的建议。

1 流域水环境风险源及其影响因子分析

流域是水体污染物的受体, 污染风险较大。许多学者研究了湖泊流域水环境风险, 通过对太湖 40 个点的调查, 可知太湖各区域在富营养化程度和重金属污染分布上存在明显差异, 主成分分析法和富集因子法判断沉积物中主要污染物, 结果显示: Cr, Sr 的富集因子分别为 3.7 和 0.4, 表明 Cr 具有较高的环境风险^[5]。对南四湖的研究表明, 该湖区沉积物中总磷质量分数为 2471.02 mg/kg, 属于重污染; Cr, Zn 的富集系数分别达 8.3 和 9.6, 污染程度较重^[6]。

流域水环境的风险源主要有两方面: 点源和面源。其中点源风险主要由工业废水和生活污水的事故排放引起, 这些废水尤其是工业废水含污染物多, 成分复杂, 其变化规律难追溯^[7], 对流域水环境构成大风险; 面源污染极复杂, 包含污染物成分复杂, 可通过径流进入水体而污染水环境。近年来, 中国湖泊流域污染态势有加重趋势, 据对太湖、滇池等湖泊的调查^[8], 面源污染对水体污染的贡献率超过 70%, 随着点源污染得到一定的改善, 面源污染已成为流域水环境污染的主要来源。农业面源污染是面源污染的最主要部分, 据估算, 农业面源污染负荷超过污染总量的 50%, 对流域水环境污染的贡献较大, 其来源主要有种植、养殖、农村生活及垃圾处理系统的场地径流等^[9]。充分考虑多重影响因子对流域水环境的贡献, 包括人口、水资源总量、化肥施用量、畜禽养殖量、精养鱼塘面积、耕地面积及各污染源排污量等, 可更准确

收稿日期: 2015-12-28; 修回日期: 2016-03-09

基金项目: 山东省自然科学基金项目(ZR2012DM009); 科学技术部科技基础性工作专项(FY110900); 中央级公益性科研院所基本科研业务专项(2012-YSKY-14); 国家水体污染控制与治理重大专项(2013ZX07101-014, 2012ZX07105-002)

作者简介: 刘晓晖, 硕士研究生, 研究方向为水处理及水环境毒性风险评估, 电子信箱: 1243034429@qq.com; 王炜亮(通信作者), 副教授, 研究方向为水污染控制, 电子信箱: sunboyhood@163.com; 卢少勇(通信作者), 研究员, 研究方向为湖泊流域控源治河技术机理及其应用, 电子信箱: lushy2000@163.com

引用格式: 刘晓晖, 王永, 董文平, 等. 流域尺度水环境污染风险评估[J]. 科技导报, 2016, 34(7): 134-138; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2016.07.014

地评估农业面源污染造成的流域水环境污染风险^[9]。

另外,自然因素和经济、社会因素也是引发水环境污染的重要因子。自然因素无法改变,对水环境的风险有时可能巨大,如洪水期降水量突增,一方面使空气中的污染物随降水进入水体,另一方面也使土壤中污染物进入水体量增大,造成了水厂和污水处理厂超负荷运行等^[12]。此外还要充分考虑各指标所涉及的影响因素对经济发展与流域尺度水环境污染风险的影响。

2 流域水环境污染风险评估

对于污染物的风险评估,美国环保署(Environmental Protection Agency)的研究成果尤为突出,已建立了完善的评价体系(图1)。目前对于污染物的风险评估大多仅集中在某一单一区域或者河流湖泊,而区域的水环境污染问题与其所在的整个流域密切相关,因此对于流域水环境污染的风险评价体系尚待完善。

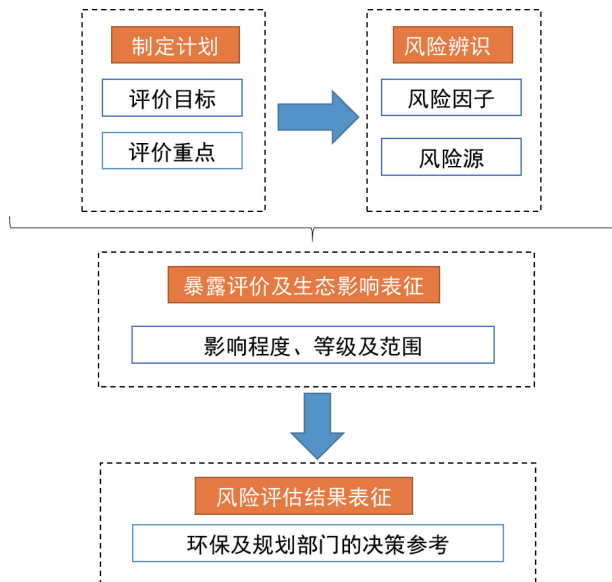


图1 EPA风险评估流程

Fig. 1 The process of EPA risk assessment

流域水环境质量评估是流域水环境污染综合防治的基础,也是改善流域水环境质量亟需解决的问题。流域水环境中的污染物以氮磷、重金属和有机物为代表,近年来,除了点源污染外,面源污染对流域水体的污染加剧,造成流域水环境具较高污染风险,这也是一些流域虽经治理但水质一直未明显改善的原因之一。

2.1 富营养化风险评估

近年来湖泊水体富营养化现象经常发生,并有逐渐恶化的趋势,许多研究者担心流域水体富营养化风险,因此运用各种风险评估方法(营养状态指数法、灰色聚类法、模糊综合评价法、模糊物元识别法等)分析流域水环境质量指标,评估流域水体富营养化程度^[13-15]。

综合运用营养状态指数、灰色聚类和模糊综合评价等方法进行综合营养状态指数(TLI)计算,可定量评估湖泊、河流的富营养化程度。据TLI的不同取值,可将营养化划分为不同程度:TLI < 30时,贫营养;30 ≤ TLI ≤ 50时,中营养;TLI > 50时,富营养;50 < TLI < 60时,轻度富营养;60 ≤ TLI ≤ 70时,中度富营养;TLI > 70时,重度富营养。在同一营养状态下,TLI值越高,水体营养程度越重^[16]。另有研究者就相同分析方法对太湖中COD浓度进行分析,间接反映湖区营养化程度,Song等^[17]通过分析发现,在藻华暴发期水体中氮磷有机污染物浓度均有明显增加,造成湖区富营养化风险加剧。此外,Zhao等^[18]采用封闭体系和磷素平衡法对农田排水磷负荷量进行研究,认为在土壤-作物系统中,氮的作物利用率仅20%~35%,磷利用率更低,只有5%~15%,大部分被土壤吸附,随降水径流和渗漏排入水环境,就地表水(湖泊等)硝态氮污染而言,氮肥占了50%以上。有研究表明,中国太湖流域,农业面源氮对地表水的污染负荷量高达2.55×10⁴ t/a,占氮素化肥施用量的16.8%。

2.2 有机物风险评估

近年来,以多环芳烃(PAHs)、农药、抗生素、环境激素、全氟化合物等为代表的有毒有机污染物引发的环境风险问题日益突出,国内外学者对有机污染物的毒性及其造成的环境污染风险展开了广泛的研究。1989年,美国环保署(USEPA)提议用健康风险模型评估滴滴涕(DDTs)和六六六(HCHS)对人类健康造成的风险,后来,研究者又结合此模型,用安全系数或物种敏感性分布法评估巢湖水中DDTs和HCHS产生的潜在生态危害和健康风险^[19]。瑞典曾采用Stockholm模型对药物残留在水环境中的危害进行评估。评估结果表明,在160种药物中,几乎所有的药物都是不可生物降解的。约1/3药物具有潜在生物富集性,约2/3药物具有高或非常高的生物毒性^[20]。

许多学者根据HR-ERL(污染物含量与生物效应低值的比值)和HR-ERM(污染物含量与生物效应中值的比值)计算方法,结合不同生物对水环境中有毒有机污染物的响应,对PHAs等引发环境风险的可能性进行了评判^[21]。其次,基于有毒有机污染物与生物的定量构效关系,结合主成分分析法和因子分析法,可评估研究污染物的毒性。此外,通过环境预测浓度(PEC)与无效应浓度预测值(PNEC)的比值可评估水环境所能承受的有毒有机污染风险。

2.3 重金属风险评估

重金属极易富集在河流湖泊沉积物或者底泥中,引起流域水环境污染风险,卢少勇等^[22]对太湖流域环太湖河流沉积物重金属的污染分析,得出16条环太湖河流河口的沉积物都受到了重金属不同程度的污染。由此,国内外学者主要用脆弱性指数、重金属富集系数、潜在生态风险指数及地积累指数等对流域水环境重金属风险展开系统研究^[23]。

重金属有剧毒,其大量储存于水体会对水生生物和人类健康产生潜在重大威胁。近年来,研究者对重金属在水环境

中的潜在风险及毒性大小进行了研究,研究方法主要有潜在生态风险指数法、地积累指数法、污染负荷指数法等。为确定不同风险源对流域水环境重金属污染程度和贡献率,林春野等^[24]利用地积累指数法和重金属富集系数法分别计算地积累指数和富集因子,进而确定重金属在水环境中的污染程度等级和富集程度;焦伟等^[25]用 Hakanson 潜在生态危害指数法评价滇池沉积物中重金属的生态危害,由潜在生态风险评价结果可知,滇池内湖滨带表层沉积物已具极强生态危害,各重金属对滇池内湖滨带生态风险影响程度由高到低依次为: Cd>Cu>Pb>Ni>Zn≈Cr;王婕等^[26]基于 Tomlinson 提出的污染负荷指数(PLI)法对重金属进行污染评价,结果表明淮河(安徽段)整体受到的污染较轻微,各重金属污染程度排序为 Cr>Co>Mn=Cu>Pb>Zn>V。

水环境污染会随着地表地下水的流动而迁移,且各种污染物的复合风险潜在,流域水环境风险涉及因素众多,风险发生发展过程复杂,目前研究工作主要集中在对环境中的污染物浓度进行定性定量评估,未来的研究应对风险来源、风险发生发展过程、风险受体敏感度等风险全要素进行综合分析评估,以提出相应的风险防控策略,有效控制水环境风险。

3 流域水环境风险调控策略

研究表明,中国河流、湖泊的生态安全问题凸显。目前,中国湖泊流域水体富营养化、有毒有害化学品的污染呈加重趋势。根据 2008 年洞庭湖流域生态安全调查与评估结果,20 世纪 80 年代末到 90 年代末洞庭湖流域生态处于“安全”水平,2004 年处于“一般”与“安全”临界值,2005—2011 年已处于“一般安全”水平。洞庭湖流域生态安全水平总体趋于恶化与洞庭湖周围风险源的增多密切相关。因此,研究者需对风险来源、风险受体敏感度等进行综合分析评估,为相应的风险防控策略的提出及有效控制水环境风险提供基础。

目前,亟需对风险源、风险发生发展过程、环境受体等进行深入的分析,理清不同时空条件下水环境风险的交互影响规律,针对不同流域,科学构建环境风险评估指标体系,建立适合流域特征的水环境风险评估方法,进行风险辨识及风险薄弱环节定位,继而结合流域特征和不同时空条件下流域水环境风险发生发展规律,构建基于流域水环境风险物质流和信息流交互作用,以事故预防、流域水环境风险物质阻断与消减技术为核心的流域水环境风险调控技术方法,建立各部门联防联控机制体制,制定有效的风险管理和调控策略,以降低流域水环境风险。

首先,从源头抓起。环境安全事故是导致重大突发性水环境风险事故的根本原因。随工业化推进,化工企业突发性环境污染事故和危险化学品运输事故造成流域水环境风险日趋严重。为防止重大突发性水环境风险事故发生,须加强环境安全管理,减少工业生产和危险品运输过程中存在的潜在危害环节。基于对化工企业突发性环境污染事故风险特

征分析,可用主动预防与被动防护相结合的方式,即通过建立企业和工业园区水环境风险预警体系和危险化学品运输事故环境风险源控制系统,采取防控企业园区等风险源头,合理规划产业布局、加强风险监测监察监管等措施,调控化工企业突发性污染事故对环境造成的风险危害^[27]。

第二,应明确目前流域水环境污染的污染程度,为防控体系的建立提供依据。因此需完善流域环境危害评估体系,建立健全污染物的风险评估方法。如可能,有关部门可以成立流域有毒有机污染物环境风险评估小组,对于流域污染物的污染水平进行等级量化,为预防流域水环境污染事件的发生制定相应的措施。

第三,为更好地避免流域水环境风险事故的发生以及事故发生后将损失降到最小,必须建立环境风险防控系统,特别是建立环境风险源风险防控系统。同时,提高事故防范工程设施水平、提高应急监测能力和水平及提高专业化应急侦察队伍的能力和水平也是加强水环境风险调控的有效措施。科学调控流域水环境风险,需基于流域水环境风险分析,建立涵盖事前预防、事中响应和事后应急 3 方面的流域水环境风险防控体系。风险预防方面,需针对企业、工业园区等进行风险排查辨识、风险评估,并加强风险监管和警示宣传教育;风险预警方面,需构建基于物质流和信息流分析,反应快捷灵敏准确的监测预警预测预报体系;事故应急方面,需建立应急反应和处置力量,包括应急物资、应急专家库、应急队伍建设和能力训练、应急演练和应急预案等,建立健全应急处理处置体系。

第四,在以上几条的基础上应加强流域水环境的污染治理,改善生态环境。制定近期及远期目标。近期应完善城镇污染治理基础设施建设,及截污导流-污水治理-生态修复的综合整治方案;建立中心城市圈污染源监控和水质监测网络,全面落实污染物达标排放和总量控制政策;加快产业政策的改革创新,制定人口发展规划,调整产业结构;建立统一的湿地自然保护区,加强管理部门的监管能力。中期:完成主要入湖河流污染治理项目规划,搭建入湖河流断面实时监测管理信息平台,加强对入湖水系的控制;全面执行“平垸行洪、退田还湖”政策,完善防洪抗旱应急机制;全面控制农业面源污染;实施农业人口的集中迁移和城镇化管理;逐步实施坡耕地综合治理与退耕还林策略。远期:在中心城市污染控制区内搭建污染控制信息平台,实现从源头至末端治理的全程追踪管理,在平原生态保护区内,建立湖区“休养生息”梯级时间表,实现人水和谐的现代化生态管理方式。完成丘陵岗生态保育区内水源涵养林、生态保育区建设规划,实现人地和谐发展,做好流域水环境的污染防控及治理。

4 展望

鉴于近年中国流域水污染事故时有发生,水环境风险预防、预警、应急处置等受到环保、科研等相关部门的重视。以下几个方面依然是以后的研究难点和热点:

1) 在水污染事故造成的污染损害上升和公众日益关注的背景下,环境风险源的辨识、风险程度分析、风险发生可能性评估及风险调控策略等方面的研究还较为薄弱,目前仍无法精确回答公众和环保管理工作人员“流域水环境风险源有哪些,它们的风险有多大,如何科学防控”等问题,使流域水环境风险防控工作无据可依、无序可循,管理成效必然不高。

2) 水环境风险涉及风险源、风险受体、影响因素等众多因素,突发和累积风险潜在,水环境风险评估和调控研究尚待深入。

3) 防控水环境风险的首要前提是准确有效地辨识风险源,流域尺度水环境风险发生环节复杂,且有的风险源是潜在的。

4) 因风险源原料、产品和工艺改变等引起的风险源种类数量动态变化增加了风险源辨识难度。

5) 流域中的居民是流域水环境变化的直接关联者。因此,应开展流域内水环境污染对人体造成的健康风险评价工作,建立完善的评价体系及应急预案。

参考文献 (References)

- [1] Chase S K. Here must be something in the water: An exploration of the rhine and mississippi rivers' governing differences and an argument for change[J]. *Wisconsin International Law Journal*, 2012, 29(3): 609-641.
- [2] Bhuiyan A B, Mokhtar M B, Toriman M E, et al. The environmental risk and water pollution: A review from the river basins around the world[J]. *American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture*, 2013, 7(2): 126-136.
- [3] Zhang Y, She D, Xia J, et al. Causal analysis on the specified paroxysmal water pollution incidents in the Huai river basin, China[J]. *Environmental Engineering and Management Journal*, 2014, 14(1): 139-151.
- [4] 王雪梅, 刘静玲, 马牧源, 等. 流域水生态风险评价及管理对策[J]. *环境科学学报*, 2010, 30(2): 237-245.
Wang Xuemei, Liu Jingling, Ma Muyuan, et al. Aquatic ecological risk assessment and management strategies in a watershed: An overview[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2010, 30(2): 237-245.
- [5] 孟伟. 中国流域水环境污染综合防治战略[J]. *中国环境科学*, 2007, 27(5): 712-716.
Meng Wei. The strategy of comprehensive pollution prevention and cure of water environment in chinese watershed[J]. *China Environmental Science*, 2007, 27(5): 712-716.
- [6] Bu H M, Meng W, Zhang Y. Nitrogen pollution and source identification in the Haicheng River basin in Northeast China[J]. *Science of the Total Environment*, 2011, 409: 3394-3402.
- [7] 黄亚丽, 张丽, 朱昌雄. 山东省南四湖流域农业面源污染状况分析[J]. *环境科学研究*, 2012, 25(11): 1243-1249.
Huang Yali, Zhang Li, Zhu Changxiang. Survey and analysis of agricultural non-point source pollution in Nansi Lake basin, Shandong Province[J]. *Research of Environmental Sciences*, 2012, 25(11): 1243-1249.
- [8] 柴世伟, 裴晓梅, 张亚雷, 等. 农业面源污染及其控制技术研究[J]. *水土保持学报*, 2006, 20(6): 192-195.
Chai Shiwei, Pei Xiaomei, Zhang Yalei, et al. Research on agricultural diffuse pollution and controlling technology[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2006, 20(6): 192-195.
- [9] Akkoyunlu A, Akiner M E. Pollution evaluation in streams using water quality indices: A case study from Turkey's Sapanca Lake Basin[J]. *Ecological Indicators*, 2012, 18: 501-511.
- [10] Yuan H Z, Shen J, Liu E F, et al. Assessment of nutrients and heavy metals enrichment in surface sediments from Taihu Lake, a eutrophic shallow lake in China[J]. *Environ Geochem Health*, 2011, 33(1): 67-81.
- [11] Ma Z W, Chen K, Yuan Z W, et al. Ecological risk assessment of heavy metals in surface sediments of six major chinese freshwater lakes[J]. *Journal of Environmental Quality*, 2013, 42: 341-350.
- [12] 昆兹威克斯 Z W, 梁静静, 柯学莎. 多因素影响下的气候变化与河流水质[J]. *水利水电快报*, 2011, 32(11): 1-5.
Kunziweikesi Z W, Liang Jingjing, Ke Xuesha. Climate change and river water quality under the influence of multi factors[J]. *Express Water Resources & Hydropower Information*, 2011, 32(11): 1-5.
- [13] 秦迪岚, 韦安磊, 卢少勇, 等. 基于环境基尼系数的洞庭湖区水污染总量分配[J]. *环境科学研究*, 2013, 26(1): 8-15.
Qin Dilan, Wei Anlei, Lu Shaoyong, et al. Total water pollutant load allocation in Dongting Lake area based on the environmental Gini coefficient method[J]. *Research of Environmental Sciences*, 2013, 26(1): 8-15.
- [14] Jiang Y C, Nan Z R, Yang S C. Risk assessment of water quality using Monte Carlo simulation and artificial neural network method[J]. *Journal of Environmental Management*, 2013, 122: 130-136.
- [15] 陈小华, 李小平, 王菲菲, 等. 苏南地区湖泊群的富营养化状态比较及指标阈值判定分析[J]. *生态学报*, 2014, 34(2): 390-399.
Chen Xiaohua, Li Xiaoping, Wang Feifei, et al. Research on the difference in eutrophication state and indicator threshold value determination among lakes in the Southern Jiangsu Province[J]. *China Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34(2): 390-399.
- [16] 王焕松, 雷坤, 李子成, 等. 辽东湾海域水体富营养化的模糊综合评价[J]. *环境科学研究*, 2010, 23(4): 413-419.
Wang Huansong, Lei Kun, Li Zicheng, et al. Fuzzy comprehensive evaluation of water eutrophication in Liaodong Bay[J]. *Research of Environmental Sciences*, 2010, 23(4): 413-419.
- [17] Song L R, Chen W, Peng L, et al. Distribution and bioaccumulation of microcystins in water columns: A systematic investigation into the environmental fate and the risks associated with microcystins in Meiliang Bay, Lake Taihu[J]. *Water Research*, 2007, 41(13): 2853-2864.
- [18] Zhao H X, You B S, Duan X J, et al. Industrial and agricultural effects on water environment and its optimization in heavily polluted area in Taihu Lake basin, China[J]. *Chinese Geographical Science*, 2013, 23(2): 203-215.
- [19] He W, Qin N, He Q S, et al. Characterization, ecological and health risks of DDTs and HCHs in water from a large shallow Chinese lake [J]. *Ecological Informatics*, 2012, 12: 77-84.
- [20] 吕妍, 袁涛, 王文华. 个人护理用品生态风险评价研究进展[J]. *环境与健康杂志*, 2007, 24(8): 650-653.
Lü Yan, Yuan Tao, Wang Wenhua. A critical review of ecological risk assessment on personal care products[J]. *Journal of Environmental Health*, 2007, 24(8): 650-653.
- [21] 吴艳阳, 吴群河, 罗昊, 等. 沉积物中多环芳烃的生态风险评价法研究[J]. *环境科学学报*, 2013, 33(2): 544-556.
Wu Yanyang, Wu Qunhe, Luo hao, et al. Ecological risk assessment for polycyclic aromatic hydrocarbons in river sediments[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2013, 33(2): 544-556.

- [22] 卢少勇, 焦伟, 金相灿, 等. 环太湖河流沉积物重金属污染及其稳定度分析[J]. 环境科学, 2010, 31(10): 2311-2314.
Lu Shaoyong, Jiao Wei, Jin Xiangcan, et al. Heavy metals pollution and its stability assessment of sediments in flowing rivers around lake Taihu[J]. Environmental Science, 2010, 31(10): 2311-2314.
- [23] Zheng L G, Liu G J, Kang Y, et al. Some potential hazardous trace elements contamination and their ecological risk in sediments of western Chaohu Lake, China[J]. Environ Monit Assess, 2010, 166(1/4): 379-386.
- [24] 林春野, 周豫湘, 呼丽娟, 等. 松花江水体沉积物汞污染的生态风险[J]. 环境科学学报, 2007, 27(3): 466-473.
Lin Chunye, Zhou Yuxiang, Hu Lijuan, et al. Ecological risk assessment of mercury pollution in the sediment of Songhua river[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2007, 27(3): 466-473.
- [25] 焦伟, 卢少勇, 李光德, 等. 滇池内湖滨带重金属污染及其生态风险评价[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(4): 740-745.
Jiao Wei, Lu Shaoyong, Li Guangde, et al. Heavy metals pollution and potential ecological risk assessment of inner lakeside belt of Lake Dianchi[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2010, 29(4): 740-745.
- [26] 王婕, 刘桂建, 方婷, 等. 基于污染负荷指数法评价淮河(安徽段)底泥中重金属污染研究[J]. 中国科学技术大学学报, 2013, 43(2): 97-103.
Wang Jie, Liu Guijian, Fang Ting, et al. Assessment of pollution characteristics of heavy metals in the sediments of Huaihe River (Anhui Section) by pollution load index[J]. Journal of University of Science and Technology of China, 2013, 43(2): 97-103.
- [27] Liu J L, Chen Q Y, Li Y L. Ecological risk assessment of water environment for Luanhe River Basin based on relative risk model[J]. Ecotoxicology, 2010, 19(8): 1400-1415.

Risk assessment of water environment on basin scale

LIU Xiaohui^{1,2}, WANG Yong³, DONG Wenping⁴, GUO Xiaochun², BI Bin^{1,5}, WANG Yufan¹, WANG Weiliang¹, LU Shaoyong²

1. Institute of Geography and Environment, Shandong Normal University, Jinan 250014, China
2. State Environmental Protection Scientific Observation and Research Station for Lake Dongtinghu (SEPSORSLD), Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China
3. Shandong Provincial Institute of Land Surveying and Mapping, Jinan 250013, China
4. Shandong Academy of Environmental Science and Environmental Engineering Co., Ltd., Jinan 250013, China
5. College of Geography Sciences, Shanxi Normal University, Linfen 041000, China

Abstract In view of the water environment pollution on a basin scale, the risk sources and the influential factors are identified. It is found that the main factors include the natural environment, the economy and the society, and the main pollution sources are those of nonpoint and point. According to the watershed features, the classification of the risk degrees, and the methods of risk assessment are discussed for the basin water environment from three aspects: The eutrophication, the organic matter and the heavy metals. Basin water environmental risk control strategies are proposed to reduce the pollution risk of the river basin water environment or reduce the pollution damage. It is pointed out that the water pollution control in a basin scale should be strengthened. In addition, a prevention and control system for the basin water environment risk needs to be established.

Keywords basin scale; water environment pollution; risk assessment

(责任编辑 王媛媛)