

DOI:10.7524/AJE.1673-5897.20180126001

任宗明, 彭晓静, 樊玉琪, 等. 1985年以来我国重大水体突发污染事件及在线生物监测的必要性分析[J]. 生态毒理学报, 2019, 14(2): 21-28

Ren Z M, Peng X J, Fan Y Q, et al. A review on the water pollution incidents from 1985 and the application analysis of the online biomonitoring technologies for water pollution [J]. Asian Journal of Ecotoxicology, 2019, 14(2): 21-28 (in Chinese)

1985年以来我国重大水体突发污染事件及在线生物监测的必要性分析

任宗明¹, 彭晓静^{2,#}, 樊玉琪¹, 贾瑞宝^{3,*}

1. 山东师范大学环境与生态研究院, 济南 250014

2. 山东省固体废物和危险化学品污染防治中心, 济南 250117

3. 山东省城市供排水水质监测中心, 济南 250021

收稿日期: 2018-01-26 录用日期: 2018-03-15

摘要: 通过查阅和检索公开报道的期刊、报纸和网络, 统计分析我国 1985 年以来水体突发污染事件。1985—2015 年间, 我国水体突发污染事件年均发生数量总体变化呈现先动态增长后逐渐下降的趋势, 其中 2006 年为水体突发性污染事件发生频次的转折点。导致水体突发性污染的主要原因包括企业违规排放、企业事故性泄漏、交通事故、自然因素和人为投毒等, 污染方式多样。水体突发性污染的污染物种类包括化学品、污水(工业废水和生活污水)、油类、农药、重金属、生物污染物和其他不明污染物。鉴于水体突发性污染事件污染方式的多样性和污染物的复杂性, 采用在线生物监测技术可实现对水体突发性污染事件在线监测与分析预警, 已成为当前监测和评价水体突发污染事件有效手段。

关键词: 水体突发污染事件; 在线生物监测; 污染物; 污染方式

文章编号: 1673-5897(2019)2-021-08 中图分类号: X171.5 文献标识码: A

A Review on the Water Pollution Incidents from 1985 and the Application Analysis of the Online Biomonitoring Technologies for Water Pollution

Ren Zongming¹, Peng Xiaojing^{2,#}, Fan Yuqi¹, Jia Ruibao^{3,*}

1. Institute of Environment and Ecology, Shandong Normal University, Ji'nan 250014, China

2. The Control Center of Solid Waste and Hazardous Chemicals of Shandong Province, Ji'nan 250117, China

3. Shandong Province City Water and Wastewater Quality Monitoring Center, Ji'nan 250021, China

Received 26 January 2018 accepted 15 March 2018

Abstract: The water pollution incidents from 1985 in China were statistically analyzed according to the public reports of journals, newspapers and networks. The average annual amounts of the water pollution incidents showed the trend of gradual decrease after dynamic growth from 1985 to 2015, and the year 2006 was the turning point. The main reasons for the water pollution incidents included illegal discharge, enterprise accident leakage, traffic ac-

基金项目: 国家自然科学基金(21107135); 山东省泰山产业领军人才计划(tscy20150707); 济南市海外高层次人才计划(2013041); 济南市重大民生工程(201704139, 201807007); 山东省自然科学基金(ZR2014CP019); 国家水体污染控制与治理科技重大专项“南水北调山东受水区饮用水安全保障技术与综合示范”课题(2012ZX07404-003); 直饮水科技惠民示范工程(2013GS370202)

作者简介: 任宗明(1978-), 男, 博士, 教授, 研究方向为水生态毒理学, E-mail: zmren@sdu.edu.cn

* 通讯作者 (Corresponding author), E-mail: jiaruibao68@126.com

共同通讯作者 (Co-corresponding author), E-mail: xiaojing-7777@163.com

cident, natural factors and human factors, etc. The pollutants that caused the water pollution incidents included chemicals, sewage (industrial wastewater and domestic sewage), oil, pesticides, heavy metals, biological pollutants and other unknown contaminants. Therefore, on-line biomonitoring technology has become an effective method to monitor and evaluate water pollution incidents due to the diversity of pollution patterns and the complexity of pollutants.

Keywords: water pollution incidents; online biomonitoring; pollutants; diversity of pollution patterns

近年来,随着科技进步和现代化网络与通信技术进步,包括传统新闻媒体和网络传播等新媒体传播途径的发展,社会对的环境污染的曝光频率和范围越来越高,突发安全与环境事件研究也受到人们广泛重视,在关于安全事故的数据统计方面开展了很多研究。不同于一般的环境污染,水体突发性污染事件具有发生突然、扩散迅速、危害严重及污染物不明等特点^[1],能在瞬时或短时间内大量排放污染物,对水环境造成严重污染和破坏,易于造成巨大的经济损失和社会恐慌^[2]。

1987年1月,山西省长治市长子县化肥厂违章设备维修,17 m³母液进入南漳河,近2万人出现不同程度的中毒症状^[3]。1994年6月,湖南省双峰县交通事故导致4.925 t苯乙腈原液泄漏,650多人饮用受污染的水,120多人不同程度地中毒^[3]。2005年11月,中石化吉林双苯厂发生爆炸,松花江流域发生重大水污染,下游的哈尔滨市400万市民断水4 d,沿江数十个市(县)及下游的俄罗斯遭受影响^[3-4];2011年3月,江苏省江阴市长江流域货船装卸货物,导致苯乙烯泄漏,长江水体遭受严重污染^[5]。2014年4月,武汉市汉江水质遭受污染,水中氨氮含量严重超标,造成严重的社会影响,并导致武汉30万居民的日常用水受到影响^[5]。据环境保护部统计,类似的环境污染事件近几年每年都会发生上千起,给公众健康带来了严重损害,威胁着社会财产安全和生态环境质量。因此,结合水体突发性污染事件的不确定性、流域性、极强破坏性和危害性等特点,为保障人民生命和国家财产安全,开展针对水体突发性污染事件的调查研究,并进行安全预警及应急管理,已成为维护水环境安全的当务之急^[6]。

结合关于水体突发性污染事件的统计分析^[2-18],本文对1985年以来国内突发性水污染事件进行梳理,初步揭示水体突发性污染事件的特征和规律,为实现基于生物生理生态变化的水体污染在线生物监测提供支持,并希望为水污染防治、水环境规划保护、以及针对水体突发性污染事件应急管理提供科

学依据。

1 水体突发性污染事件分析对象与方法 (Objects and methods of water pollution incidents)

本文统计分析的对象为短时间内大量排放污染物,对水环造成严重污染和破坏,并具有发生突然、扩散迅速、危害严重及污染物不明等特点的水体突发性污染事件。范围主要是我国已经明确统计并进行特征分析的水体突发性污染事件,包括:路明和韩小铮^[7]分析的667起环境污染事件中包含的1985—2010年水体突发性污染事件,张勇等^[3]分析的1985—2005年我国城市水源地突发污染事件,邓水平^[8]分析的1991—2010年我国环境污染与破坏事故中包含的水体突发性污染事件,丁镭等^[9]分析的1995—2012年我国突发性环境污染事件中包含的水体突发性污染事件,张丽峰^[10]分析的1995—2011年我国河流水体重污染事件中包含的水体突发性污染事件,王强等^[11]分析的1996—2006年我国饮用水污染突发公共卫生事件中包含的水体突发性污染事件,董文福和傅德黔^[12]分析的1998—2006年我国环境污染事件中包含的水体突发性污染事件,艾恒雨和刘同威^[13]分析的2000—2011年我国重大水体突发性污染事件,张媛等^[4]分析的2000—2012年突发性环境污染事件中包含的水体突发性污染事件,李晓红^[14]分析的2001—2008年我国村镇突发性水污染事件,邓建明^[15]分析的2001—2010年广西突发性水污染事件,韩晓刚和黄廷林^[6]分析的2003—2008年我国水体突发性污染事件,陈飞等^[16]分析的2006—2012年我国城市水源地突发性污染事件,戚平等^[2]分析的2006—2013年我国水体突发性污染事件,王东宇和张勇^[17]分析的2006年我国城市饮用水源突发污染事件,郭向楠和张勇^[18]分析的2007—2008年我国城乡饮用水源突发性污染事件,以及吉立等^[5]分析的2011—2015年我国水污染事件中包含的水体突发性污染事件。

在具体分析上述不同时间阶段的水体突发性污染事件中,重叠年限所出现的相同水体突发性污染

事件不进行单独处理,而是根据文献报道进行统计分析,以保证相关文献结论的系统性和整体性。在此基础上,本文主要分析上述文献中关于水体突发性污染事件的年度趋势、污染方式和污染物种类等,并结合相关水体突发性污染事件的应急响应和应急管理体系构建分析,探讨水体突发性污染的在线生物监测的必要性,以满足当前对水体突发性污染事件实现监测与管理的现实需要。

2 水体突发性污染事件年度趋势和特征分析 (Annual trend and feature analysis of water pollution incidents)

在20世纪80年代水体突发污染事件的发生次数出现了明显的上升趋势^[7],这与我国改革开放后经济发展速度迅速增加、工业多样化的发展趋势是一致的。1998—2006年发生的环境污染和破坏事故中,水污染事件为7 977起,年均近900起^[12],1995—2012年水体突发性污染事件发生总次数为11 640次,年均达到647次,占总数的50.60%,而在2006年后占比逐渐降低为30%左右^[9]。其中,根据张丽峰^[10]分析的1995—2009年国家河流水体重污染事件中,水体突发性污染事件次数依次为1 031、677、986、788、888、1 138、1 096、1 097、1 042、753、693、482、178、196和116次。邓水平^[8]分析的1991—2010年我国环境污染与破坏事故中包含的水体突发性污染事件年度变化与上述规律类似。

与流域环境水体突发性污染事件年度发生次数类似^[10],1985—2005年我国城市水源地突发污染事件102起,呈现逐年上升趋势。2003年后迅速增多,2001—2005年发生的污染事件共49起,占总数的48.0%^[3]。全国饮用水突发性污染事件在1996—2006年间也呈现明显的逐年递增的规律。其中,1996—2003年年均饮用水污染突发案例约为17起(11~25起),2004—2006年年均饮用水污染突发案例约为45起(41~52起)^[11]。仅2006年我国城市水源突发污染事件75起^[17],较2001—2005年突发污染事件(年均20起)比较,呈现数量增多、危害增大的趋势。

2006年以前的结果与国家环保总局2006年5月通报的“全国各类事故造成的突发环境污染事件数量急剧上升”相一致^[19],主要原因是在水体突发污染事件数量较多、形势严峻的情况下,2005年11月松花江硝基苯污染导致我国各类突发污染事件受

到前所未有的关注^[3-4]。在2006—2013年突发污染事件不完全统计分析中^[2,16],水源地突发污染事件年均9起。总体分析,1995—2013年间,水体突发性污染事件的总体变化呈现先动态增长后逐渐下降的趋势,其中2006年为水体突发性污染事件发生频次的转折点^[10],可能与2006年1月国务院出台《国家突发环境事件应急预案》有关^[20]。该预案对建立健全突发环境事件应急机制,提高政府应急能力起到重要指导作用。

2011—2015年水体突发污染事件达到373起,年均70起左右^[5],较21世纪初明显增加。由此可见,我国水环境风险较大,水体突发性污染事件所导致的潜在健康危害值得关注。充分说明突发性水污染事件已成为我国主要的突发性环境污染事件,对于突发性水污染事件的应急监测、应急处理等方面的研究应当引起各方面的高度重视^[6]。

3 水体突发性污染事件污染方式分类和特征分析 (Classification and characteristic analysis of pollution patterns of water pollution incidents)

根据对水体突发污染事件污染方式的统计分析可知,导致水体突发性污染的主要原因包括企业违规排放、企业事故性泄漏、交通事故、自然因素和人为投毒等^[2-4]。结合文献报道统计的导致水体突发性污染事件的风险源所占比例见表1。

企业违规排放,主要是企业违规主动超排、偷排、直排不达标生产废水,导致水环境污染。企业违规排放的主要原因是为节省生产成本,在明知生产废水污染水环境的情况下仍违规排放,或者为降低成本偷偷把废液和废渣直接外包处理,导致水体突发性污染事件^[10]。由表1统计结果可知,所有导致水体突发性污染事件的原因中,企业违规排放平均占比达37%,是主要风险源。

企业事故,属非企业主动性风险源。产生企业事故由企业自身原因和/或其他因素综合作用导致。其中包括污水累积后事故及泄露、安全生产事故、生产污染及其他事故等^[17-18]。譬如,降雨引起上游污水量增加,导致下游污水处理厂的溢流排水^[21],或因企业生产污水未及时处理,因安全事故导致的污水泄露^[22],或化工企业生产过程中发生爆炸,导致化工产品事故性泄漏等^[23]。表1统计数据表明,企业事故性泄漏平均占比达到30.3%,也是导致水体突发性污染事件的重要原因。

交通事件,主要包括河道交通事故和陆上交通

表1 不同文献报道中不同污染方式导致的水体突发性污染事件所占统计事件的比例

Table 1 The ratio of different pollution ways in the statistical analysis of the water pollution incidents according to previous reports

时间段(年)	违规排放	企业事故	交通事故	自然因素	人为投毒	未知或其他	文献
Time period (year)	Irregular emissions	Corporate accident	Traffic accident	Natural factors	Artificial poisoning	Unknown or other	Reference
1985—2005	23.5%	26.2%	37.7%	/	5.8%	6.8%	[3]
1985—2010*	>20.0%	49.0%	15.7%	0.1%	/	<8.1%	[7]
2000—2011	51.0%	18.0%	1.0%	2.0%	/	28.0%	[13]
2000—2012	31.5%	34.0%	26.0%	5.0%	1.0%	2.5%	[4]
2001—2008	36.0%	33.0%	14.0%	/	/	11.0%	[14]
2001—2010	46.9%	25.0%	15.6%	9.4%	/	/	[15]
2003—2008*	50.0%	18.0%	15.0%	12.0%	5.0%	/	[6]
2006	26.7%	40.0%	24.0%	/	2.7%	4%	[17]
2006—2012	36.5%	20.6%	7.9%	/	1.6%	32.3%	[16]
2006—2013	53.0%	23.0%	3.0%	12.0%	9.0%	/	[2]
2007—2008	27.8%	36.4%	19.3%	0.5%	/	12.8%	[18]
2009—2011	49.0%	28.0%	15.0%	/	/	8.0%	[10]
2011—2015	29.5%	42.4%	4.8%	2.7%	/	20.6%	[5]
平均值	37.0%	30.3%	15.3%	5.5%	4.2%	13.4%	/
Average value							

注:分析对象中,无水体突发性污染事件污染方式分析的文献不列于本表格。只对有效统计数据取平均值。*无明确数值,根据报道结果统计分析得出。/在水体突发性污染事件污染方式分析中无或未统计该项风险源,某些则归于“未知原因或其他”。

Note: The references, which did not analyze the pollution ways of water pollution incidents, are not listed in this table. Only average values are used for the statistics analysis according to available data. *The results are based on the statistical analysis of reported results. / There is no statistical analysis of the risk source of pollution ways, and some are attributed to “unknown causes or other”.

事故。2009年10月4日,绵广高速交通事故导致12 t浓硫酸泄露,成潜溪河宣河段7 km被污染,其中3 km内鱼虾灭绝^[24];2011年6月4日杭新景高速交通事故导致31 t苯酚泄漏,影响当地55.22万居民用水^[25];2011年3月15日,长江江阴段河道交通事故导致苯乙烯泄漏,江阴第一水厂停产6 h,严重影响居民用水^[26]。由此可见,虽然由于交通事故导致的水体突发污染事件的比率小于企业超排、偷排、直排和企业事故导致的水体突发性污染事件的比率,但导致的经济损失和社会危害较严重。

人为因素和自然因素风险源统计时,考虑到此类风险源导致的最终后果,存在与企业事故重复统计的现象^[10],某些文献报道将很难划分的此类风险源归类于其他原因或未知原因^[13-14]。

结合风险源分析,水体突发污染事件存在污染方式多样的特点。为降低水体突发污染事件发生频率,应加强污染企业监管排查,预防企业违规排放或企业运行事故发生;建立完善的在线监测和应急预

案管理体系,应对不可抗力因素导致的突发性水污染;保障人民安居乐业,维持社会和谐稳定,以降低人为投毒导致的水体突发污染事件发生概率。

4 水体突发性污染事件污染物分类和特征分析 (Classification and characteristic analysis of pollutants of water pollution incidents)

根据导致水体突发性污染事件污染物种类的报道^[2-3,5-6,10-11,13-18],主要包括化学品、污水(工业废水和生活污水)、油类、农药、重金属、生物污染物和其他或未知污染物。

导致水体突发性污染事件的不同污染物种类所占比例的统计分析结果如表2所示。结果表明,在所有污染物种类中,污水所占比例最高,达到42.0%,化学品污染位居第二,平均占比34.2%。这2种污染物总体占比达到76.2%。

在不同统计报道中,油类、农药、重金属、生物污染和其他或未知污染所占比例各有不同。

表2 文献报道中不同污染物种类导致的水体突发性污染事件所占统计事件的比例
Table 2 The ratio of different pollutants in the statistical analysis of the water pollution incidents according to previous reports

时间段(年) Time period (year)	化学品 Chemicals	污水* Sewage*		油类 Oil	农药 Pesticide	重金属 Heavy metal	生物污染 Biological pollution	未知/其他 Unknown or other	文献 Reference
		工业废水 Industrial wastewater	生活污水 Domestic sewage						
1985—2005	48.0%	24.5%		15.7%	7.8%	3.9%	/	3.9%	[3] ¹
1996—2006	33.9%	/	/	/	/	/	63.1%	3.0%	[11] ²
2000—2011	29.0%	48.0%	4.0%	13.0%	/	4.0%	/	2.0%	[13] ³
2001—2008	50.0%	22.0%		11.0%	/	/	11.0%	6.0%	[14]
2001—2010	78.5%	/	/	/	/	12.5%	9.0%	/	[15] ⁴
2003—2008	55.0%	/	/	22.0%	/	10.0%	13.0%	/	[6] ⁵
2006	33.3%	29.3%		10.7%	4.0%	2.7%	/	13.3%	[17]
2006—2012	12.7%	39.7%		1.6%	0.0%	7.9%	/	25.4%	[16]
2006—2013	17.0%	29.0%	11.0%	8.0%	/	29.0%	6.0%	/	[2]
2007—2008	21.4%	34.2%		13.4%	2.1%	/	5.3%	23.5%	[18]
2009—2011	22.9%	62.0%	28.0%	11.2%	/	20.5%	/	10.0%	[10] ⁶
2011—2015	9.1%	48.5%		10.7%	0.3%	/	2.7%	28.7%	[5]
平均值 Average value	34.2%	42.0%		11.7%	2.8%	11.3%	15.7%	12.9%	/

注:分析对象中,与本污染种类不相符或不相近的文献不列于本表格。只对有效统计数据取平均值。* 根据不同文献报道,划分为污水或者工业废水/生活污水,平均值代表全部污水。1) 重金属包含于化学品污染;2) 主要针对饮用水污染突发公共卫生事件;3) 化学品包括氮磷、工业酸、有机物、固废和化学品,工业废水包括工业废水、农业废水和综合废水;4) 除重金属和富营养化以外,无明确划分,归于化学品;5) 未明确报道与污染物相关的污水,将有机物和化学污染物归类于化学品;6) 工业污水比例中包含化学品、油类和重金属。

Note: The references, which did not analyze the pollutants of water pollution incidents, are not listed in this table. Only average values are used for the statistics analysis according to available data. * Sewage is divided into domestic sewage and industrial wastewater in some reports, and the average value (one value) represents all sewage. 1) Heavy metals are included in chemicals; 2) Mainly focused on drinking water pollution incidents; 3) Chemicals include nitrogen and phosphorus, industrial acids, organics, solid waste and chemicals. Industrial wastewater includes industrial wastewater, agricultural wastewater and integrated wastewater; 4) There is no clear classification of chemicals; 5) Wastewater associated with pollutants that are not clear, and organic and chemical pollutants are classified as chemicals; 6) Chemicals, oils and heavy metals are included in industrial sewage.

结合水体污染种类特点,水体突发性污染事件污染物分析又有极大的复杂性,尤其是在经过一段时间的分析后,依然存在未知污染物的水体污染事件^[5,17-18],导致对该类事件监管和处理难度较大。因此,一定要加强对工业废水和生活污水的管理,并对一定区域内存在的化学品污染源进行分类和筛查,积极防范,将导致突发性水污染事故的污染源严格管控,从源头最大限度降低水体突发性污染事件发生几率。

5 水体突发性污染在线生物监测的必要性分析 (Necessity analysis of on-line biological monitoring of water pollution incidents)

结合我国水体突发性污染事件分析,相关污染

事件都造成巨大的经济损失和生态环境的严重破坏,并影响社会稳定。基于水体突发性污染事件极强的破坏性和危害性^[6,27],全面开展水体突发性污染事件的在线监测和应急管理的研究,已成为维护水环境安全的当务之急,并引起世界各国高度重视^[28-35]。

目前,世界各国普遍采用的水质在线监测方法大致分为两大类:一类是理化分析方法,另一类是生物监测方法^[36]。理化分析方法通常采用各种仪器,通过定量或定性的分析方法,测定水中有害物质及其浓度,具有检测对象的针对性,能够快速灵敏地分析水体中被检测物质的含量。但理化检测结果很难直接反映水体毒性,尤其是当出现各种化学品混合污染或污水污染的水体突发污染情况,理化检测尤其无能为力^[37-38]。鉴于水体突发性污染事件污染方

式的多样性和污染物的复杂性^[39],通过在线分析水生生物生理生态变化的在线生物监测技术,可以实现对水体突发性污染事件导致的综合毒性的在线监测与分析预警^[40-45]。因此,利用水生生物个体进行的水质在线生物监测越来越受到国内外环保工作者的重视,而且成为监测和评价污染物对水生态环境影响有效手段^[46]。

通讯作者简介:贾瑞宝(1968-),男,工学博士,研究员,主要研究方向为供排水监测及饮用水安全保障技术,发表学术论文160余篇。

共同通讯作者简介:彭晓静(1975-),女,工程师,研究方向为环境固废及危化品控制与管理。

参考文献 (References):

- [1] 黄斌维,郝玉莲,贾如磊.突发性水污染事故应急处理[J].科技信息,2012,12:29-31
- [2] 戚平平,刘亮,苏乃洲,等.我国水体突发性污染事故不完全统计分析[J].济南大学学报:自然科学版,2014(5):335-341
Qi P P, Liu L, Su N Z, et al. The incomplete statistical analysis of sudden water pollution accidents in China [J]. Journal of University of Jinan: Science and Technology, 2014(5): 335-341 (in Chinese)
- [3] 张勇,王东宇,杨凯.1985—2005年中国城市水源地突发污染事件不完全统计分析[J].安全与环境学报,2006,6(2):79-84
Zhang Y, Wang D Y, Yang K. Statistical analysis on water pollution incident in urban water supply area in China during the year 1985 to 2005 [J]. Journal of Safety and Environment, 2006, 6(2): 79-84 (in Chinese)
- [4] 张媛,赵文喜,张建军,等.突发性环境污染事故的统计分析及预防策略[J].环境污染与防治,2013,35(10):108-112
Zhang Y, Zhao W X, Zhang J J, et al. Statistical analysis and preventive strategies for the sudden environmental pollution accident [J]. Environmental Pollution & Control, 2013, 35(10): 108-112 (in Chinese)
- [5] 吉立,刘晶,李志威,等.2011—2015年我国水污染事件及原因分析[J].生态与农村环境学报,2017,33(9):775-782
Ji L, Liu J, Li Z W, et al. Accidents of water pollution in China in 2011-2015 and their causes [J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2017, 33(9): 775-782 (in Chinese)
- [6] 韩晓刚,黄廷林.我国突发性水污染事件统计分析[J].水资源保护,2010,26(1):84-86
Han X G, Huang T L. Statistical analysis of sudden water pollution accidents [J]. Water Resources Protection, 2010, 26(1): 84-86 (in Chinese)
- [7] 路明,韩小铮.667起环境污染事故统计分析及对策[J].工业安全与环保,2013,39(5):30-32
Lu M, Han X Z. Statistics analysis and measures of 667 environmental pollution accidents [J]. Industrial Safety and Environmental Protection, 2013, 39(5): 30-32 (in Chinese)
- [8] 邓水平.1991—2010年我国环境污染与破坏事故时空动态及其驱动因子分析[J].湖南有色金属,2014,30(3):56-60
Deng S P. Spatio-temporal dynamics of environmental pollution and destruction accidents and their drivers in China during 1991-2010 [J]. Hunan Nonferrous Metals, 2014, 30(3): 56-60 (in Chinese)
- [9] 丁镭,黄亚林,刘云浪,等.1995—2012年中国突发性环境污染事件时空演化特征及影响因素[J].地理科学进展,2015,34(6):749-760
Ding L, Huang Y L, Liu Y L, et al. Spatio temporal variability of sudden environmental pollution incidents and influencing factors in China, 1995-2012 [J]. Progress in Geography, 2015, 34(6): 749-760 (in Chinese)
- [10] 张丽峰.国家重污染事故频发河流水体污染防治战略研究[D].合肥:合肥工业大学,2012:14-30
Zhang L F. Water pollution prevention strategies for rivers of heavy pollution accident occurred frequently in China [D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2012: 14-30 (in Chinese)
- [11] 王强,赵月朝,屈卫东,等.1996—2006年我国饮用水污染突发公共卫生事件分析[J].环境与健康杂志,2010,27(4):328-331
Wang Q, Zhao Y C, Qu W D, et al. Investigation of drinking water contamination incidents in China during 1996-2006 [J]. Journal of Environment and Health, 2010, 27(4): 328-331 (in Chinese)
- [12] 董文福,傅德黔.近年来我国环境污染事故综述[J].环境科学与技术,2009,32(7):75-77
Dong W F, Fu D Q. Review on environmental pollution accidents in recent years in China [J]. Environmental Science & Technology, 2009, 32(7): 75-77 (in Chinese)
- [13] 艾恒雨,刘同威.2000—2011年国内重大突发性水污染事件统计分析[J].安全与环境学报,2013,13(4):288-292
Ai H Y, Liu T W. Statistical review of the major unexpected water contamination incidents at home in the period from 2000 to 2011 [J]. Journal of Safety and Environment, 2013, 13(4): 288-292 (in Chinese)
- [14] 李晓红.中国村镇突发性水污染事件特征及产生根源

- 分析[J]. 环境科学与管理, 2010, 35(4): 1-5
- Li X H. The study on the characteristic and influencing factors of the sudden water pollution accidents in towns and villages [J]. Environmental Science and Management, 2010, 35(4): 1-5 (in Chinese)
- [15] 邓建明. 广西 21 世纪前 10 年突发性水污染事件回顾分析[J]. 广西水利水电, 2012(5): 37-40
- Deng J M. Review and analysis of sudden water pollution accidents occurred in Guangxi during the first decade of the 21st Century [J]. Guangxi Water Resources & Hydro-power Engineering, 2012(5): 37-40 (in Chinese)
- [16] 陈飞, 王罗春, 武文燕, 等. 2006—2012 年中国城市水源地突发性水污染事件的统计分析[J]. 上海电力学院学报, 2014, 30(1): 62-70
- Chen F, Wang L C, Wu W Y, et al. Statistical analysis of emergency water pollution incidents in China urban water sources during 2006–2012 [J]. Journal of Shanghai University of Electric Power, 2014, 30(1): 62-70 (in Chinese)
- [17] 王东宇, 张勇. 2006 年中国城市饮用水源突发污染事件统计及分析[J]. 安全与环境学报, 2007, 7(6): 150-155
- Wang D Y, Zhang Y. Statistical analysis on drinking water source and supply system contamination threats and incidents for urban areas in China during 2006 [J]. Journal of Safety and Environment, 2007, 7(6): 150-155 (in Chinese)
- [18] 郭向楠, 张勇. 2007—2008 年中国城乡饮用水源突发污染事件统计及分析[J]. 安全与环境学报, 2009, 9(3): 185-194
- Guo X N, Zhang Y. Statistical analysis on the drinking-water supply system pollution incidents in China during the period of 2007–2008 [J]. Journal of Safety and Environment, 2009, 9(3): 185-194 (in Chinese)
- [19] 王彬, 赵永新. 国家环保总局: 全国突发环境污染事件急剧上升 [EB/OL]. (2016-05-16) [2017-12-15]. <http://www.cctv.com/news/china/20060516/100070.shtml>
- [20] 中华人民共和国中央人民政府. 国家突发环境事件应急预案 [EB/OL]. (2016-01-24) [2017-12-15]. http://www.gov.cn/yjgl/2006-01/24/content_170449.htm
- [21] 张雷. 陕西灞河漂起十几万死鱼阴雨污染系主因 [EB/OL]. (2011-07-07) [2017-12-18]. <https://news.qq.com/a/20110707/000774.htm>
- [22] 欧芳兰, 谭庆梅. 那蒙江水污染事件应急监测的启示 [J]. 城市建设理论研究: 电子版, 2013(20): 1-4
- [23] 中国环保网. 灭火与环保: 熊掌与鱼能否兼得? [EB/OL]. (2008-12-19) [2017-12-18]. <http://www.chinaenvironment.com/view/viewnews.aspx?k=20081219110932580>
- [24] 王萍. 水源保护区高速公路路面径流处理技术研究 [D]. 西安: 长安大学, 2010: 2
- Wang P. Study on treatment technology of expressway runoff in water source protection area [D]. Xi'an: Chang'an University, 2010: 2 (in Chinese)
- [25] 浙江在线新闻网站. 关于苯酚槽罐车泄漏事故处置情况通报 [EB/OL]. (2011-06-06) [2017-12-19]. <http://zjnews.zjol.com.cn/05zjnews/system/2011/06/06/017575964.shtml>
- [26] 常州晚报. 苯乙烯泄漏污染长江水, 第一水厂停产 6 小时 [EB/OL]. (2011-03-16) [2017-12-19]. http://news.cz001.com.cn/2011-03/16/content_1487316.htm
- [27] Hou Y, Zhang T Z. Evaluation of major polluting accidents in China—Results and perspectives [J]. Journal of Hazardous Materials, 2009, 168(2-3): 670-673
- [28] 刘砚华, 魏复盛. 关于突发性环境污染事故应急监测 [J]. 中国环境监测, 1995(5): 59-62
- [29] 任玉辉, 肖羽堂. 浅谈突发性水污染事故应急体系的建设 [J]. 环境科学与管理, 2007, 32(12): 10-13
- Ren Y H, Xiao Y T. Construction of emergency system for sudden water pollution accident [J]. Environmental Science and Management, 2007, 32(12): 10-13 (in Chinese)
- [30] Meel A, O'Neill L M, Levin J H, et al. Operational risk assessment of chemical industries by exploiting accident databases [J]. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2007, 20(2): 113-127
- [31] Battaglia M, Passetti E, Frey M. Occupational health and safety management in municipal waste companies: A note on the Italian sector [J]. Safety Science, 2015, 72(118): 55-65
- [32] Cénérino G, Rahni N, Chevrier P, et al. Severe accident mitigation strategy for the generation II PWRs in France. Some outcomes of the on-going periodic safety review of the French 1300MWe PWR series [J]. Progress in Nuclear Energy, 2016, 87: 32-38
- [33] Chung C M, Yang G G. Efficient safety management in inland waters: Focused on water relief and water safety [J]. The Journal of the Korea Contents Association, 2015, 15(3): 101-113 (in Korean)
- [34] Curnin S, Heumüller E, Smith D. Evaluating emergency management capability of a water utility: A pilot study using exercise metrics [J]. Utilities Policy, 2016, 39: 36-40
- [35] 李志良, 任宗明, 马梅, 等. 利用大型蚤运动行为变化预警突发性有机磷水污染 [J]. 中国给水排水, 2007, 23(12): 73-75
- Li Z L, Ren Z M, Ma M, et al. Application of behavioral changes of *Daphnia magna* to early warning of sudden organophosphorous water contamination [J]. China Water & Wastewater, 2007, 23(12): 73-75 (in Chinese)
- [36] Jr Cairns J, Pratt J R. The scientific basis of bioassays [J]. Hydrobiologia, 1989, 188-189(1): 5-20
- [37] Persoone G. Cyst-based toxicity tests. I. A promising new tool for rapid and cost-effective toxicity screening of

- chemicals and effluents [J]. Zeitschrift fuer angewandte Zoologie (Germany, F.R.), 1992, 78: 235-241
- [38] Schoeters G E R, Janssen C R, Persoone G, et al. Ecotoxicologische testen voor beoordeling van waterkwaliteit [J]. Water Tijdschrift over Waterproblematiek, 1996, 91: 280-282
- [39] 任宗明, 马梅, 查金苗, 等. 在线生物监测技术用于典型农药突发性污染的研究[J]. 给水排水, 2007, 33(3): 20-23
- Ren Z M, Ma M, Zha J M, et al. The researches of on-line monitoring techniques in typical pesticides accidental contamination [J]. Water & Wastewater Engineering, 2007, 33(3): 20-23 (in Chinese)
- [40] Doudoroff P, Anderson B G, Burdick G E, et al. Bio-assay methods for the evaluation of acute toxicity of industrial wastes to fish [J]. Sewage & Industrial Wastes, 1951, 23(11): 1380-1397
- [41] Ren Z, Zha J, Ma M, et al. The early warning of aquatic organophosphorus pesticide contamination by on-line monitoring behavioral changes of *Daphnia magna* [J]. Environmental Monitoring & Assessment, 2007, 134(1): 373-383
- [42] Balk F, Okkerman P C, Vanhelmond C A M, et al. Biological early warning systems for surface-water and industrial effluents [J]. Waterence & Technology, 1994, 29(3): 211-213
- [43] Zhang G, Chen L, Liu Y, et al. A new online monitoring and management system for accidental pollution events developed for the regional water basin in Ningbo, China [J]. Water Science & Technology, 2011, 64(9): 1828-1834
- [44] Zhang G, Chen L, Chen J, et al. Evidence for the stepwise behavioral response model (SBRM): The effects of carbamate pesticides on medaka (*Oryzias latipes*) in an online monitoring system [J]. Chemosphere, 2012, 87(7): 734-741
- [45] Ren Z, Su N, Miao M, et al. Improvement of biological early warning system based on medaka (*Oryzias latipes*) behavioral responses to physiochemical factors [J]. Journal of Biobased Materials & Bioenergy, 2012, 6(6): 678-681
- [46] 任宗明, 王涛, 白云岭, 等. 水质在线安全生物预警系统模拟预警及应用[J]. 供水技术, 2009, 3(2): 1-3
- Ren Z M, Wang T, Bai Y L, et al. Simulation of early warning and application of on-line biological early warning system for water quality safety [J]. Water Technology, 2009, 3(2): 1-3 (in Chinese) ◆