

长江经济带突发水污染风险分区研究¹

周夏飞¹, 曹国志^{1,*}, 於方¹, 刘琦², 马国霞¹, 杨威杉¹

1. 生态环境部环境规划院, 北京 100012

2. 北京师范大学地理科学学部, 北京 100875

【摘要】:长江经济带突发水污染事件频发,对区域人群健康和生态安全造成严峻挑战.环境风险分区是环境风险管理的基础和有效工具.本研究以2015年为基准年,基于环境统计数据、DEM数据、水质监测断面数据和基础地理数据,综合考虑了水系流向、水系级别及水质等因素,以1 km×1 km的网格为基本单元,对长江经济带开展突发水污染风险分区.结果表明:①高风险区面积为3348.9 km²,占评估区总面积的0.16%;较高风险区面积为26030.7 km²,占比1.27%;中风险区面积为97971.1 km²,占比4.79%;低风险区面积为1916838.7 km²,占比93.77%;②从沿长江干流两岸分布来看,高风险区面积沿长江上游至下游呈逐渐增加趋势,主要集中在重庆市中部、湖北省东部、安徽省东部、江苏省中西部、浙江省北部、上海市西部等地;③从沿长江主要支流两岸分布来看,高风险区主要分布在嘉陵江南段、乌江南段、汉水东段、湘江北段、赣江北段等.研究结果可为长江经济带生态环境管理提供科学依据.

【关键词】:长江经济带;突发水污染;风险;分区

【文章编号】:0253 次 468 (2020) 01-334-09 **【中图分类号】:**X32 **【文献标识码】:**A

DOI: 10.13671/j.hjkxxb.2019.0369

1 引言(Introduction)

自改革开放以来,长江经济带已成为我国综合实力最强、战略支撑作用最为重要的区域之一,其经济总量、财政收入、产业规模、重要工业产品产量等均占全国40%左右的份额(陆大道,2014;段学军等,2015;李芳林等,2018).然而,随着经济的快速发展与人口的大规模集聚,长江流域也出现了一系列环境问题,其中,突发水污染事件风险尤为突出(贾倩等,2017).据统计,2006—2015年,长江经济带共发生1919起突发水污染事件,约占全国总数的58%(国家统计局,2016;Cao et al.,2018).此外,长江经济带高风险企业众多,且分布较为集中,还存在风险源与风险受体交叉分布、危险化学品运输穿越饮用水源地保护区的现象(曹国志等,2018).未来一段时期内,长江经济带突发水污染事件高发的态势难以得到根本改变,使区域居民健康和生态安全面临严峻挑战(杨桂山等,2015;曹国志等,2018).基于此,国家高度重视长江经济带的持续协调发展,在“共抓大保护,不搞大开发”的导向下,研究长江经济带突发水污染风险具有重要的理论和现实意义.

¹收稿日期:2019-06-04 修回日期:2019-09-20 录用日期:2019-09-20

基金项目:国家重点研发计划重点专项(No.2016YFC0208800);国家水体污染控制与治理科技重大专项(No.2017ZX07301005);国家重点研发计划(No.2018YFC0214104)

作者简介:周夏飞(1991—),男,E-mail:zhouxf@caep.org.cn;* 责任作者,E-mail:caogz@caep.org.cn

区域水污染风险分区评估是环境风险评估中的重要组成部分,是环境风险管理的基础和有效工具,通过评估可识别水污染高风险的热点区域,进而为决策者提供更具针对性的环境风险管理措施(贺桂珍等,2012;薛鹏丽等,2011),目前,国内外许多学者在区域水环境风险分区评估等领域做了大量的研究(Huang et al., 2011; Pizzol et al., 2011; Liu et al., 2013; Chen et al., 2013; Giubilato et al., 2014; Meng et al., 2014).例如,刘仁志等(2015)从风险形成机理出发,并针对水体输移扩散过程复杂等因素,建立了完整的风险链以实现滨海新区区域突发水污染风险分区;邢永健等(2016)采用集对分析法构建了基于风险场的区域突发性水污染风险评估方法,该方法充分考虑了水体扩散的流域性特征;薛鹏丽等(2011)在环境风险系统理论的指导下,借鉴“自上而下”和“自下而上”传统区划方法对上海市突发环境风险进行区划研究,针对上海市布局型环境风险和不同风险区提供了相应的管理措施.综上,区域环境风险分区研究是识别突发水污染高风险热点区域的重要工具,但现有研究多针对行政尺度进行评估,不能较好地反映行政区内风险的空间分布特征.

基于此,本研究以2015年为基准年,利用环境统计数据、DEM数据、水质监测断面数据和基础地理数据,综合考虑水系流向、水系级别及水质等因素,以1 km×1 km网格为基本单元,对长江经济带开展突发水污染风险分区,以期对长江经济带生态环境管理提供基础数据和理论支撑.

2 数据与方法 (Data and methods)

2.1 研究区概况

长江经济带横跨我国东、中、西三区域,覆盖上海、江苏、浙江、安徽等11个省市,面积约为205×10⁴ km²,人口数量和生产总值均超过全国的40%(贾倩等,2017).据统计,长江经济带五级以上河流共有566条,五级以上湖泊、水库共有1010个,其中,长江是整个区域最长、流域面积最大的河流,水系密布,主要包括长江干流及岷江、嘉陵江、汉江、湘江等主要一级支流(图1).

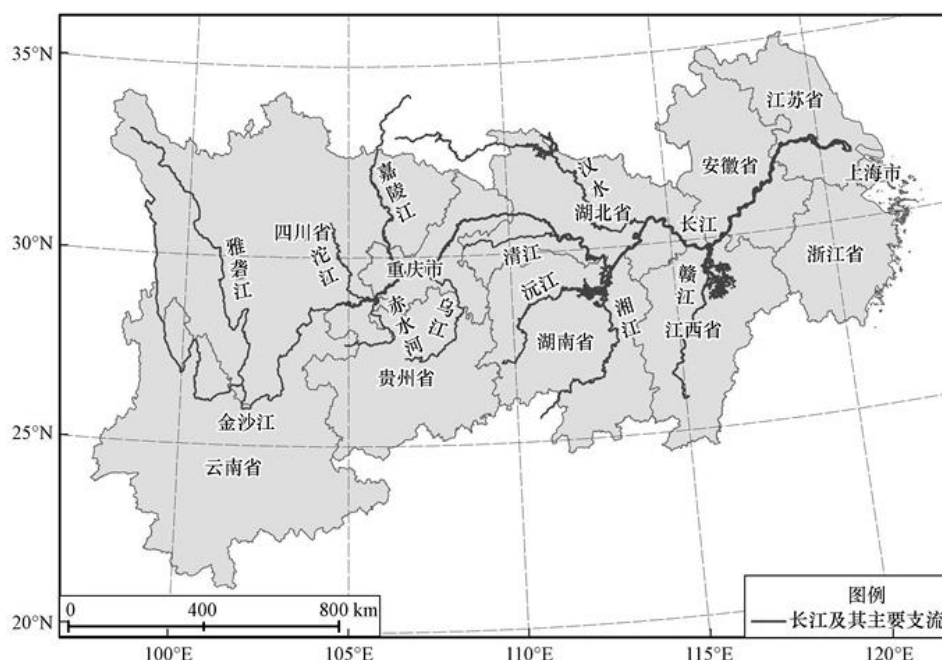


图1 研究区范围

2.2 数据来源

行政区划数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心 (<http://www.resdc.cn/>)。DEM 数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心 (<http://www.resdc.cn/>)，空间分辨率为 $1\text{ km}\times 1\text{ km}$ 。中国 1:100 万河流分布数据来源于国家基础地理信息中心 (<http://www.webmap.cn/main.do?method=index>)，该数据基于《河道等级划分办法(试行)》(水利部, 2015) 将河流划分为一级河流、二级河流、三级河流、四级河流、五级河流等 5 个级别。中国 1:100 万湖泊水库分布数据来源于国家基础地理信息中心 (<http://www.webmap.cn/main.do?method=index>)，该数据基于《水利水电工程等级划分及洪水标准》(山丘、丘陵区部分)(SDJ12-78)(水利部, 2000) 将湖泊水库划分为 5 个等级。2015 年国家水质监测断面数据来源于中国环境监测总站 (<http://123.127.175.45:8082/>)。2015 年环境统计数据来源于中国环境监测总站。

2.3 数据预处理

2.3.1 2015 年环境数据 Q 值获取 Q 值指风险源环境风险物质最大存在量与临界量的比值(生态环境部, 2018)。本研究以生态环境部 2010 年在全国范围内开展的“重点行业企业环境风险及化学品调查”数据及江苏省、天津滨海新区、乌鲁木齐等其他区域调查数据(企业名称、经纬度、Q 值)为基础, 筛选与 2015 年环境统计数据中相对应的企业; 然后, 以这些企业的 Q 值为基础, 基于行业类别代码、企业规模等参数, 推导其他企业的 Q 值, 即其他企业 Q 值取与其具有相同企业规模、相同行业已有企业 Q 值的平均值。

2.3.2 中国 1:100 万河流水质分段划分本研究基于国家水质断面数据将中国 1:100 万河流进行分段, 分段河流水质由相对应的国家监测断面水质确定, 即国家监测断面上游分段河流水质取该监测断面水质。

2.3.3 中国 1:100 万湖泊水库水质确定本研究基于国家水质监测断面数据确定湖泊水库水质, 如 1 个湖泊(或水库)有多个监测断面, 取水质最好的监测断面水质作为该湖泊(或水库)的水质。

2.4 研究方法

本研究参考《行政区域突发环境事件风险评估推荐方法(环办应急[2018] 9 号)》(邢永健等, 2016; 生态环境部, 2018; Cao et al., 2019) 的网格化评估方法, 开展长江经济带突发水污染风险分区评估, 主要有两个方面的改进: ①引入区域生长法来具体确定风险源真实的影响范围(通过高程搜索计算); ②根据不同河流湖库的级别和水体功能区涉及的不同区域的敏感性确定水环境风险受体易损性指数。

2.4.1 网格划分本研究基于长江经济带行政区划数据, 利用 ArcGIS 的 create fishnet 功能将长江经济带划分为 $1\text{ km}\times 1\text{ km}$ 的网格, 并对其进行编号。

水污染风险主要通过水系(或流域)扩散, 本方法采用线性递减函数构建水污染风险场强度计算模型, 为简化计算, 假设最大影响范围为 10 km (实际影响范围可能超过 10 km)。区域内某一个网格的水污染风险场强度可表示为:

$$E_{x,y} = \begin{cases} \sum_{i=1}^n Q_i P_{x,y} & 0 \leq l_i \leq 1 \\ \sum_{i=1}^n (1 - \frac{l_i}{10}) Q_i P_{x,y} & 1 \leq l_i \leq 10 \\ 0 & l_i > 10 \end{cases} \quad (1)$$

式中, $E_{x,y}$ 为某一个网格的水污染风险强度; Q_i 为第 i 个风险源环境风险物质最大存在量与临界量的比值; $P_{x,y}$ 为风险场在某一个网格出现的概率, 一般取 $10^{-6} \cdot a^{-1}$ (可根据评估区域风险源特征适当调整) l_i 为网格中心点与风险源的距离 (km); n 为风险源的个数。

由于水具有一定的流动性, 一般会从高处往低处流, 风险源所处的网格的高程应高于周边网格的高程, 才能对周边的网格造成影响. 因此, 本文首先将每个风险源的影响范围限定在风险源周边 10 km 范围内, 然后采用区域生长法 (周夏飞等, 2016) 来确定风险源真实的影响范围, 即从距离风险源最近的第一圈网格开始, 比较这些网格的高程值是否小于风险源的高程值. 如果小于风险源的高程值, 则风险源周边的这个网格被视为受影响的网格, 这样依次由近至远搜索, 一旦遇到大于风险源的高程值的网格或达到了 10 km 之外的范围, 则停止搜索。

为了便于各个网格水污染风险场强度的比较, 本方法对各个网格的水污染风险场强度进行标准化处理, 公式如下:

$$E_{x,y} = \frac{E_{x,y} - E_{\min}}{E_{\max} - E_{\min}} \quad (2)$$

式中, $E_{x,y}$ 为某一个网格的水污染风险场强度; $E_{\max}$ 为区域内网格的最大水污染风险场强度; $E_{\min}$ 为区域内网格的最小水污染风险场强度。

2.4.2 网格环境风险受体易损性指数 水环境风险受体易损性指数 $V_{x,y}$ 主要参考 Cao 等 (2018) 相关研究成果, 根据不同河流的级别及一级水体功能区涉及的不同区域的敏感性确定, 具体方法如表 1 所示。

表 1 $V_{x,y}$ 确定方法

目标	指标	描述	权重	分值
水环境风险受体 易损性指数	河流、湖泊、水库级别	一级河流、湖泊、水库等通过的网格	1/3	100
		二级河流、湖泊、水库等通过的网格		80
		三级河流、湖泊、水库等通过的网格		60
		四级河流、湖泊、水库等通过的网格		40
		五级河流、湖泊、水库等通过的网格		20
	水体功能区	I 类水河流、湖泊、水库等通过的网格	1/3	100
		II 类水河流、湖泊、水库等通过的网格		80
		III 类水河流、湖泊、水库等通过的网格		60
		IV 类水河流、湖泊、水库等通过的网格		40
		V 类水及劣 V 类水河流、湖泊、水库等通过的网格		20

	河流、湖泊、水库等 1 km 缓冲区通过的网格		100
	河流、湖泊、水库等 3 km 缓冲区通过的网格		75
河流、湖泊、水库缓冲区	河流、湖泊、水库等 5 km 缓冲区通过的网格	1/3	50
	河流、湖泊、水库等 10 km 缓冲区通过的网格		25

2.4.3 网格水污染风险值网格水污染风险值计算参考《行政区域突发环境事件风险评估推荐方法（环办应急[2018] 9 号）》（生态环境部，2018），具体公式如下：

$$E_{x,y} = \frac{E_{x,y} - E_{\min}}{E_{\max} - E_{\min}} \quad (2)$$

式中， $R_{x,y}$ 为网格水污染风险值； $E_{x,y}$ 为网格水污染风险场强； $V_{x,y}$ 为网格水环境风险受体易损性指数。

2.4.4 网格水污染风险分区本研究基于《行政区域突发环境事件风险评估推荐方法（环办应急[2018] 9 号）》（生态环境部，2018），根据网格水污染风险值的大小，将风险划分为 4 个等级：高风险（ $R > 80$ ）、较高风险（ $60 < R \leq 80$ ）、中风险（ $30 < R \leq 60$ ）、低风险（ $R \leq 30$ ）。

2.5 统计分析

本研究根据《2004—2016 年中国统计年鉴》（国家统计局，2016）对长江经济带各省 2003—2015 年突发水污染事件总数及单位面积突发水污染事件数进行了统计，并将各省网格平均风险值与单位面积突发水污染事件数（取对数函数）进行一元线性回归分析，分析其分区评估结果的可靠性，具体计算公式如下：

$$R_{x,y} = \frac{\sum_{i=1}^n [(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})]}{\sum_{i=1}^n [(x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2]} \quad (4)$$

式中， $R_{x,y}$ 为 x 、 y 变量的相关系数； x_i 成为第 i 个省份的网格平均风险值； y_i 为第 i 个省份的突发水污染事件数渣为多个省份的网格平均风险值； $\bar{y}$ 为多个省份的平均突发水污染事件数； n 为省份的个数（ $n=11$ ）。

3 结果与分析（Results and analysis）

3.1 水环境风险场及风险受体易损性分布

长江经济带突发水污染风险场强及风险受体易损性分布见图 2。从风险场强分布来看，风险强度较大区域主要分布在重庆市中部、湖北省东部、江西省东部、安徽省东部、江苏省南部、浙江省北部、上海市西部等地；从风险受体易损性分布来看，

受体较为敏感的区域主要分布在云南省、四川省南部、重庆市北部、湖北省南部、安徽省东部等地。

3.2 风险分区评估结果与分析

3.2.1 风险分区评估结果通过突发水污染风险分区评估方法，得到长江经济带突发水污染风险分区结果（图3）。高风险区主要集中分布在上海市西部长江沿岸、江苏省中西部长江沿岸、安徽省、湖北省东部长江沿岸、重庆市中部长江沿岸、浙江省北部等地，这主要是由于这些地区风险企业较多，且距离长江较近。高风险区面积为3348.9 km²，占评估区总面积的0.16%；较高风险区面积为26030.7 km²，占比1.27%；中风险区面积为97971.1 km²，占比4.79%；低风险区面积为1916838.7 km²，占比93.77%（表2）

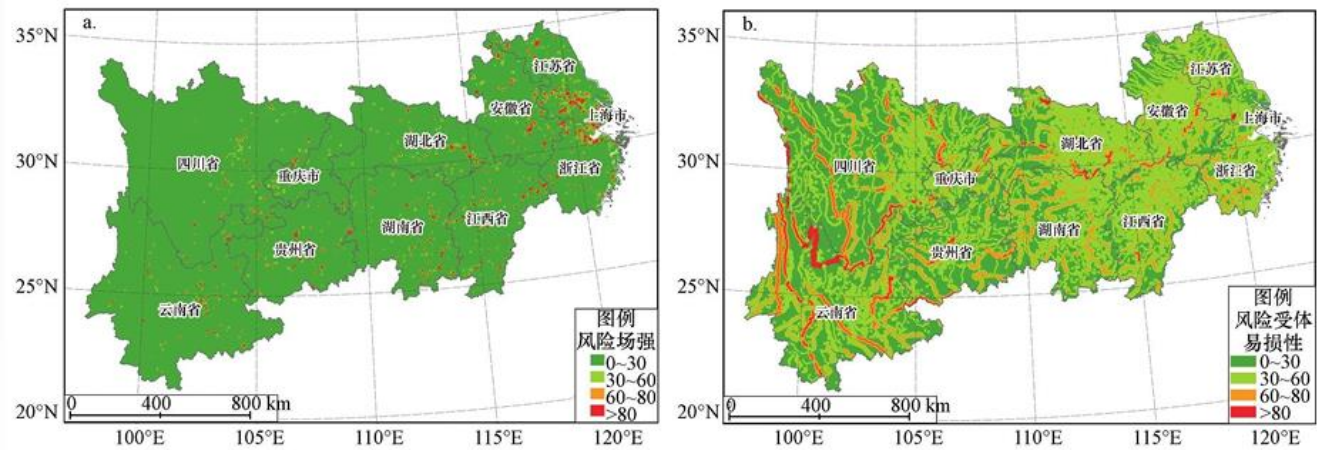


图2 长江经济带突发水污染风险场强(a)及风险受体易损性(b)分布

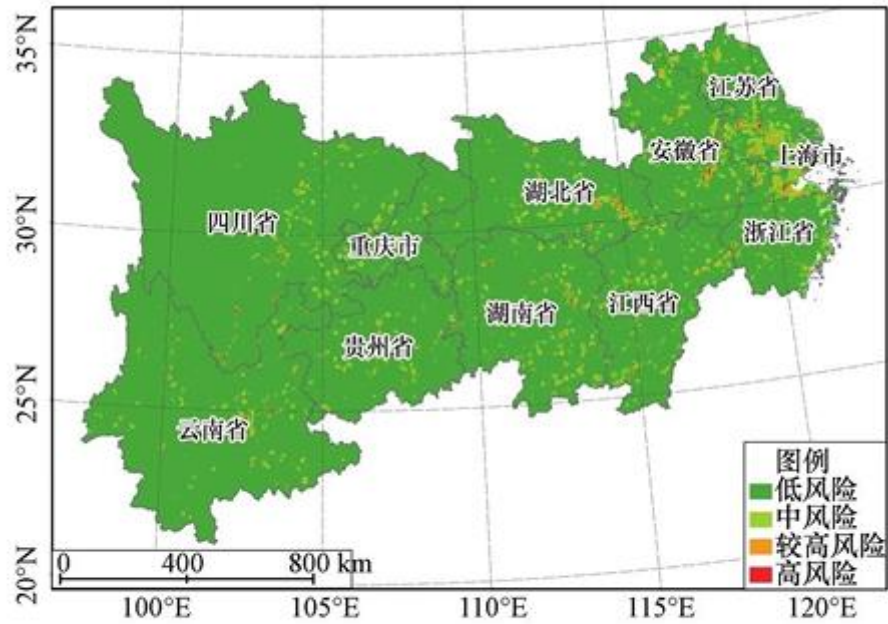


图3 长江经济带突发水污染风险分区

表 2 长江经济带突发水污染风险分区面积统计		
风险等级	面积/km ²	占比
高风险	3348.9	0.16%
较高风险	26030.7	1.27%
中风险	97971.1	4.79%
低风险	1916838.7	93.77%

从各省平均风险值来看，上海市风险最高，其次为江苏省、浙江省、安徽省（图 4）；从各省风险区 面积来看, 浙江省高风险区域面积最大，其次为江 苏省、湖南省（表 3）；从各省风险区面积所占比例来 看，浙江省高风险区域面积占比最大，其次为江苏省、重庆市（图 5a）；上海市较高风险区域面积占比 最大，其次为江苏省、浙江省（图 5b）。

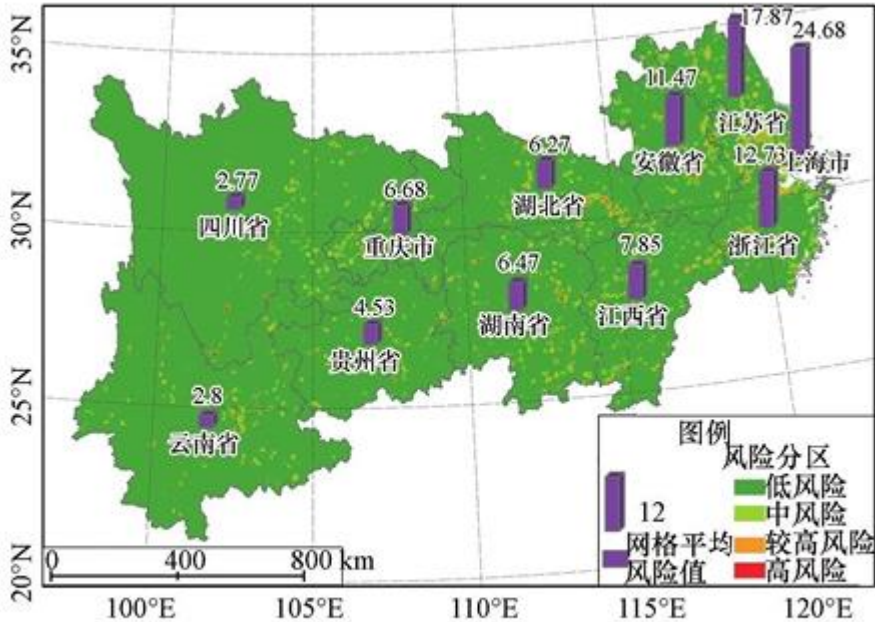


图 4 长江经济带突发水污染网格平均风险值

表 3 长江经济带各省突发水污染风险分区面积统计					
序号	省份	高风险区	较高风险	中风险	低风险
		g/km2	区/ km ²	区/ km ²	区/km ²
1	云南省	238. 0	2389. 5	7637. 1	372731. 3
2	四川省	343. 1	1835. 3	8645. 8	475282. 7
3	重庆市	280. 9	909. 1	3985. 4	77210. 9
4	贵州省	136. 0	1176. 4	5764. 1	168994. 4
5	湖北省	346. 3	2498. 9	8788. 4	174332. 2
6	湖南省	404. 4	2588. 5	10406. 4	198499. 1
7	江西省	261. 8	2828. 6	9984. 1	153857. 4
8	安徽省	352. 7	2892. 6	11041. 8	125885. 7
9	江苏省	470. 9	4409. 1	17156. 2	79789. 6

10	浙江省	514.8	3995.3	12218.2	86173.2
11	上海市	0.0394	507.4	2343.6	4082.2
	合计	3348.9	26030.7	97971.1	1916838.7

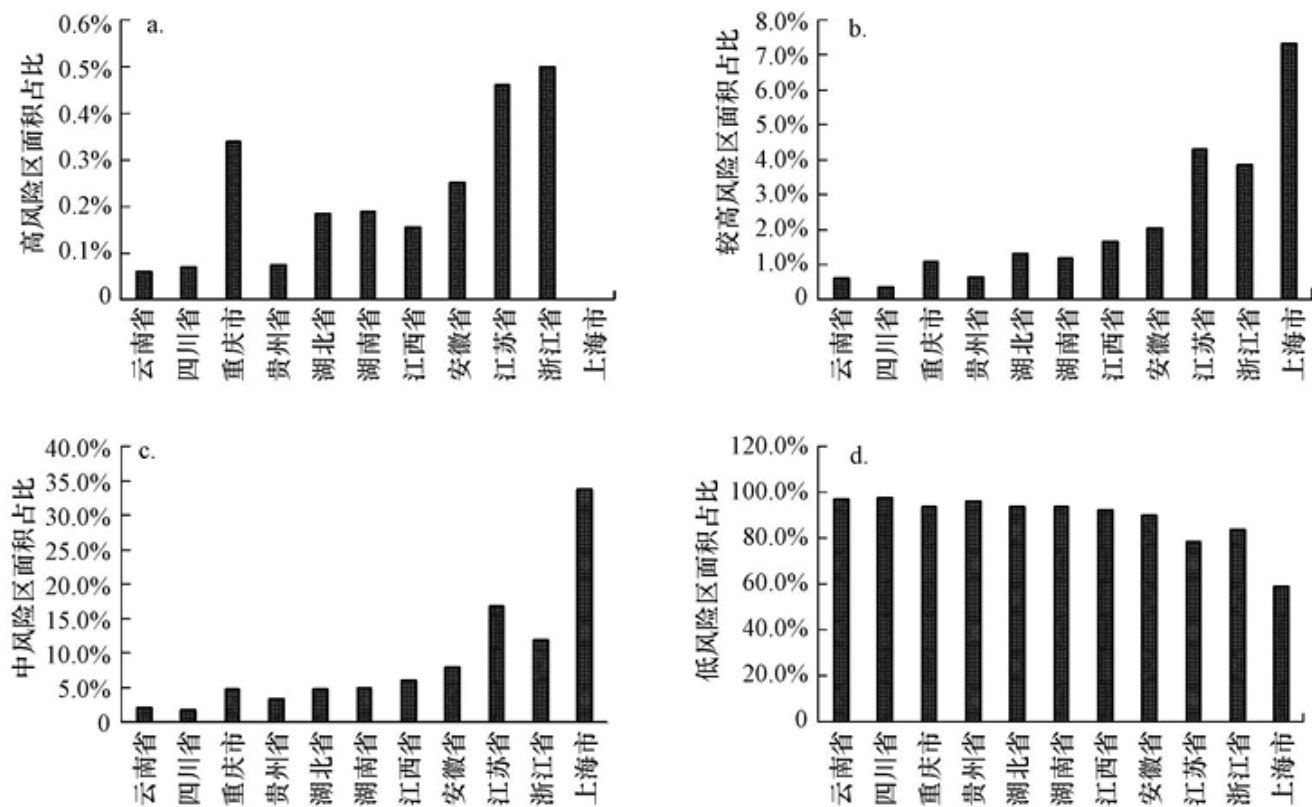


图 5 长江经济带各省突发水污染风险分区面积占比

3.2.2 高风险热点区域分析评估结果显示，在长 江经济带的各省份中，上海市、江苏省、浙江省风险 相对较高（图 4），通过进一步分析，这主要是由于这 些地区企业个数较多，总计 25087 个，占长江经济带 全部企业的 40.6%，且每 100 km² 企业个数远超过长 江经济带的平均值，上海市约是平均值的 9.5 倍，江苏省约是平均值的 3.5 倍，浙江省约是平均值的 4.0 倍（表 4）。

表 4 长江经济带各省风险企业个数统计分析

序号	省份	风险企业个数	每 100 km ² 风险企业个数
1	云南省	3749	1.0
2	四川省	6369	1.3
3	重庆市	3048	3.7
4	贵州省	3184	1.8
5	湖北省	3473	1.9
6	湖南省	4378	2.1
7	江西省	4755	2.8

8	安徽省	7806	5.6
9	江苏省	10646	10.5
10	浙江省	12470	12.1
11	上海市	1971	28.4
合计		61849	3.0

从沿长江干流两岸分布来看，高风险区面积沿 长江上游至下游呈逐渐增加趋势，主要集中在 重庆市中部、湖北省东部、安徽省东部、江苏省中西部、浙江省北部、上海市西部等地，通过分析，长江 干流 1 km 范围内风险企业个数为 1048 家，10 km 范围内风险企业个数为 5389 家，约占总数的 8.7%；从沿长江主要支流两岸分布来看，高风险区主要分 布在嘉陵江南段、乌江南段、汉水东段、湘江北段、 赣江北段等（图 6）。

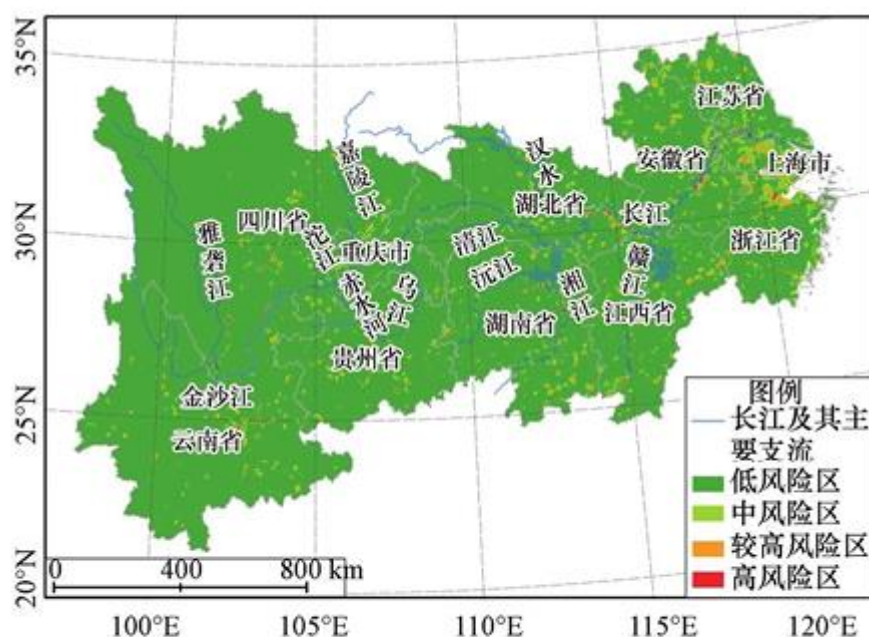


图 6 长江经济带沿江风险分布

3.2.3 水污染风险与水环境污染事件数关系分析 回归分析结果显示，长江经济带各省 2003—2015 年各省网格平均风险值与单位面积突发水污染事 件总数相关性显著 ($r = 0.899, p < 0.01$)，说明本研究 计算的结果具有一定的可靠性，各省突发水污染事 件数发生的次数越多，对应的平均风险值越高（图 7）。

表 5 2003-2015 年长江经济带突发水污染事件数统计

序号	省份	突发水污 染事件数	每 10000 km ² 突发 水污染事件数	网格平均风险值
1	四川省	252	5.18	2.77
2	云南省	314	8.20	2.8
3	贵州省	157	8.92	4.53
4	湖北省	334	17.96	6.27
5	湖南省	581	27.42	6.47

6	重庆市	194	23.55	6.68
7	江西省	241	14.44	7.85
8	安徽省	231	16.48	11.47
9	浙江省	584	56.75	12.73
10	江苏省	356	34.96	17.87
11	上海市	186	268.27	24.69

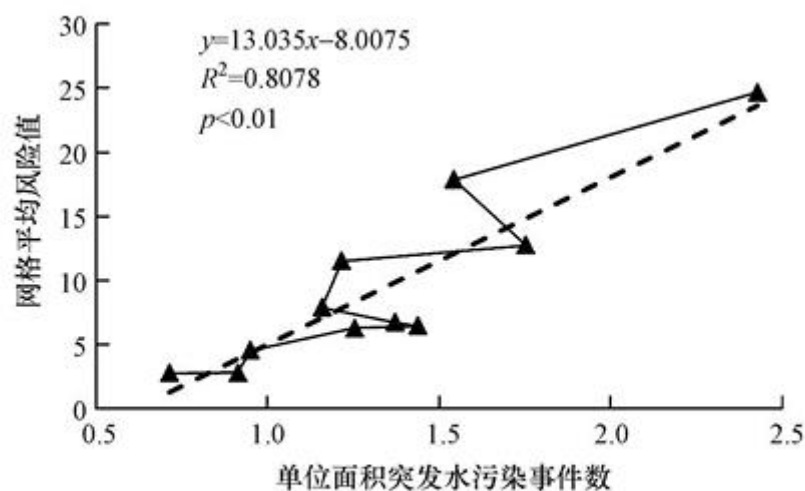


图7 各省网格平均风险值与单位面积突发水污染事件数对比

从2006—2015年发生的重大以上突发水污染事件来看（生态环境部，2016），贵州、湖北、湖南、四川等省较多，重庆市、江苏省、上海市相对较少（图8），与本文估算的各省网格平均风险值有所偏差，这主要是由于本文是客观的评价区域所有事故的突发水污染风险，并未单独评价重大突发水污染风险所致。

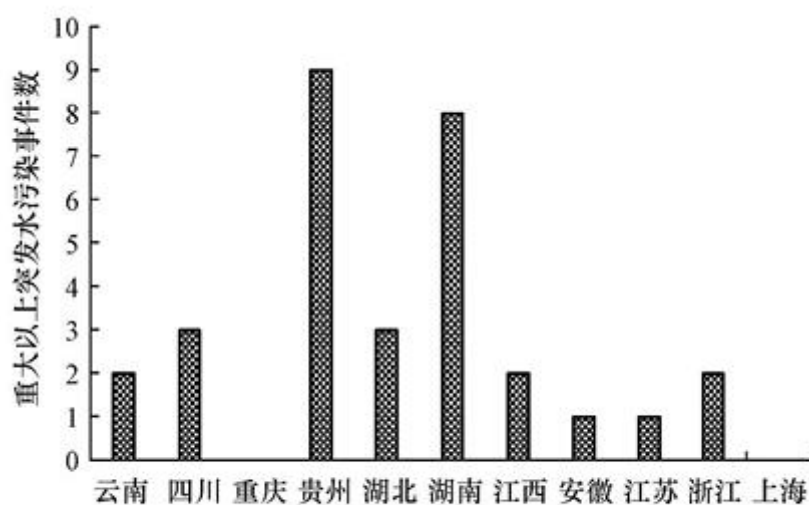


图8 2006—2015年各省重大以上突发水环境事件数统计

4 讨论 (Discussion)

4.1 水污染风险空间分布原因分析

从突发水污染风险空间分布来看,安徽省、江苏省、浙江省、上海市风险较高,这与李芳林等(2018)的研究成果基本一致.由于突发水污染风险主要受风险源强度及风险受体敏感性这两个因素影响,进一步分析可发现,安徽省、江苏省风险较高,主要是由于风险源场强较大且临近长江所致,存在布局风险(图2).上海市、浙江省风险较高,主要是由于风险源场强较大所致(图2),其中,上海市单位面积风险企业数约是平均值的9.5倍,浙江省约是平均值的4.0倍左右.从行业类型来看,上海市风险行业主要为化学原料和化学制品制造业、医药制造业、非金属矿制品业等,浙江省风险行业主要为纺织业、化学原料和化学制品制造业、医药制造业等,这些行业均为高风险行业,涉水环境风险物质使用、存储、转运量大,同时,取水量和排水量大,易由生产安全事故或非法排污等引发突发水污染事件.

4.2 长江经济带重大以上水污染事件与水污染风险对比

从2006—2015年发生的重大突发水污染事件来看,贵州、湖北、湖南、四川等省较多,重庆市、江苏省、上海市相对较少,与本文估算的网格平均风险值有所偏差,这主要是由于本文主要通过建立风险源和受体之间的空间关联客观评估可能发生的所有突发水污染风险,并未考虑各地环境风险防控与管理对风险的抑制和消减作用.对于管理因素抑制和消减作用,薛鹏丽等(2011)、肖瑶等(2018)、毕军等(2010)已有一些理论研究,环境风险系统应考虑风险源危害性、传输途径、风险受体脆弱性等3个方面,而受体脆弱性应包括暴露受体的敏感性和适应力两个因素,适应力主要包括人口密度、经济密度、事故预警、应急能力等指标,暴露受体敏感性越强,脆弱性就越大,而适应力越强,则脆弱性越低.然而,目前有关适应力因素的数据尚无法客观准确的量化到 $1\text{ km}\times 1\text{ km}$ 的空间网格.

从行政区域尺度看,上海市、江苏省等地单位面积突发水污染事件数较多,但重大突发水污染事件数较少,贵州、湖南等地单位面积突发水污染事件数较少,但重大突发水污染事件数较多,这可能与地区经济发展水平、科研能力、事故预警、应急能力有关.主要体现在:据中国统计年鉴显示(国家统计局,2018),2017年上海市、江苏省人均GDP分别为15.6万元、11.2万元,而湖南省、贵州省分别仅为5.3万元、3.7万元;上海市、江苏省的科学技术投入分别为389.90亿元>428.01亿元,湖南省、贵州省分别为91.42亿元、87.72亿元;上海市、江苏省公共安全投入分别为356.12亿元,717.07亿元;湖南省、贵州省分别为371.77亿元,268.09亿元.这些数据均说明无论是经济发展水平,还是科研技术、公共安全建设的投入,上海市和江苏省都远远高于湖南省和贵州省,使得上海和江苏省虽然具有较高的水污染事件发生风险,但是却鲜有重大水污染事件的发生.

需要指出的是,由于不确定性是风险的一个本质特征,上海、江苏等地高风险的分布特征仍可以从总体上反映区域的突发水污染风险水平,即具有较高的发生可能性,并在风险管控和应急措施失效的情况产生重大的后果,如江苏响水爆炸事故.

4.3 高风险热点区域风险类型分析

从2006—2015年调度的突发水污染事件空间分布来看(图9),与突发水污染风险空间分布基本一致,其中,长三角地区的水污染事故多为酸类物质、油类物质泄漏事故,这主要是由于长三角地区的主要风险行业为纺织业、化学原料和化学制品制造业、医药制造业;湖北、重庆地区多为酸类物质泄漏事故,这主要是由于其主要高风险行业为化学原料和化学制品制造业、金属加工业;湖南、江西地区多为重金属污染事故,这主要是由于湖南、江西省主要高风险行业为有色金属冶炼;四川省多为酸类物质、油类物质泄漏事故,这主要是由于四川省的高风险行业为纺织业、化学原料和化学制品制造业、金属加工等.

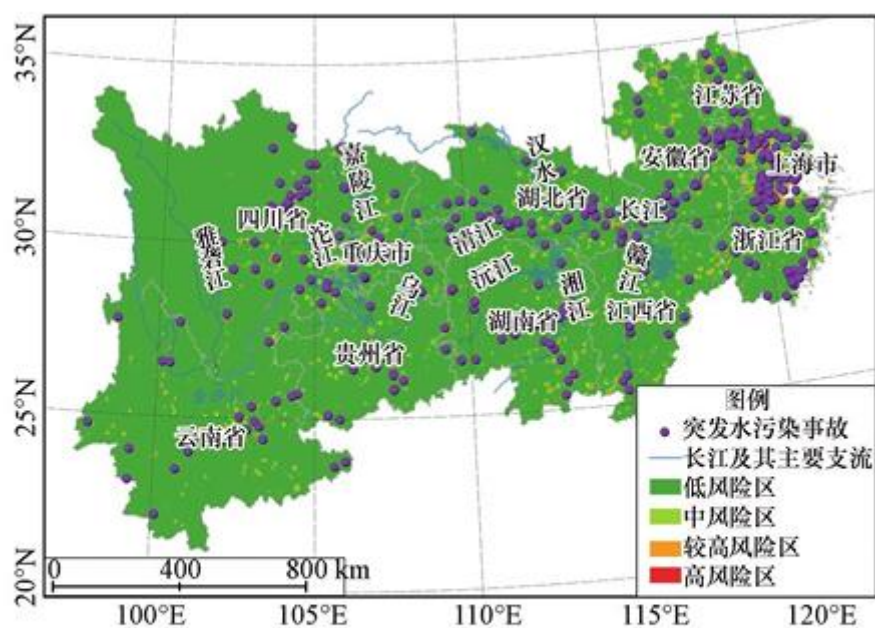


图9 2006—2015 年生态环境部调度的突发水污染事故空间分布

4.4 对水环境管理的意义

与之前研究相比,本研究考虑了水的流向问题,避免了以往研究中水环境风险影响范围过大的问题(刘仁志等,2015;贾倩等,2017);同时研究引入了DEM数据(数字高程模型),并考虑到水从高处往低处流,对水污染风险场强影响范围加以处理,提高了评估的精度.此外,本研究在水环境风险受体赋值的过程中,充分考虑了水环境风险受体级别及水质的影响,相对于以往的研究,提高了评估结果的精度(刘仁志等,2015;贾倩等,2017).本评估方法能够更好地帮助决策者辨别突发水污染风险热点区域,为环境风险管理提供参考,同时也可 为其他类似风险评估提供一个可行的解决思路.

4.5 不足与展望

本研究主要有3个方面的局限:①本研究为反映区域环境风险分布特征,主要基于风险源和受体两个因素(包括途径因素)进行评估分析,仅体现了风险源危害性和受体脆弱性空间耦合机制下的环境风险水平,未考虑控制机制对环境风险的抑制和消减;②由于数据缺失的原因,本研究仅仅评估了固定源的影响,并未考虑危化品运输(陆运、水运)的影响;③本研究着重关注对具有小概率、瞬发等特性的突发性环境风险的评估,利用Q值计算突发水污染风险场强,未考虑环境风险物质突发状况下的实际排放量,仅反映了环境风险物质存在的客观可能污染影响,后续研究中将通过引入发生概率、防控和应急能力等因子优化评估方法.

5 结论(Conclusions)

1) 长江经济带突发水污染高风险区面积为 3348.9 km², 占评估区总面积的 0.16%; 较高风险区 面积为 26030.7 km², 占比 1.27%; 中风险区面积为 97971.1 km², 占比 4.79%; 低风险区面积为 1916838.7 km², 占比 93.77%.

2)从各省网格风险平均值来看,上海市风险最高,其次为江苏省、浙江省、安徽省。

3)从沿长江干流两岸分布来看,高风险区面积沿长江上游至下游呈逐渐增加趋势,主要集中分布在重庆市中部、湖北省东部、安徽省东部、江苏省中西部、浙江省北部、上海市西部等地;从沿长江主要支流两岸分布来看,高风险区主要分布在嘉陵江南段、乌江南段、汉水东段、湘江北段、赣江北段等。

参考文献(References):

Cao G Z> Yang L> Liu L X> et al.2018.Environmental incidents in China: Lessons from 2006 to 2015 [J] . Science of the Total Environment, 633:1165-1172

Cao G Z> Cao Y, Wang J N> ef aZ.2019.Spatially resolved risk assessment of environmental incidents in China [J] . Journal of Cleaner Production? 219 (5) : 856-864

曹国志, 於方, 王金南, 等. 2018. 长江经济带突发环境事件风险防控 现状、问题与对策 LJ]. 中国环境管理, 10(1) : 81-85

Chen I C, Ng S, Wang G S, et al. 2013. Application of receptor-specific risk distribution in the arsenic contaminated land management [J]. Journal of Hazardous Materials,262 (8): 1080-1090

段学军, 邹辉, 王磊. 2015. 长江经济带建设与发展的体制机制探索 E . 地理科学进展, 34(11) : 1377-1387

Giubilato E, Zabeo A, Critto A, et aZ.2014. A risk-based methodology for ranking environmental chemical stressors at the regional scale [J]. Environment International? 65(2):41 -53

国家统计局. 2016. 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社

国家统计局. 2018. 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社

贺桂珍, 吕永龙. 2012. 风险地图—环境风险管理的有效新工具 E . 生态毒理学报, 7(1) : 1-9

Huang L, Wang W, Li F, et al.2011. A two-scale system to identify environmental risk of chemical industry clusters [J] . Journal of Hazardous Materials,186(1) :247-255

贾倩, 曹国志, 於方, 等. 2017 基于环境风险系统理论的长江流域突 发水污染事件风险评估研究 6 . 安全与环境工程, 24(4) :84-88

李芳林, 蒋昊. 2018. 长江经济带城市环境风险评价研究 E . 长江流域 资源与环境, 27 (5) :939-948

李凤英, 毕军, 曲常胜, 等-2010. 环境风险全过程评估与管理模式研究及应用 E . 中国环境科学, 30(6) :858-864

Liu R Z, Borthwick A G L, Lan D D, et al. 2013. Environmental risk mapping of accidental pollution and its zonal prevention in a city [j]. Process Safety & Environmental Protection, 91(5):397-404

-
- 刘仁志, 董蕾, 刘静, 等. 2015. 滨海地区突发性水污染事故风险评估 E . 应用基础与工程科学学报, 23 (S1) : 41Y9
- 陆大道. 2014. 建设经济带是经济发展布局的最佳选择—长江经济带 经济发展的巨大潜力.]. 地理科学, 34 (7): 769~772
- Meng X, Yan Z, Yu X, et al. 2014. Regional environmental risk assessment for the Nanjing Chemical Industry Park: an analysis based on information-diffusion theory D] . Stochastic Environmental Research & Risk Assessment, 28 (8): 2217~2233
- Pizzol L, Critto A, Agostini P, et al. 2011. Regional risk assessment for contaminated sites Part 2: Ranking of potentially contaminated sites[J] . Environment International, 37 (8): 1307~1320
- 生态环境部. 2018. 《企业突发环境事件风险分级方法(HJ941-2018)》 [S]. 北京: 生态环境部
- 生态环境部. 2018. 《行政区域突发环境事件风险评估推荐方法(环办 应急[2018] 9 号)》 [S]. 北京: 生态环境部
- 生态环境部. 2016. 中国环境统计年报[M]. 北京: 中国环境出版社
- 水利部. 2015. 《道等级划分办法(试行)》 [S]. 北京: 水利部
- 水利部. 2000. 《水利水电工程等级划分及洪水标准》(山丘、丘陵区 部分) (SDJ12-78)》 [S] 北京: 水利部
- 邢永健, 王旭, 可欣, 等. 2016. 基于风险场的区域突发性环境风险评价方法研究 E. 中国环境科学, 36 (4) : 1268~1274
- 肖瑶, 黄岁棟, 孔凡青, 等-2018. 基于水功能区控制单元的流域突发性水污染事件风险评价区划及其应用[JL 灾害学, 33 (3): 222 或 28
- 薛鹏丽, 曾维华. 2011. 上海市突发环境污染事故风险区划[J] . 中国环境科学, 31 (10) : 1743~1750
- 杨桂山, 徐昔保, 李平星. 2015. 长江经济带绿色生态廊道建设研究 E . 地理科学进展, 34 (11) : 1356~1367
- 周夏飞, 朱文泉, 马国霞, 等. 2016. 江西省赣州市稀土矿开采导致的 水土保持价值损失评估[J] . 自然资源学报, 31 (6) : 982~993