

长江经济带城市环境风险评价研究^{*1}

李芳林 蒋昊

(江苏大学财经学院, 江苏镇江 212013)

【摘要】:为开展长江经济带城市环境风险评价,在明确环境风险评价的涵义及内容基础上,结合长江经济带城市的生态、经济、社会特点,依据环境风险理论,提出了城市环境风险评价指标体系。选取长江经济带地级以上城市为研究对象,利用空间自相关和热点分析等空间统计方法,展现环境风险的空间分布规律及集聚特征。研究发现长江经济带风险源危险性和受体敏感性的分布存在空间集聚,受体恢复性不存在显著的空间集聚;长三角为城市环境风险热点区域,冷点主要分布在重庆、湖南一带。因此,长江经济带城市需深入实施主要污染物减排、强化区域环境协作、建立和完善专项的环境风险动态评价平台和加强重点生态功能区环境保护。

【关键词】:长江经济带;城市环境风险;环境风险评价;空间统计

【中图分类号】:X820.4 **【文献标识码】:**A **【文章编号】:**1004-8227(2018)05-0939-10

DOI:10.11870/cjlyzyyhj201805001

长江经济带是以长江流域为基础,以长江干、支流为纽带,以若干发达城市为核心而形成的宏观经济区^[1]。2014年国务院发布了《推动长江经济带发展的指导意见》,《意见》中指出,长江经济带的空间范围是贵州、四川、云南、重庆、湖南、湖北、江西、安徽、上海、江苏、浙江等11省市,行政区划面积约 $205\times 104\text{km}^2$,共126个地级及以上市(州)。随着人口的大规模集聚与城市经济的快速壮大,城市成为推动区域经济甚至全球经济发展的动力源^[2]。十三五规划中将长江经济带建设和京津冀翼、一带一路并列提出,要求推进长江经济带建设,可见长江经济带将迎来新的发展机遇。如何在新一轮经济发展中处理好环境保护和城市发展的关系,是当前亟需解决的关键问题。

环境风险是在自然灾害或人类活动的影响下,由风险源产生风险因子,通过各种介质的传播,对生态环境、人类健康和社会经济等造成损害的后果及其可能性的大小。由于环境风险事件发生的不确定性及产生损害的不确定性是环境风险的重要特征,因而环境风险亦可以表述为遭受环境损害的不确定性及环境事件危害后果的不确定性^[3],或突发性环境风险事故使得环境遭受环境损害的程度^[4]。综上所述,可将环境风险定义为由自然因素或人为因素造成的,以水、空气、土壤等为媒介,对人类健康、财产、生态环境安全造成威胁的不确定性和后果的危害性。城市环境风险,作为工业化与城市化的必然产物,其既具有风险的一般特征,又有作为城市风险的特殊特性,且具有明显区别于乡村的特征^[5]。

20世纪30年代,美国医疗卫生部门对尘肺病、接触性皮炎等职业病的医学资料进行披露,这是环境风险评价的最原始阶段。此时的环境风险研究主要为与职业病相关的健康风险评价,且多为定性研究^[6]。1975年美国核管理委员会发布了《核电厂概率风险评价指南》^[7],被国内外学者誉为环境风险评价史上的里程碑^[8]。20世纪90年代之前的研究主要以生态环境风险评价、

¹ 收稿日期:2017-07-05; 修回日期:2017-10-30

基金项目:国家自然科学基金项目(71503105, 71471077, 71201071);江苏省教育厅普通高校研究生科研创新计划项目(CXZZ12_0713)

作者简介:李芳林(1975~),女,副教授,主要从事区域可持续发展评价研究和环境统计研究。E-mail:lifanglin@ujs.edu.cn

人体健康风险评价为主，研究对象单一；从那之后，学者们开始尝试将生态风险评价、人类健康风险评价等结合起来对环境风险进行综合评价研究^[9~11]，并发展了区域风险评价方法^[12]。

在国内，20 世纪 80 年代才正式启动对环境风险评价相关的研究工作^[13, 14]，前期的研究工作以引入国外环境风险评价的理论和应用国外环境风险评价研究成果为主^[15]。胡二邦等^[16] (1992) 利用拉格朗日烟团模式对秦山核电站事故后果进行实时的应急评价，是国内首个开展环境风险评价研究的案例。2000 年以后逐步开展省域环境风险评价、人体健康风险评价、环境风险事故评价、区域环境风险评价和生态安全评价等^[17~22]。

综上所述，国内外学者对环境风险评价进行了大量的探索，并产生了积极的作用与影响，但研究的热点主要分布在毒理风险评价、人体健康风险评价、生态环境风险评价等方面，在经济带层面对城市环境风险进行综合评价的研究较少；对风险因子或污染物的选取主要以化学因子为主，较少结合社会经济发展状况和环境风险现状考虑经济密度、人口密度等非化学因子；传统的环境风险评价主要集中在风险不确定性、危险物质迁移、扩散和对环境、生物作用机理的研究，较少涉及利用空间统计相关方法分析环境风险的空间关联特征及空间分布特征。

本文开展长江经济带城市环境风险评价，将有利于掌握区域内城市环境风险状况，提高人们对环境风险的认识和警惕，为在新一轮经济发展中协调好产业布局、保护长江流域的资源环境、综合治理区域环境污染和生态补偿等提供相关依据和决策支持，对建立生态环境协同治理机制具有一定的推动作用。

1 研究方法

本文在设计长江经济带城市环境风险评价指标体系的基础上，应用熵值法确定指标权重，加权计算出风险源危险性、受体敏感性、受体危险性和环境风险综合指数；通过建立空间数据分析模型，从全局自相关、聚类 and 异常值分析、热点分析 3 个方面系统分析环境风险分布特征，揭示长江经济带城市环境风险的空间格局。

1.1 长江经济带城市环境风险评价指标体系构建

长江经济带城市环境风险评价指标体系是依据风险发生的过程，从风险源和受体两个方面构建的。风险源是产生环境风险的源头，风险源的存在是环境风险事故产生的必要条件；受体即环境风险的最终承担者，包括人类、动植物、社会经济、生态环境等。风险源产生环境风险因子，初级控制机制失效时，经过介质的传播、运输，对人类、社会经济、生态环境等风险受体，造成健康损害、经济财产损失、环境破坏等。城市环境风险水平取决于风险源数量、受体价值以及人类社会的防范能力、管理水平、应急救援能力等综合因素。进一步可表述为风险源的危险性和受体的脆弱性，受体脆弱性又从受体的敏感性和受体的恢复性两大方面来考虑。按照系统性、现实性、稳定性、差异性原则选取代表性指标构建长江经济带环境风险评价的指标体系(表 1)。

表 1 长江经济带城市环境风险评价指标体系

目标层	准则层	权重 (%)	指标层	计量单位	权重 (%)
	风险源危险性	58.14	废水污染负荷	kg/km ²	32.42
			废气污染负荷	kg/km ²	30.18
			固体废弃物综合利用率	%	37.40
			人口密度	人/km ²	24.94

长江经济带城市环境风险受体脆弱性	受体敏感性	32.78	经济密度	万元/km ²	59.19
			人均农作物播种面积	hm ² /人	15.87
			每万人在校学生数	人/万人	46.27
	受体恢复性	9.08	每万人医疗卫生机构床位数	张/万人	26.40
			节能环保支出比重	%	27.33

风险源危险性从污染物排放方面进行考虑。污染物排放量的大量增加会导致人居环境变差、生态环境恶化，某些有毒有害物质的长期富集可能会引起累积型环境风险事故的发生；同时，污染物大量排放导致环境容量的消耗，也将降低城市对环境污染物的净化能力。因此风险源危险性从废水、废气、固体废弃物 3 个方面，分别选用了工业废水污染负荷、工业二氧化硫污染负荷、固体废弃物综合利用率这 3 个指标，分别表征水体、大气和固体废弃物的累积性环境污染风险问题，同时固体废弃物利用表明城市对固体危险源的控制程度。

受体脆弱性是受体敏感性和受体恢复性相互影响和制约的结果，受体的敏感性越强，脆弱性越强，所遭受环境风险危害的可能性越大，而受体恢复性越强，脆弱性相对越小，遭受环境风险损害的可能性越小。

受体脆弱性从社会经济系统、生态环境系统和人群系统的敏感性和恢复性考虑，选择经济密度、人均农作物播种面积和人口密度来表征受体的敏感性，选择每万人在校大学生人数、每万人床位数、财政预算支出中节能环保支出比重来表征受体的恢复性。人口密度反映了暴露在环境风险中的人口数量，经济密度反映了社会经济发展水平和受到环境损害时的脆弱程度，人均农作物播种面积用来反映生态系统在环境风险中的暴露程度，当发生环境损害时，经济密度、人均农作物播种面积、人口密度越大，表示受体的敏感性越强，受体风险损害的越大；若当每万人在校大学生人数越多、每万人医疗卫生机构床位数越多、节能环保支出占比越大，公民的环境风险意识越强，医疗卫生机构的应急救援能力越强，人类、社会经济、自然环境等系统的恢复力就越强，面对环境事件损害的恢复力越强，脆弱性就越弱。

1.2 指标权重确定方法——熵值法

信息论告诉我们，信息是系统有序程度的度量，而熵则是度量系统无序程度的指标。因此，可用熵来度量系统所能给决策者提供的信息多少，熵的大小可以利用熵值法公式进行计算。熵值法会根据各指标属性值的无序程度，计算出各指标的熵权，再利用熵权对各指标的权重进行修正，从而得到最终结果。熵值法可以得到不受人为因素干扰的指标权重，计算结果较为客观，故本文采用熵值法来确定环境风险指标体系目标层、准则层和指标层 3 个层面的权重。由于方法使用较为广泛，具体计算公式可参考朱军等^[23]。应用 MatlabR2011b 软件计算熵值法权重的结果详见表 1。

1.3 空间自相关

空间自相关是探测研究区域内部各空间单位与相邻空间单位相关程度的统计方法，本文将应用该方法研究城市环境风险空间分布模式。

(1) 全局空间自相关

全局空间自相关可反映研究区域的空间自相关程度，从而判断研究区域该属性在整体空间分布是集聚、分散或随机分布状态，但不能指出具体的集聚区域的具体位置。全局自相关统计量有多种，本文应用的是 Global Moran's I，具体计算公式如下：

$$I = \frac{n}{S_0} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{i,j} z_i z_j}{\sum_{i=1}^n z_i^2} \quad (1)$$

式中: z_i 是要素 i 的属性值与平均值的偏差即 $z_i = x_i - \bar{X}$, $w_{i,j}$ 是要素 i 和 j 之间的空间权重; n 等于空间单元的总数, 在本文中是城市总数, S_0 是空间权重的聚合:

$$S_0 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{i,j} \quad (2)$$

在某个给定的显著性条件下, 当 Moran' s I 指数为正且显著时, 表示观测值之间在该显著性水平下存在正相关, 具体表现为高值与高值集聚在一起, 低值与低值集聚; 当 Moran' s I 指数为负且显著时, 表明观测值之间有显著的负相关性, 高值倾向于和低值集聚, 高低错落, 呈现分散的空间格局; 当 Moran' s I 指数逐渐接近期望值时, 表明不存在空间自相关。

(2)局部空间自相关

若局部空间单元存在高值与高值的集聚或者低值与低值的集聚, 或者在研究区内部存在异常值点时, 就需要利用局部自相关分析来了解研究区内部的属性值空间分布模式。本文应用的是热点分析, 利用 Getis-ordGi*指数判断要素的空间集聚与分散现象, 计算公式如下:

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n w_{i,j} x_j - \bar{X} \sum_{j=1}^n w_{i,j}}{S \sqrt{\frac{n \sum_{j=1}^n w_{i,j}^2 - \left(\sum_{j=1}^n w_{i,j} \right)^2}{n-1}}} \quad (3)$$

式中: x_j 是要素 j 的属性值, $w_{i,j}$ 是要素 i 和 j 之间的空间权重, n 为空间单元总和, S 为标准差。

当某地区的 Getis-ordGi*指数为正, 且相应的 P 值小于对应显著性水平时, 则该区域为高风险集聚区域, 即热点区; 当 Getis-ordGi*指数为负并且 P 值小于显著性水平时, 则该区域为低值集聚区, 即冷点区。

2 数据来源及处理

2.1 数据来源

研究样本为江苏、浙江、安徽、江西、湖北、湖南、贵州、上海和重庆七省两市共计 93 个城市, 研究区域示意图见图 1(限

于四川和云南两省城市的大部分数据无法获得,故实证分析未能包括四川和云南)。本文的主要数据来源为《2015 中国城市统计年鉴》、各省市《2015 统计年鉴》、《各城市 2015 统计年鉴》等;计算分析时应用的是 ArcGIS10.4.1。



图 1 研究区域示意图
Fig. 1 Sketch map of the study area

2.2 数据预处理

在长江经济带城市环境风险综合评价指标体系中,一些为极大型指标,如废水污染负荷、废气污染负荷、人口密度、经济密度、人均农作物播种面积,其指标数值越大,表示受体的敏感性越强,环境风险就越大。另外一些为极小型指标,如固体废弃物综合利用率、每万人在校大学生、每万人医疗卫生机构床位数、节能环保支出比重,其指标数值越大,表示的含义为受体恢复力越强,环境风险就越小。针对不同效应的指标应分别进行量化处理,则最终计算得到的综合评价值数值越大,表明环境风险水平越高。

为使指标正向化并消除指标量纲的差异,本文采用极差标准化的方法对原始数据进行处理。对极大型指标的处理公式为:

$$X_i = \frac{X_i - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \tag{4}$$

对极小型指标的处理公式为:

$$X_i = \frac{X_{\max} - X_i}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (5)$$

在式(4)和式(5)中， X_i 为第 i 个指标的实际值； $X_{\min}$ 为该指标的最小值； $X_{\max}$ 为该指标的最大值。

3 结果分析

3.1 子系统计算结果分析

为清晰的展现长江经济带各个城市风险源危险性、受体敏感性、受体危险性 3 个子系统的综合指数的计算结果，分别制作专题地图(图 2~图 4)。环境风险计算作图时利用自然间断点法按风险值对地区进行分类。依风险值大小，将各类地区分为四类，分别为高风险区域、中风险区域、低风险区域和无风险地区，颜色越深，表示该地区风险值越大。

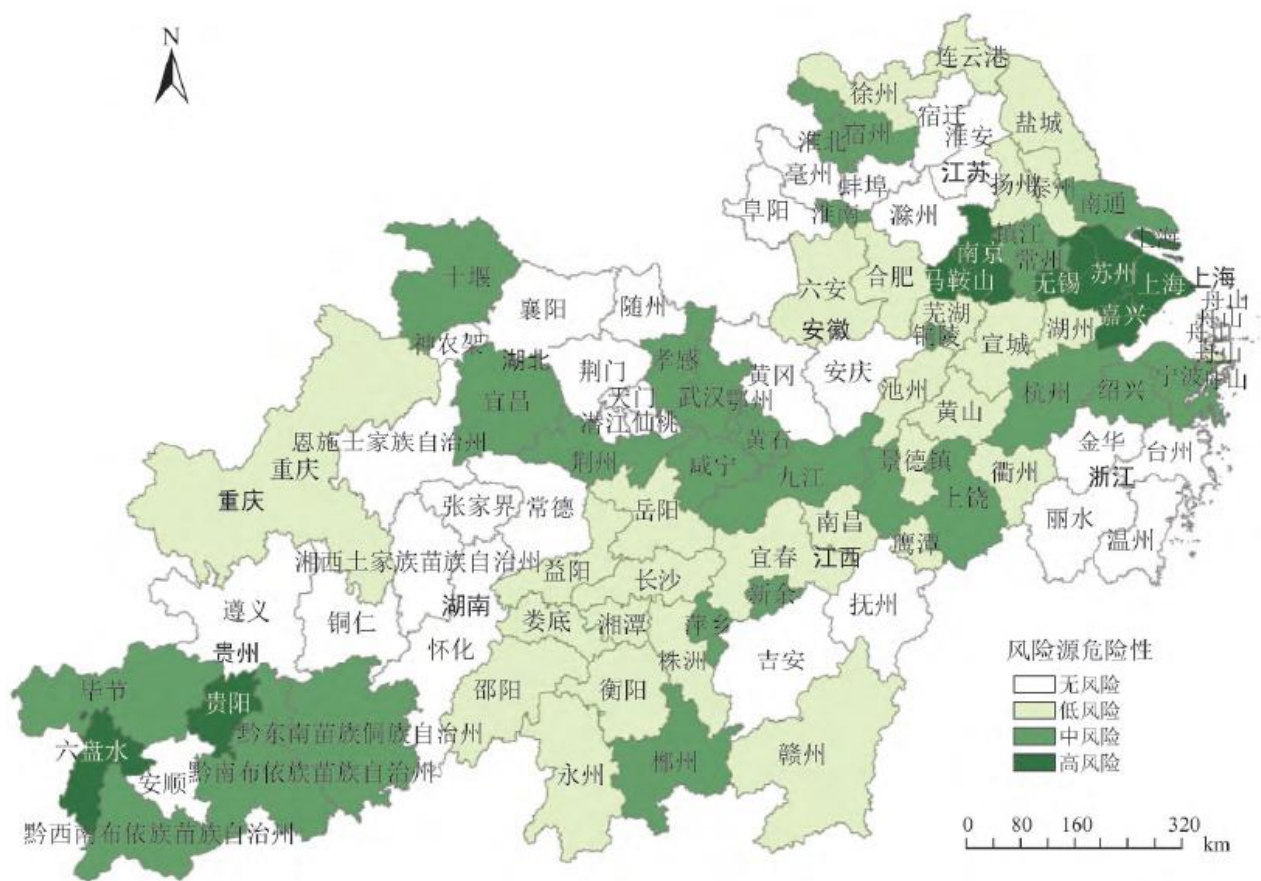


图 2 风险源危险性专题地图

Fig. 2 Thematic map of hazard of risk source

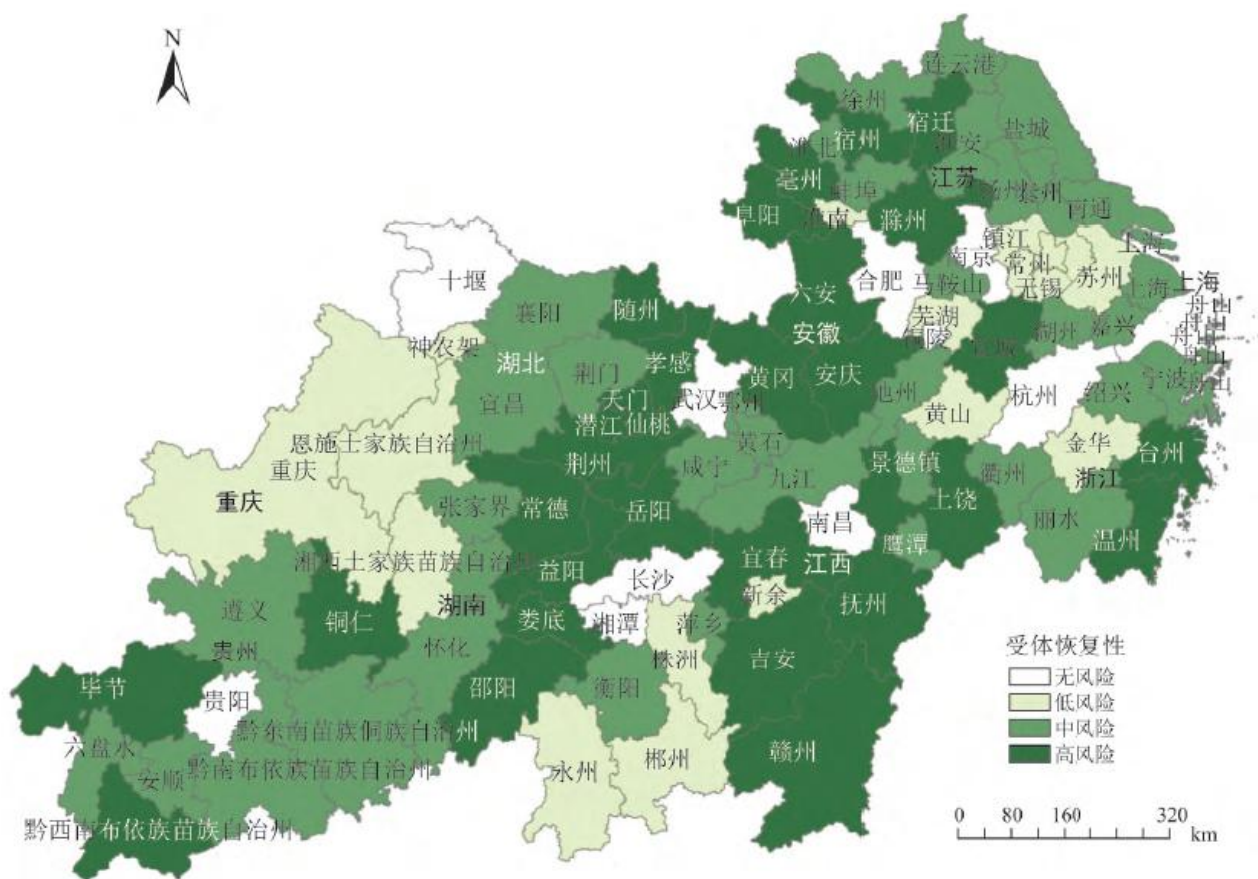


图 4 受体恢复性专题地图
Fig. 4 Thematic map of receptor recovery

由图 2 可知，风险源无风险及低风险区域最大，占研究区域面积的 2/3，主要分布在苏北、浙西南、皖、渝、湘、贵州东北部、赣南和湖北中部地区，这两类城市大多属于相应省份经济次发达地区，其中有很多因旅游知名的城市，生态环境相对较好。风险源高风险和中风险城市主要有贵州、长三角，以及湖北南部、江西北部等中部城市，贵州、湖北南部以及上饶。总体上看，风险源危险性存在连片分布的空间格局，可能存在空间自相关。

从图 3 来看，大部分地区属于无风险区域和低风险区域，占研究区域面积的 87.5%。长三角及中部地区各省会城市为中高风险区域，表明大部分地区的受体敏感性较低，具体是因为这部分城市的人口密度、经济密度显著高于其他城市。总之，受体敏感性也存在集中连片的情况，可能存在空间自相关。

图 4 中，位于中高风险区域的城市较多，面积占研究区域的 71.7%，且这类城市经济发展水平弱于低风险区域。位于无风险区域的城市主要为省会城市，主要因为省会城市高校及医疗机构众多，教育水平及医疗卫生水平明显高于其他地区，但其仅占研究区域面积的 8.67%。

3.2 环境风险综合指数分析

长江经济带各城市的环境风险综合指数计算结果如图 5 所示。图 5 中无风险区域占研究区域面积 53.16%，低风险占 34.37%，中风险占 8.83%，高风险占 3.64%。环境风险呈现连片分布的空间格局，可能存在一定的空间自相关。

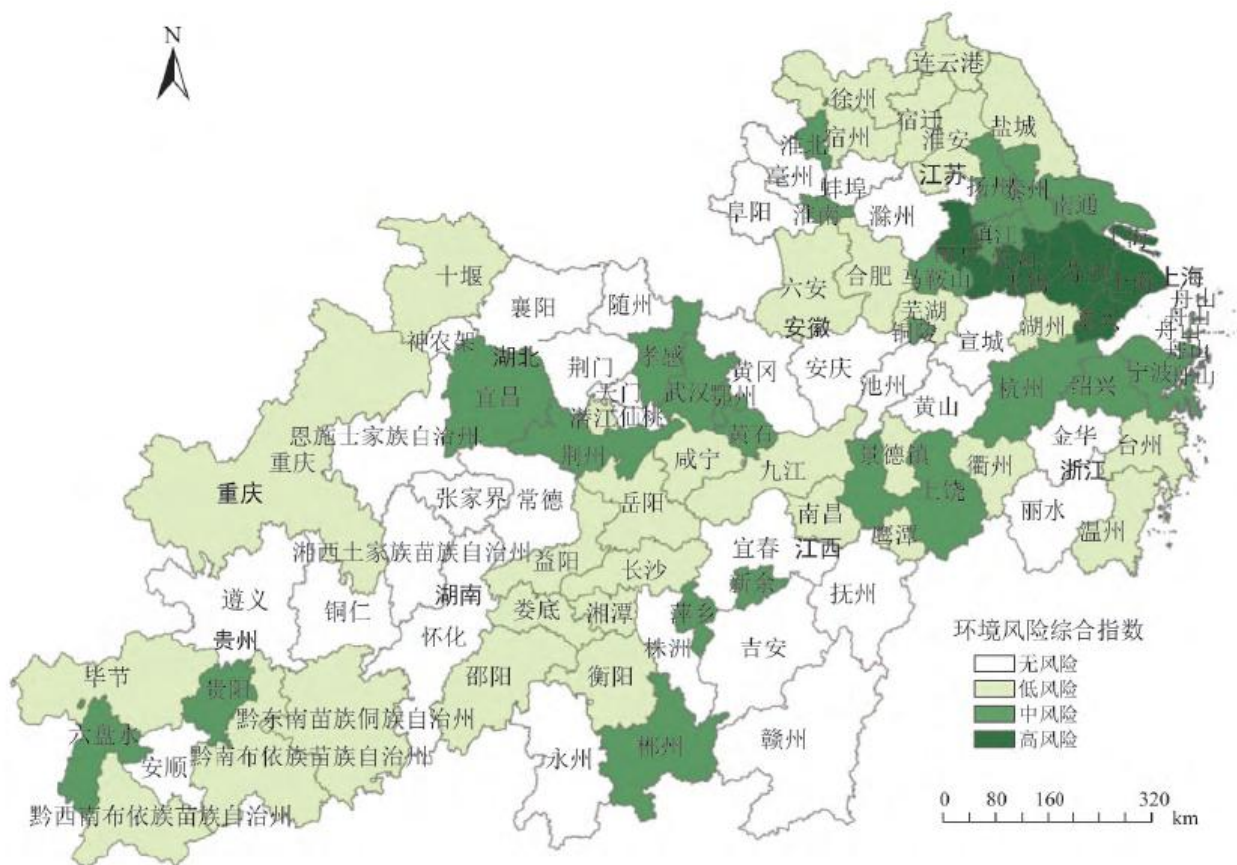


图 5 环境风险综合指数

Fig. 5 Comprehensive index of environmental risk

3.3 长江经济带城市环境风险的空间格局分析

对长江经济带城市环境风险的空间格局分析，可以揭示环境风险的集聚特征。

3.3.1 环境风险分布的全局空间自相关结果分析

计算 Global Moran' s I 指数，其结果见表 2。表 2 显示风险源危险性、受体敏感性两项二级指标的 Moran' s I 指数都大于预期指数，并且 P 值显著、Z 得分为正值，表明风险源危险性和受体敏感性在长江经济带存在正的空间自相关，即该区域内风险源危险性和受体敏感性存在高值或低值集聚现象，而不是发散的分布模式。

表 2 长江经济带城市环境风险 Moran' s I 指数计算结果

指标	Moran' s I	预期指数	方差	Z 得分	P 值
风险源危险性	0.136 569	-0.010 870	0.003 986	2.335 394	0.019 523 **

受体敏感性	0.466 207	-0.010 870	0.003 881	7.658 061	0.000 000 ***
受体恢复性	0.008 133	-0.010 870	0.003 901	0.340 429	0.760 953
环境风险综合指数	0.336 676	-0.010 870	0.003 917	5.552 843	0.000 000***

注：“***”表示在 0. 01 的水平下通过显著性检验，“**”表示在 0. 05 的水平下通过显著性检验.

受体恢复性的 P 值显示，该项指标在研究区域可能是随机分布的。但是在图 4 中，可以明显的看到省会城市受体恢复性大都为低风险，并且被受体恢复性高风险包围，存在负相关。而这里检验得到的 P 值未通过显著性检验，表明从图 4 观察到的负相关可能只是局部现象，从研究区域整体上来看，受体恢复性不存在显著的空间自相关，而是随机分布模式。

环境风险综合指数对应的 Z 值为正，且通过显著性检验，表明研究区域整体的环境风险存在正相关，有明显的空间集聚(高值集聚或低值集聚)。结合上文对图 5 专题地图的分析，发现环境风险高值主要集中在长江中游城市群和长三角城市群，这两个城市群的经济水平明显高于研究区域其他城市。环境风险低值主要分布在经济水平较低的地区，环境风险的空间分布可能与经济发展水平有较强的相关性。

因为研究区域相同，且输入字段具有可比性，可对 Z 值进行比较。进一步观察各二级指标的 Z 值，Z 值排序为受体敏感性>风险源危险性>受体恢复性，说明受体敏感性的空间相关性最大，在空间上聚集分布的现象最明显；受体恢复性的空间分布相关性最小，在空间上聚集分布的现象相对最弱。

3.3.2 环境风险分布的热点区域探测

通过热点分析探测长江经济带城市环境风险的高值和低值集聚区域，计算结果如图 6 所示。

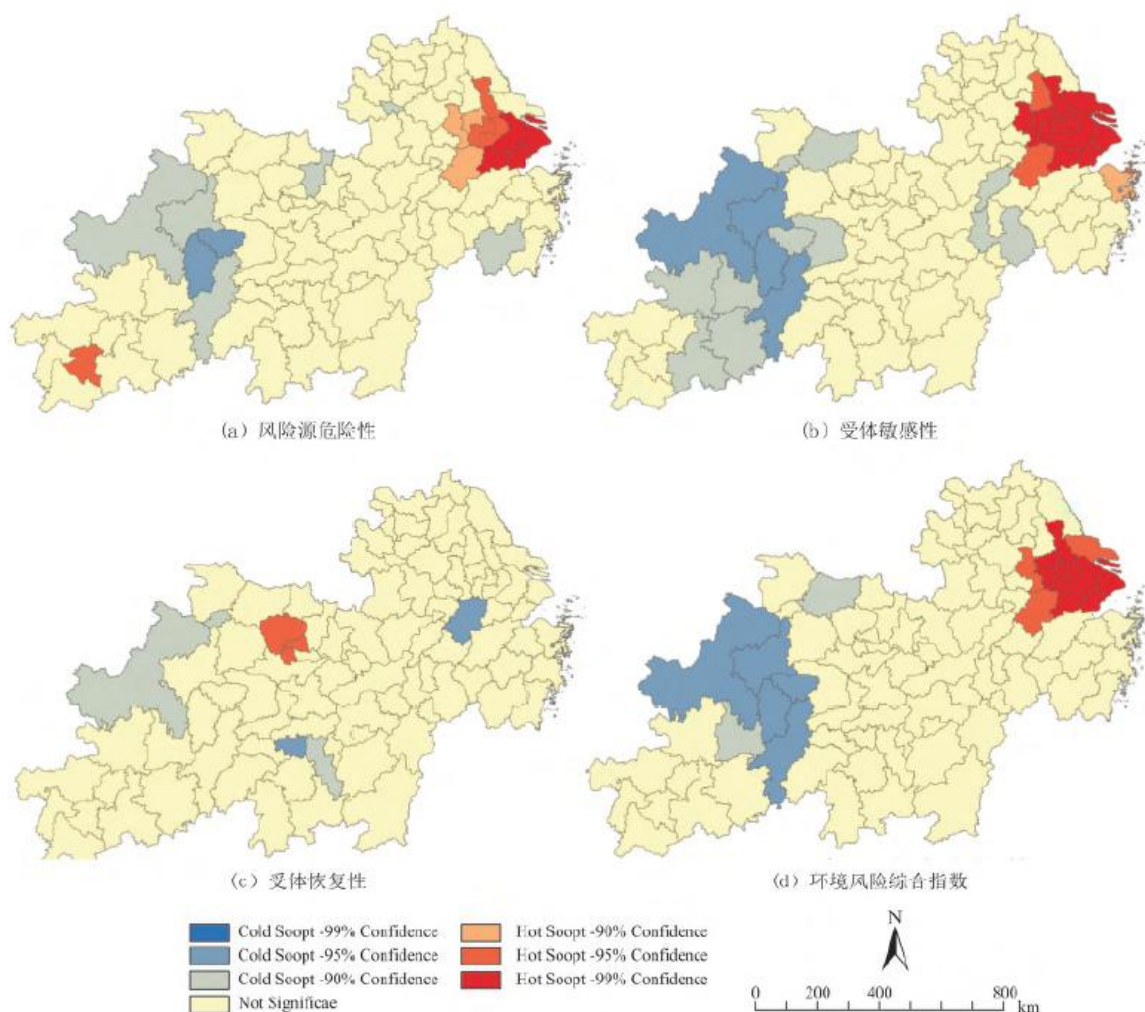


图 6 长江经济带城市环境风险数热点分布图

Fig. 6 Hot spots distribution of urban environmental risk in the Yangtze River Economic Belt

图 6 中，红色系颜色由深至浅依次表示在 0.01、0.05、0.1 水平上高值集聚显著的区域，即热点；蓝色系颜色由深至浅依次表示在 0.01、0.05、0.1 水平上低值集聚显著的区域，即冷点。

观察图 6(a) 和图 6(b) 分别为风险源危险性、和受体敏感性的热点分析结果，可以发现风险源危险性与受体敏感性的热点分析图很相似，高值集聚区和低值集聚区域的分布类似：高值主要集中分布在长三角地区，低值主要集中分布在长江上游地区。但受体敏感性高值显著集聚的区域大于风险源危险性，低值集聚显著的区域也大于风险源危险性，说明受体敏感性的集聚要大于风险源危险性。图 6(c) 显示受体恢复性显著集聚的区域较少，大部分区域为无集聚显著性。图 6(d) 表明城市环境风险的高值集聚在长江三角洲城市群，城市环境风险的低值集聚主要在重庆、湖南西部及贵州、湖北个别城市。这说明长江三角洲城市群为高风险的集聚区域，区域内环境风险均较高，长江三角洲城市群也是研究区域中经济水平最高的区域；重庆、湖南西部及贵州、湖北个别城市为低风险集聚区域，区域内环境风险水平均较低，且这一区域经济水平相对较低。由上面的分析，发现存在环境风险和经济发展水平存在较强的相关性。这里的分析结论也印证了 3.3.1 的猜测。

4 结论与建议

4.1 主要结论

文章采用熵值法、空间统计方法等方法，依据环境风险系统理论，从风险源危险性、受体敏感性、受体恢复性 3 个方面构建长江经济带城市环境风险评价指标体系，分析了长江经济带 93 个城市环境风险的空间格局。本研究的主要结论如下：

(1) 全局空间自相关方面。风险源危险性、受体敏感性在长江经济带存在高值或低值集聚现象；受体恢复性在研究区整体上不存在显著的空间相关性；环境风险综合指数在研究区域整体存在正相关，有明显的空间集聚。进一步观察各二级指标的 Z 值，受体敏感性的空间相关性最大，在空间上聚集分布的现象最明显；受体恢复性的空间分布相关性最小，在空间上聚集分布的现象相对最弱。

(2) 风险源危险性方面。无风险及低风险区域面积最大，约占研究区面积的 2/3，分布面积广；中风险及高风险区域主要分布在贵州、湖北、江西以及长三角地区，这类地区废水、废气排放强度较高或废弃物利用率较低。风险源危险性存在正的空间自相关，且相应 P 值通过显著性检验，表明风险源危险性的空间分布存在高值集聚或低值集聚现象，而不是发散的分布模式。风险源危险性的热点图表明长三角为热点集中区域，重庆、湖南等地部分地区为风险源危险性冷点集中区域。

(3) 受体敏感性方面。无风险和低风险区域所占面积大，达到研究区面积的 87.5%，长三角及中上游省会城市均属于中、高风险区。受体敏感性存在正的空间自相关，且相应 P 值通过显著性检验，表明受体敏感性存在高值集聚或低值集聚现象，而不是发散分布模式。受体敏感性热点图表明，长三角为受体敏感性热点区域，冷点区域主要集中在重庆、贵州东部、湖南西部。

(5) 受体恢复性方面。中风险和高风险区城市较多，占研究区面积 71.7%，无风险、低风险区域主要以省会城市及省会城市周边邻近地区为主，这两类地区占研究区面积的 28.3%。受体恢复性自相关检验显示，该项指标在研究区域层面的相关性不显著，属于随机分布模式。受体恢复性热点分析显示，热点和冷点的数量较少，大部分地区不存在显著集聚，热点为湖北的荆门、天门、潜江，冷点为宣城、湘潭、株洲、重庆。

(5) 环境风险综合指数方面。无风险区占研究区面积 41.4%，低风险占 38.5%，中风险占 17.14%，高风险占 2.92%。经相关性检验，研究区环境风险综合指数存在明显的空间集聚。环境风险的热点分析表明，长三角为环境风险热点区域，高值集聚在长江下游地区，冷点主要分布在重庆、湖南西部及贵州铜仁、湖北襄阳，环境风险的低值主要集聚在重庆、湖南一带。

4.2 对策建议

(1) 深入实施主要污染物减排

长三角等风险源危险性热点区域，应当进一步加大产业结构调整力度，对高污染、高能耗的传统企业进行升级改造，减少污染排放、提高资源使用效率；健全环境与经济相结合的决策方式，在城市环境资源容量内，合理的发展战略性新兴产业、高新技术产业以及服务业。对资源消耗大、污染排放严重的企业加快节能环保改造，重点关注化工、印染、造纸等传统产业，强化对这类企业的监督、审核。根据环境风险区划结果和环境资源容量，划分为不同的管理区域，制定具有针对性的发展规划和环境管理方案。

(2) 强化区域环境协作

在国内广泛开展生态文明建设各层面、各领域的交流、合作，重点学习先进地区产业结构转型升级、节能减排、生态保护等领域的经验和措施，建设环保科技交流机制，实现优质资源的共享，提高合作水平和效益。抓住长江经济带新一轮发展的重要机遇，加快长江经济带产业结构升级、节能减排、区域污染联动治理的合作，建立长江经济带生态文明联动发展机制，推进水污染、大气污染的联防联控。

(3) 建立和完善专项的环境风险动态评价平台

建立长江经济带环境风险动态评价平台,实现环境风险评价的常态化,有效提高长江经济带应对环境风险事件的应急能力,减轻造成的损失。通过该平台使得公众能够及时了解长江经济带环境风险动态,并普及相关风险知识;使得风险研究人员、政策制定者能够快速了解区域环境风险动态,从而为决策提供实时的数据支持。

(4) 建立统一协调的应急救援物资储备中心

在环境风险事故发生后,完善的应急救援资源对环境事件的有效处置尤为重要,应急物资的供应是最突出的问题,因此建立长江经济带统一协调调度的应急救援物资储备中心尤为重要。长江经济带应急储备中心的选取应围绕黔中和滇中城市群、长江中游城市群、长江三角洲城市群、成渝城市群,建立具有一定辐射半径的综合性应急救援储备中心,提高应急救援能力,为经济社会发展提供有力保障。

(5) 加强重点生态功能区环境保护和管理

长江经济带分布有多个国家重点生态功能区,其中大部分位于环境风险综合指数低风险区和无风险区。国家重点生态功能区是具有保护水土、维持物种多样性、涵养水源等多种生态功能的区域,对区域生态安全具有重要意义,需要在经济开发中限制较高强度的城市化、工业化开发,以保证生态功能区发挥良好的生态效益。

参考文献:

[1] 杨炯,丘志力,彭淑贞,等. 新长江经济带的建立及其对中国珠宝产业发展格局的影响分析[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2014, 53(6): 127—134.

YANG J, QIU Z L, PENG S Z, et al. The establishment of new yangtze river economy belt and its impacts on the development pattern of China's jewelry industry [J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 2014, 53(6): 127—134.

[2] 杨彤,王能民. 环境保护与城市竞争力关系研究综述[J]. 青岛科技大学学报(社会科学版), 2008(6): 22—26.

YANG T, WANG N M. Literature review and some issues on the relationship between environment protection and urban competitiveness [J]. Journal of Qingdao University of Science and Technology(Social Sciences), 2014, 53(6): 127—134.

[3] 毛小苓,刘阳生. 国内外环境风险评价研究进展[J]. 应用基础与工程学学报, 2003, 11(3): 266—273.

MAO X L, LIU Y S. Current progress of environmental risk assessment research [J]. Journal of Basic Science and Engineering, 2003, 11(3): 266—273.

[4] 杜锁军. 国内外环境风险评价研究进展[J]. 环境科学与管理, 2006, 31(5): 193—194.

DU S J. Advances in environmental risk assessment [J]. Environmental Science and Management, 2006, 31(5):

193—194.

[5] 何雨. 化解城市环境风险亟需有法可依、执法从严 [J]. 上海城市管理, 2017(4) : 25—29.

HE Y. Dissolving city environment risks asks for rules in place and rigid law Enforcement [J]. Shanghai Urban Management, 2017(4) : 25—29.

[6] 杨彦, 陆晓松, 李定龙. 我国环境健康风险评估研究进展 [J]. 环境与健康杂志, 2014, 31(4) : 357—363.

YANG Y, LU X S, LI L. Research progress of environmental health risk assessment in China [J]. J Environ Health, 2014, 31(4) : 357—363.

[7] KASSAWARA R. Seismic probabilistic risk assessment implementation guide [R]. Electric Power Research Institute, 2003.

[8] 李金惠, 李颖. 环境风险评估内涵与外延研究 [J]. 安全与环境学报, 2012, 12(1) : 119—125.

LI J H, LI Y. Exploration of the denotation and connotation of the environmental risk assessment [J]. Journal of Safety and Environment, 2012, 12(1) : 119—125.

[9] 陈海滨. 基于人体健康风险评估的污染场地管理与修复研究 [D]. 兰州大学, 2009.

CHEN H B. Research on the contaminated sites management and remediation based on the human health risk assessment [D]. Lanzhou University, 2009.

[10] 闫志明, 王颖, 李博, 等. 污染场地健康和生态风险综合评价 [J]. 环境科学与技术, 2014, 37(120) : 555—559.

YAN Z M, WANG Y, LI B, et al. Health and ecological risk integrated assessment of contaminated site [J]. Environmental Science & Technology, 2014, 37(120) : 555—559.

[11] GBD 2013 Risk Factors Collaborators, Forouzanfar M. H. , Alexander, L. Global, regional, and national comparative risk assessment of 79 behavioural, environmental and occupational, and metabolic risks or clusters of risks in 188 countries, 1990—2013: A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2013 [J]. Lancet 2016, 388, 1659—1724.

[12] Ronco P, Gallina V, Torresan S, et al. The KULTURisk regional risk assessment methodology for water-related natural hazards—Part 1: physical-environmental assessment [J]. Hydrology Earth System Sciences, 2014, 18(12) : 5399—5414.

[13] 李谢辉, 李景宜. 我国生态风险评估研究 [J]. 干旱区资源与环境, 2008, 22(3) : 70—74.

LI X H, LI J Y. Study on ecological risk assessment in China [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment,

2008, 22(3) : 70—74.

[14] 贾莉. GIS 技术在我国内环境风险评价中的应用研究 [J]. 环境科学与管理, 2016, 41(6) : 175—178.

JIA L. Application of GIS technology in domestic environment risk assessment [J]. Environmental Science and Management, 2016, 41(6) : 175—178.

[15] 林玉锁. 国外环境风险评价的现状与趋势 [J]. 环境科学动态, 1993, 1(10) : 8—10.

LIN Y. The current situation and trend of foreign environmental risk assessment [J]. Environmental Science Trends, 1993, 1(10) : 8—10.

[16] 胡二邦. 环境风险评价实用技术、方法和案例 [M]. 北京:中国环境科学出版社, 2009: 2—4.

HU E B. Practical techniques, methods and cases of environmental risk assessment [M]. Peking: China Environmental Science Press, 2009: 2—4.

[17] 曲常胜, 毕军, 黄蕾, 等. 我国区域环境风险动态综合评价研究 [J]. 北京大学学报(自然科学版), 2010, 46(03) : 477—482.

QU C S, BI J, HUANG L, et al. Dynamic comprehensive evaluation on regional environmental risk[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2010, 46(03) : 477—482.

[18] 孙才志, 朱静. 下辽河平原浅层地下水环境风险评价及空间关联特征 [J]. 地理科学进展, 2014, 33(2) : 270—279.

SUN C Z, ZHU J. Environmental risk evaluation of shallow groundwater and its spatial auto-correlation in lower reach of Liaohe River Plain [J]. Progress in Geography, 2014, 33(2) :270—279.

[19] 艾娇燕, 蔡亚娟, 邓超冰, 等. 流域环境风险评价研究 [J]. 环境监测管理与技术, 2015, 27(4) : 8—12.

AI J Y, CAI Y J, DENG C B, et al. Research progress of environmental risk assessment in river basin [J]. The Administration and Technique of Environmental Monitoring, 2015, 27 (4) :8—12.

[20] 谢蓉蓉, 逢勇, 蒋彩萍, 等. 基于风险源体-受体-响应系统的控制单元水环境综合风险评价 [J]. 地理研究, 2016, 35(12) : 2363—2372.

XIE R R, JIANG Y, JIANG C P, et al. The water environmental risk evaluation of watershed control units based on the risk source-acceptor-response framework [J]. Geographical Research, 2016, 35(12) : 2363—2372.

[21] 于淑会, 周向莉, 卿冀川, 等. 河北滨海盐碱土地生态安全评价 [J]. 中国生态农业学报. 2017, 25(5) : 778—786.

YU S H, ZHOU X L, QING J C, et al. Evaluation of ecological security of coastal saline land in Hebei [J]. Chinese Journal of Eco-agriculture, 2017, 25(5) : 778—786.

[22] 孙琦, 白中科, 曹银贵. 基于生态风险评价的采煤矿区土地损毁与复垦过程分析 [J]. 中国生态农业学报, 2017, 25(6) : 795—804.

SUN Q, BAI Z K, CAO Y G. Process analysis of land destruction and reclamation in coal mining areas using ecological risk assessment [J]. Chinese Journal of Eco-agriculture, 2017, 25(6) : 795—804.

[23] 朱军, 李益敏, 余艳红. 基于 GIS 的高原湖泊流域生态安全格局构建及优化研究——以星云湖流域为例 [J]. 长江流域资源与环境, 2017, 26(08) : 1237—1250.

ZHU J, LI Y M, YU Y H. Study of construction and optimization of ecological security pattern of lake basin in plateau based on GIS—a case study of xingyun lake basin [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2017, 26(08) : 1237—1250.