

王莱林, 任学慧, 李颖, 等. 基于 PPD 的辽宁省暴雨灾害风险分析[J]. 灾害学, 2015, 30(1): 217–221. [Wang Cailin, Ren Xuehui, Li Ying, et al. Analysis of The Rainstorm Disaster Risk in Liaoning Province Based on PPD Model [J]. Journal of Catastrophology, 2015, 30(1): 217–221.]

## 基于 PPD 的辽宁省暴雨灾害风险分析\*

王莱林<sup>1</sup>, 任学慧<sup>1</sup>, 李颖<sup>2</sup>, 郭恩亮<sup>3</sup>

(1. 辽宁师范大学 城市与环境学院, 辽宁 大连 116029; 2. 北京师范大学 地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京 100875; 3. 东北师范大学 环境科学学院 自然灾害研究所, 吉林 长春 130024)

**摘要:** 根据辽宁省 1976–2006 年逐日降水和暴雨灾害损失数据, 基于自然灾害风险理论, 利用 PPD(可能性–概率分布), 分析不同等级暴雨发生的可能性; 通过建立灾损指标体系获得暴雨灾损指数, 结合 ArcGIS 技术, 进行了辽宁省暴雨灾害风险评价与区划。结果表明: ①辽宁省暴雨发生的可能性, 随暴雨等级的增加而降低, 主要发生一到四级暴雨, 五级暴雨很少见, 而发生 2~5 级暴雨概率基本由东南向西北递减(一级由西北向东南递减); ②全省而言, 暴雨灾害损失及风险与暴雨发生可能性区域分布特征总体吻合, 即呈现南高北低、东高西低、由东南向西北递减的趋势; ③PPD 适用于风险分析中计算致灾因子发生的可能性, 因为以该模型为基础的研究结果与近年来辽宁省暴雨发生风险事实一致。

**关键词:** 暴雨灾害; 风险; PPD; ArcGIS; 辽宁省

**中图分类号:** X43 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000–811X(2015)01–0217–05

doi: 10.3969/j.issn.1000–811X.2015.01.040

暴雨灾害是发生最频繁, 影响最严重的自然灾害之一<sup>[1]</sup>, 我国每年暴雨灾害造成的损失达千亿<sup>[2]</sup>。辽宁省位于我国东北地区南部, 118°50′~125°47′E, 38°43′~43°29′N, 为大陆性季风气候区, 四季分明, 雨热同期, 东部雨量充沛, 西部干旱少雨。区域内东西两侧为低山丘陵, 中部为辽河平原, 南临黄渤海。气候、地形和人为强烈活动等因素, 导致辽宁省易发生暴雨灾害。由于属于我国东部沿海社会经济发达地区, 城市化水平高, 暴雨灾害造成损失巨大。据辽宁省气象灾害公报显示, 2005 年辽宁省暴雨灾害带来的直接经济损失在 80.24 亿元以上, 2010 年全年因暴雨带来的洪涝损失高达 176.14 亿元, 2013 年暴雨灾害直接经济损失远超过 85 亿元。因此, 进行辽宁省暴雨灾害风险分析, 对科学认识灾害、了解灾情、提高灾害意识, 规避风险和指导生产, 以及政府防灾减灾和救灾决策提供科学依据<sup>[3–4]</sup>。

风险等于致灾因子概率和损失的乘积是一种具有潜力的风险评估方法<sup>[5–7]</sup>, 需采用精准的概率计算方法和客观的损失计算, 其中关于致灾因子概率的获得是风险分析重要所在。在有关风险研

究中, 多以频率作为反映概率事件发生的可能性大小进行风险评价<sup>[8–10]</sup>, 而频率是描述事件发生的频繁程度<sup>[11]</sup>, 并不能高效地评估区域灾害风险。有些研究虽然通过计算得到了可能性–概率风险, 但较少关注风险区划<sup>[12–13]</sup>; 即使得出区划, 也不涉及损失, 完成的是致灾因子概率区划<sup>[14–15]</sup>。还有从灾害损失角度出发, 进行重损失, 轻概率的研究<sup>[16]</sup>。利用 PPD(可能性–概率分布)则可以避免以上问题。它以信息扩散理论为基础, 计算模糊概率, 对超越概率引入了可能性分布, 指明了风险事件以某概率出现的可能性<sup>[17]</sup>, 从而既体现了超越概率估算并不精确这一事实, 又为模型容纳模糊信息提供了一条途径<sup>[18–19]</sup>; PPD(可能性–概率分布)得到的是致灾因子区间以及该区间因子出现的可能性, 能高效处理小样本数据<sup>[20]</sup>; 另外, 黄崇福将内集–外集模型引入 PPD(可能性–概率分布)中, 并给出了简便算法, 使得 PPD(可能性–概率分布)便于运用<sup>[17]</sup>, 刁艳芳等在研究洪灾风险分析时, 对此方法进行验证, 结果表明其数学逻辑清晰, 计算简便, 结果可靠<sup>[12]</sup>。

\* 收稿日期: 2014–06–30 修回日期: 2014–08–14

基金项目: 全球变化研究国家重大科学研究计划(2010CB951102); 国家自然科学基金项目(41371495)

作者简介: 王莱林(1990–), 男, 土家族, 湖北恩施人, 硕士研究生, 主要研究方向为区域环境与可持续发展. E-mail: welzrdl@163.com

通讯作者: 任学慧(1963–), 女, 黑龙江勃利人, 博士, 教授, 主要从事气象、区域环境与可持续发展等研究. E-mail: rxh0202@163.com

## 1 数据来源与方法

### 1.1 数据来源

以辽宁省 1976–2006 年逐日降水数据为基础,选取分布均匀,数据无缺失的 22 个气象站点(图 1),统计历年年平均暴雨量,计算暴雨发生的可能性-概率;利用《中国气象灾害大典(辽宁卷)》1976–2006 年暴雨灾损数据计算灾损综合指数;通过辽宁省气象灾害公报统计 2007–2013 年辽宁省发生的暴雨灾害等级。

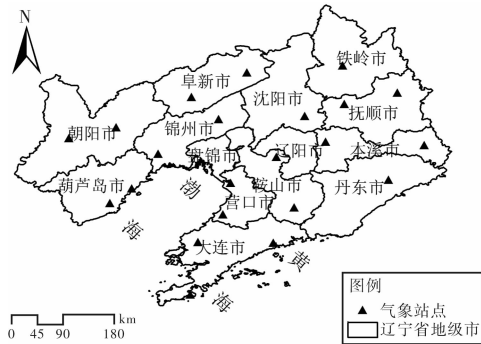


图 1 辽宁省气象站点分布示意图

### 1.2 研究方法

#### 1.2.1 PPD(可能性-概率分布)

$$\text{令 } x = \{x_1, x_2, \dots, x_n\} \quad (1)$$

为气象站点年平均暴雨量样本集,设  $X$  的论域为  $U$ 。即:

$$U = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}, \quad (2)$$

式中:  $u_1, u_2, \dots, u_m$  是给定步长为  $\Delta$  的节点,  $x_i$  属于  $u_i$  所在区间  $I_j$ 。

$$I_j = [u_j - \Delta/2, u_j + \Delta/2], j = 1, 2, \dots, m \quad (3)$$

的隶属函数为

$$q_{ij} = \begin{cases} 1 - \frac{|x_i - u_i|}{\Delta}, & \text{if } |x_i - u_i| \leq \Delta; \\ 0, & \text{if } |x_i - u_i| > \Delta. \end{cases} \quad (4)$$

使用式(4),计算年均暴雨量  $x_i$  游离或飘入区间  $I_j$  的可能性  $q_{ij}^-$  或  $q_{ij}^+$ ,

$$\begin{cases} q_{ij}^- = 1 - q_{ij}, x_i \in x_{in-j}; \\ q_{ij}^+ = q_{ij}, x_i \in x_{out-j}. \end{cases} \quad (5)$$

从而在区间论域

$$I = \{I_j \mid j = 1, 2, \dots, m\} \quad (6)$$

和概率论域

$$P = \{p_k \mid k = 0, 1, 2, \dots, n\} = \{0, 1/n, 2/n, \dots, 1\} \quad (7)$$

上,计算出年均暴雨量在  $I_j$  中的可能性-概率:

$$\Pi_{I,P} = \{\Pi_j(p) \mid I_j \in I, p \in P\}. \quad (8)$$

令  $S_j$  是一个指标集,  $\forall s \in S_j$ , 则  $x_s \in X_{in-j}$ , 且  $\{x_s \mid s \in S_j\} = X_{in-j}$ , 称  $S_j$  为内指标集;同样的令  $T_j$  为外指标集。当  $I_j$  的内集容量为  $n_j$  时,按照

$$\Pi_{I_j}(p) = \begin{cases} \bigwedge_{s \in S_j} q_{sj}^- & p = p_0; \\ \dots & \dots \\ \bigvee_{s_1, s_2, s_3 \in S_j, s_1 \neq s_2 \neq s_3} (q_{s_1 j}^- \wedge q_{s_2 j}^- \wedge q_{s_3 j}^-), & p = p_{n_j} - 3; \\ \bigvee_{s_1, s_2 \in S_j, s_1 \neq s_2} (q_{s_1 j}^- \wedge q_{s_2 j}^-), & p = p_{n_j} - 2; \\ \bigvee_{s \in S_j} q_{sj}^-, & p = p_{n_j} - 1; \\ 1 & p = p_{n_j}; \\ \bigvee_{t \in T_j} q_{tj}^+, & p = p_{n_j} + 1; \\ \bigvee_{t_1, t_2 \in T_j, t_1 \neq t_2} (q_{t_1 j}^+ \wedge q_{t_2 j}^+), & p = p_{n_j} + 2; \\ \bigvee_{t_1, t_2, t_3 \in T_j, t_1 \neq t_2 \neq t_3} (q_{t_1 j}^+ \wedge q_{t_2 j}^+ \wedge q_{t_3 j}^+), & p = p_{n_j} + 3; \\ \dots & \dots \\ \bigvee_{t \in T_j} q_{tj}^+, & p = p_n. \end{cases} \quad (9)$$

计算年均暴雨量属于  $I_j$  的概率可能性。

#### 1.2.2 暴雨灾损指数

选取作物受灾面积、损毁房屋、淹没池塘、冲毁堤坝、死亡人口、粮食/水果损失、冲毁道路和折断/冲毁果树 8 个常见因子,建立辽宁省暴雨灾损指标体系,为消除量纲的差别,对各指标进行标准化<sup>[21]</sup>处理,运用层次分析法和变异系数法确定各因子综合权重(表 1),计算灾损综合指数

$$c = \sum x_i w_i. \quad (10)$$

式中:  $c$  为灾损指数;  $x_i$  为各损失指标标准化值;  $w_i$  为组合权重。

表 1 辽宁省暴雨灾害损失指标体系及权重

	指标	$c_i w_i$	层次分析 $w_i$	组合 $w_i$
暴雨灾害损失	作物受灾面积/hm <sup>2</sup>	0.09	0.20	0.14
	损毁房屋/间	0.13	0.21	0.17
	淹没池塘/座	0.20	0.11	0.15
	受损堤坝/桥涵/处	0.05	0.04	0.05
	死亡人口/个	0.11	0.19	0.15
	(粮食/水果损失)/kg	0.21	0.11	0.16
	(道路/河堤/护岸)/km	0.17	0.09	0.13
	(冲毁/折断果树)/万株	0.05	0.05	0.05

## 2 辽宁省暴雨灾害风险分析

暴雨属于极端降水事件,基于其降水强度和区域差异性问题<sup>[22]</sup>,运用 IPCC 以百分位确定极端降水事件<sup>[23]</sup>的方法,采用 95% 累积分布函数确定暴雨阈值<sup>[24]</sup>,统计历年发生的暴雨次数以及暴雨量,求出年平均暴雨量。

### 2.1 辽宁省暴雨 PPD(可能性-概率分布)分析

运用式(1)~(9),计算辽宁省各气象站点不同等级暴雨发生的可能性。为使暴雨与风险等级对应,将论域  $U$  分为 5 个子区间,以此确定步长  $\Delta = 19 \text{ mm}$ 、节点  $u_i$  及暴雨等级区间  $I_j$ (表 2)。

以大连站为例,  $x$  为年平均暴雨量,统计大连站近 31 年年平均暴雨量,运用式(4)得到各样本点的隶属度,运用式(5)计算隶属度的游离信息和飘入

信息,并分别进行升序(表3)和降序(表4)排列。

表2 暴雨等级

暴雨等级	年均暴雨量/mm	节点 $u_i$
一级暴雨	$29 \leq x < 48$	38.5
二级暴雨	$48 \leq x < 67$	57.5
三级暴雨	$67 \leq x < 86$	76.5
四级暴雨	$86 \leq x < 105$	95.5
五级暴雨	$105 \leq x \leq 124$	114.5

表3 游离信息升序排列

$\uparrow Q_1^-$	0.08, 0.05, 0.44, 0.45
$\uparrow Q_2^-$	0.02, 0.06, 0.07, 0.13, 0.17, 0.19, 0.22, 0.23, 0.24, 0.41, 0.43, 0.48
$\uparrow Q_3^-$	0.05, 0.10, 0.13, 0.13, 0.31, 0.34, 0.35, 0.40
$\uparrow Q_4^-$	0.18, 0.34, 0.36
$\uparrow Q_5^-$	0.36, 0.41

表4 飘入信息降序排列

$\downarrow Q_1^+$	0.41, 0.24, 0.23, 0.22, 0.19, 0.06
$\downarrow Q_2^+$	0.45, 0.44, 0.40, 0.34, 0.13, 0.10, 0.05
$\downarrow Q_3^+$	0.48, 0.43, 0.36, 0.34, 0.18, 0.17, 0.13, 0.07, 0.02
$\downarrow Q_4^+$	0.41, 0.35, 0.31, 0.13, 0.05
$\downarrow Q_5^+$	0.00

利用式(7)计算出概率论域  $p = \{0, 0.03, 0.06, \dots, 1\}$ , 将表3中的值带入式(9), 得出大连站暴雨发生的可能性-概率分布(表5)。可知论域  $I_1$  为概率  $P_4$  的可能性为“1”, 即一年中发生一级暴雨的概率为0.138; 论域  $I_2$  为概率  $P_{12} = 0.414$  的可能性为“1”。

表5 大连站暴雨可能性-概率

$\Pi_j(P_k)$	$P_2 = 0.069$	$P_3 = 0.103$	$P_4 = 0.138$	$P_8 = 0.276$	$P_{12} = 0.414$
$I_1$	0.44	0.45	1	0.22	0
$I_2$	0.07	0.13	0.17	0.24	1
$I_3$	0.13	0.13	0.31	1	0.34
$I_4$	0.36	1	0.41	0.05	0
$I_5$	1	0	0	0	0

按此方法计算辽宁省其他站点每年发生不同等级暴雨的概率, 最终得到辽宁省各个气象站点不同等级暴雨的可能性-概率, 运用 ArcGIS 空间分析功能中 kring 插值法得到辽宁省暴雨可能性-概率分布图(图2)。通过空间分布直接反映辽宁省各区域发生不同等级暴雨发生的可能性。

由图2可知, 一到四级暴雨发生的概率分别在0.1~0.8、0.2~0.5、0.1~0.3、0.02~0.12之间波动, 五级暴雨很少出现, 最大概率不超过0.045; 随着降水等级的提高, 概率逐步减小, 说明降水量越大, 其发生可能性越低。大连、丹东、营口、鞍山地区发生一级暴雨的概率在0.3以内波动, 属该等级降水低概率区; 而发生二到四级的概率分别在0.45、0.25、0.12左右波动, 其概率均高于辽宁省其他地区, 降水集中度高。朝阳、铁岭发生一级暴雨的概率在0.7左右波动, 相比其他地区, 该等级降水概

率较高, 而更高等级的降水在两市发生的概率明显偏低。辽中地区各等级降水发生的概率均处于该等级概率的均值左右波动; 辽东南地区低等级降水概率偏低, 高等级降水的概率偏高; 辽北和辽西北地区除一级暴雨概率较高外, 其他更高等级降水发生的概率均较低。在各等级降水中, 除一级暴雨的概率由西北向东南递减, 其他等级的降水均由东南向西北递减。这种概率分布符合辽宁省降水从东南沿海向西北内陆递减的趋势<sup>[25]</sup>。

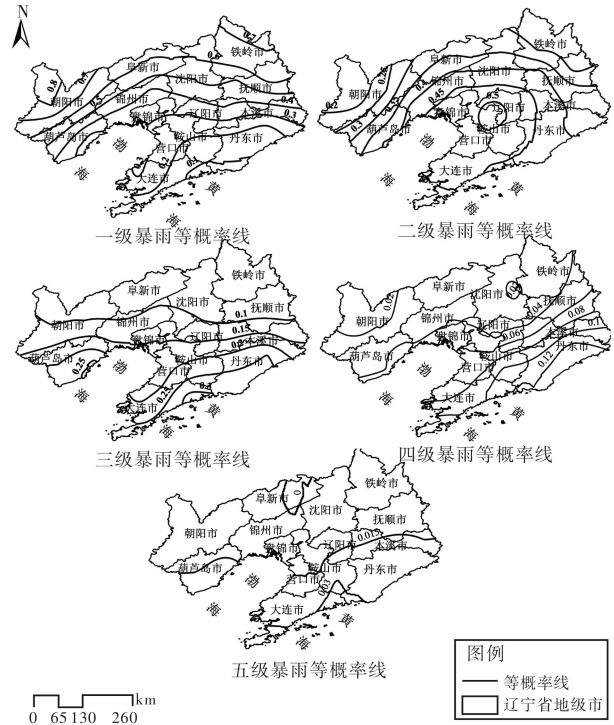


图2 辽宁省暴雨概率分布示意图

## 2.2 辽宁省暴雨灾害损失分析

根据暴雨灾损指标体系, 采用式(10)计算出辽宁省各地级市暴雨灾损综合指数, 并利用 ArcGIS, 通过自然间断点法将其分为5个等级, 得到辽宁省灾损指数分区图(图3)。由图3可知, 丹东、大连属高灾损区, 暴雨灾损指数分别高达2.33、1.81; 辽阳市位于辽宁省中部地区, 属于低灾损区, 灾损指数为0.95; 铁岭和抚顺的灾损指数分别为1.24、1.14, 属于较低灾损区; 其它地级市暴雨灾损指数处于中等水平。辽宁省暴雨灾损整体上呈现南高北低, 东高西低, 四周高中间低的分布。

暴雨灾害损失的空间分布与降水、经济密切相关, 高损失区多分布于致灾因子强度大、经济要素集中度高的地区。大连、丹东濒临黄海, 高等级降水可能性大, 降水集中度高; 加之两市作为沿海城市, 经济发展水平高, 人口众多, 人类活动多集中于沿海, 暴露性较高, 暴雨的发生往往带来巨大的损失。辽阳受东南季风影响相对较弱, 降水量与降水集中度低于大连、丹东, 由于受本区人口少、辖区面积小、农业用地面积少、经济活动低等因素的影响, 暴

雨灾害带来的损失较低。

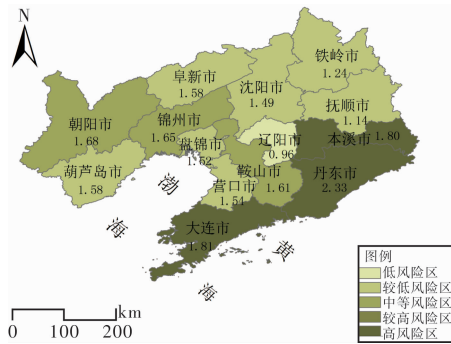


图3 辽宁省暴雨灾损累积指数示意图

### 2.3 辽宁省暴雨灾害风险区划

利用风险等于概率与损失的乘积计算辽宁省各地级市暴雨灾害风险指数,通过 ArcGIS 中自然间断点法将其分为 5 个风险等级得出辽宁省各地级市暴雨灾害风险区划图(图 4)。

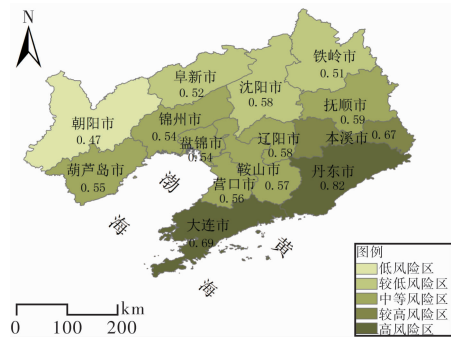


图4 辽宁省暴雨灾害风险区划示意图

由图 4 可知辽宁省暴雨灾害高风险区为丹东,其风险指数分别为 0.82。大连、本溪为较高风险区,其综合风险指数分别为 0.69、0.67。葫芦岛、锦州、盘锦、鞍山、营口、辽阳、抚顺为中等风险区,其综合风险指数分别为 0.55、0.58、0.54、0.57、0.56、0.58、0.59。阜新、铁岭和沈阳为较低风险区,风险指数为 0.52、0.51、0.50。朝阳为低风险区,灾害风险指数为 0.47。辽宁省灾害风险呈现南高北低,东高西低,由东南向西北递减的趋势。

从致灾因子角度而言,其强度越大,潜在风险越高,降水等级低而概率高的地区,只能反映该等级暴雨发生频繁,并不能反映其风险高,降水等级和相应概率都较高的地区,才具有较高潜在风险;此外,损失的出现源于致灾因子暴雨事件的发生,两者的综合构成风险。对比分析图 2、3、4,虽然在概率方面(图 2)一级暴雨概率与灾害损失区划和灾害风险区划的等级呈逆向分布,但一级暴雨降水量少,造成损失的可能性不大,具有的潜在风险低,不会影响到辽宁省暴雨灾损与风险的整体格局;其他等级暴雨概率分布均与灾损区划和风险区划的等

级呈正向分布,辽宁省暴雨灾害风险区划(图 4)与暴雨灾损区划(图 3)的等级空间分布基本一致,高强度暴雨区和高损失区与高风险区吻合,所以该风险区划具有一定的可靠性。

### 3 风险验证

PPD(可能性-概率分布)虽多次被提及适用于计算概率<sup>[17,20-22]</sup>,但将其引入风险等于概率与损失乘积的评估方法中,效果如何尚需验证。故从辽宁省气象灾害公报上选取 2007-2013 年暴雨灾害等级评估数据,验证该方法的可行性。暴雨灾害等级由辽宁省地方标准气象灾害评估<sup>[26]</sup>中暴雨评估得到。该标准中将暴雨灾害分为 4 个等级(表 6)。

表 6 暴雨灾害等级评估标准

等级	暴雨灾害的综合评估标准( $I_{hra}$ )
严重暴雨灾害	$I_{hra} \geq 1.0$
重度暴雨灾害	$0.9 \leq I_{hra} \leq 1.0$
中度暴雨灾害	$0.5 \leq I_{hra} \leq 0.9$
轻度暴雨灾害	$I_{hra} < 0.5$

以地级市为单位统计 2007-2013 年辽宁省气象灾害公报上暴雨灾害等级,根据辽宁暴雨灾害等级评估标准中的  $I_{hra}$  值分级,将严重暴雨灾害赋值为“1”、重度、中度、轻度暴雨灾害分别赋值为其标准的中间值即 0.95、0.70、0.25,求和得到近 7 年辽宁省各地级市暴雨灾害的综合风险,并通过 ArcGIS 中自然间断点法将其分为 5 个等级得出验证风险区划(图 5)。可知 2007-2013 年验证风险区划中高风险区分布于辽东南的大连和丹东两地,较高风险区分布在本溪,其他地级市为中等以下风险。验证区划中暴雨灾害风险整体上是东南高,西北低,风险存在由东南向西北递减的趋势。对比分析图 2~图 5,虽然一级暴雨的概率数值较高,且与其他降水等级概率逆向分布,但由于其降水集中度低于其他降水等级,潜在的风险较低,所以其较高的概率对风险结果的影响较小。就整体而言,通过 PPD 得出的风险区划与验证风险区划基本吻合。

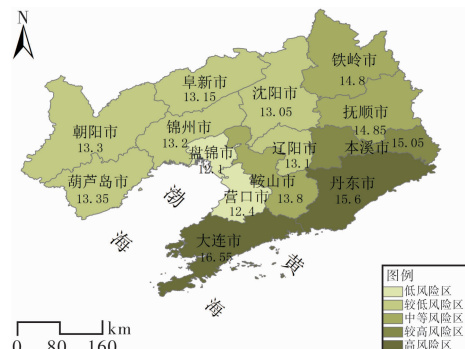


图5 辽宁省暴雨灾害风险验证示意图

## 4 结论

(1) 基于 PPD(可能性-概率分布)对小样本数据的高效分级处理, 运用 PPD(可能性-概率分布)计算辽宁省各等级暴雨发生的可能性, 结果表明: 一级暴雨发生的可能性最大, 最高值分布于辽宁西部的朝阳市, 为 0.8, 二级以上级别暴雨发生的可能性相对较小; 各地区随着暴雨等级增高, 其发生的可能性逐步降低, 除一级暴雨发生的可能性由西北向东南递减外, 其他等级暴雨发生的可能性均表现为由东南向西北递减。受来自东南海上气流影响以及东侧山地丘陵对水汽的阻挡作用, 高等级暴雨多集中于辽宁省东南部沿海区域。

(2) 辽宁省暴雨灾害进行风险评价与区划研究发现: 高损失、高风险区主要分布于辽宁省沿海地区的大连、丹东, 灾害损失和风险指数呈现东南高, 西北低, 由东南向西北递减的趋势; 风险与损失、暴雨等级的空间区划基本吻合, 2007-2013 年辽宁省暴雨灾害分布现状与历史暴雨风险区划结果一致。

(3) PPD(可能性-概率分布)能很好地计算出不同等级条件下致灾因子暴雨发生的概率, 辽宁省暴雨灾害风险研究中, 采用 PPD(可能性-概率分布)计算的暴雨概率与损失、风险的空间分布基本一致, 得出的灾害风险区划与验证风险区划吻合, 证明了引入该模型的有效性。

## 参考文献:

- [1] 丁一汇, 张建云. 暴雨洪涝[M]. 北京: 气象出版社, 2009.
- [2] 中国气象局. 中国气象灾害年鉴[M]. 北京: 气象出版社, 2012.
- [3] 王博, 崔春光, 彭涛, 等. 暴雨灾害风险评估与区划的研究现状与进展[J]. 暴雨灾害, 2007, 26(3): 281-286.
- [4] 余卫东, 张弘, 刘伟昌. 我国农业气象灾害评估研究现状和
- 发展方向[J]. 气象与环境科学, 2009, 32(3): 73-77.
- [5] Noss R. F. High-risk ecosystems as foci for considering biodiversity and ecological integrity in ecological risk assessments[J]. Environmental Science & Policy, 2000, 3(6): 321-332.
- [6] 陆雍森. 环境评价[M]. 上海: 同济大学出版社, 1999.
- [7] Smith K. Environmental Hazards: Assessing Risk and Reducing disaster(2nd edition)[M]. New York: Routledge, 1996.
- [8] 李卫江, 温家洪, 吴燕娟. 基于 PGIS 的社区洪涝灾害概率风险评估[J]. 地理研究, 2014, 33(01): 31-42.
- [9] 温家洪, 黄蕙, 陈珂, 等. 基于社区的台风灾害概率风险评估—以上海市杨浦区富禄里居委地区为例[J]. 地理科学, 2012, 32(03): 348-355.
- [10] 颜兆林, 龚时雨, 周经伦. 概率风险评价系统[J]. 计算机应用研究, 2001(2): 40-42.
- [11] 盛骤, 谢式千, 潘承毅. 概率论与数理统计[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001.
- [12] 刁艳芳, 张荣, 徐婧菡, 等. 基于内集-外集的洪灾模糊风险分析[J]. 水力发电, 2013, 39(7): 14-16.
- [13] 孙才志, 姜楠, 张翔. 基于改进型扩散函数内集-外集模型的辽宁省旱灾风险评价[J]. 安全与环境学报, 2009, 9(2): 181-184.
- [14] 张丽娟, 李文亮, 张冬有. 基于信息扩散理论的气象灾害风险评估方法[J]. 地理科学, 2009, 29(2): 250-254.
- [15] 陈红. 基于信息扩散理论的黑龙省主要气象灾害风险评估研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨师范大学, 2011.
- [16] 扈海波, 董鹏捷, 潘进军. 基于灾损评估的北京地区冰雹灾害风险区划[J]. 应用气象学报, 2011, 22(5): 612-620.
- [17] 黄崇福, 张俊香, 陈志芬, 等. 自然灾害风险区划图的一个潜在发展方向[J]. 自然灾害学报, 2004, 13(2): 9-15.
- [18] 黄崇福. 自然灾害风险评价理论与实践[M]. 北京: 科学出版社, 2005.
- [19] 黄崇福, 史培军. 城市自然灾害风险评价的二级模型[J]. 自然灾害学报, 1994, 2(2): 22-27.
- [20] 黄崇福, Claudio Moraga, 陈志芬. 内集-外集模型的一个简便算法[J]. 自然灾害学报, 2004, 13(04): 15-20.
- [21] 刘明寿, 周晓明, 戴国俊, 等. 用归一化法评价科技期刊学术质量与常规评定结果的相关性分析[J]. 编辑学报, 2006, 18(6): 468-471.
- [22] 章淹, 林宗鸿, 陈渭民. 暴雨预报[M]. 北京: 气象出版社, 1990.
- [23] IPCC. Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation[M]. IPCC, 2012.
- [24] 薛联青, 刘晓群, 宋佳佳, 等. 基于百分位法确定流域极端事件阈值. 水力发电学报, 2013, 32(5): 26-29.
- [25] 戴廷仁, 陆忠艳, 李广霞, 等. 近 46 年辽宁省降水集中程度研究. 气象, 2007, 33(1): 32-37.
- [26] DB21/T1454. 1-2006. 气象灾害评估[S]. 沈阳: 辽宁省质量技术监督局, 2007.

## Analysis on Rainstorm Disaster Risk in Liaoning Province Based on PPD Model

Wang Cailin<sup>1</sup>, Ren Xuehui<sup>1</sup>, Li Ying<sup>2</sup> and Guo Enliang<sup>3</sup>

(1. School of Urban and Environmental Sciences, Liaoning Normal University, Dalian 116029, China;  
2. State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 3. School of Environment, Northeast Normal University, Jilin 130024, China)

**Abstract:** According to the data of daily precipitation and rainstorm disaster loss in 1976-2006 of Liaoning province and based on the theory of natural disaster risk, the probability of occurrence of different levels rainstorm are analyzed by PPD model. Acquiring index of rain storm disaster by establishing damage index system, combined with ArcGIS Technology, assessment and regionalization of rainstorm disaster risk of Liaoning province are done. Results show that: ① The possibility of occurrence of in Liaoning Province decrease as the rainstorm level increase. Level 1 to level 4 is mainly detected but level 5 is merely detected, furthermore, the property of rain storm from level 2 to level 5 is mainly decreased from southeast to northwest (level 1 decrease from northwest to southeast); ② As for the whole province, the risk of rainstorm disaster and loss is grandly coincided with features of attributions, which is increasing from north to south, from west to east, decrease from southeast to northwest; ③ PPD model is suitable to calculate possibility of factors of disaster in that the consequence of research based on this is coincidence with risks of Liaoning rain storm.

**Key words:** rainstorm disaster; risk; PPD model; ArcGIS; Liaoning province