

韩钦梅, 吕建军, 史培军. 湖北省暴雨人口暴露时空特征与贡献率研究[J]. 灾害学, 2018, 33(4): 191–196. [HAN Qinmei, LU Jianjun, SHI Peijun. Spatial temporal characteristics and contribution rate of rainstorm population exposure in Hubei[J]. Journal of Catastrophology, 2018, 33(4): 191–196. doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2018.04.033.]

# 湖北省暴雨人口暴露时空特征与贡献率研究<sup>\*</sup>

韩钦梅<sup>1,2,3</sup>, 吕建军<sup>3</sup>, 史培军<sup>1,2,4</sup>

(1. 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; 2. 民政部-教育部减灾与应急管理研究院, 北京 100875; 3. 中国地质大学(武汉) 信息工程学院, 湖北 武汉 430074; 4. 北京师范大学 地理科学学部, 北京 100875)

**摘 要:** 基于1986–2015年气象站点降水日值数据, 以中国气象局颁布的降水强度等级划分标准为依据, 分别计算了湖北省1986–1995年、1996–2005年、2006–2015年的年暴雨雨强和年代暴雨雨强, 采用反距离插值法对年代暴雨雨强数据进行插值, 分析其暴雨时空变化; 利用1990年、2000年和2010年人口网格数据与年代暴雨雨强数据, 计算了湖北省分年代暴雨人口暴露总量, 并分析了其暴雨人口暴露变化的贡献因子。结果表明: 湖北省暴雨雨强为先增加后减少、暴雨分布东部多西部少、高值区集中在东北部; 湖北省人口总量增长缓慢, 且东南多西北少, 呈现人口继续向东南地区迁移的趋势; 湖北省暴雨人口暴露量先增多后减少, 1990年、2000年和2010年分别为2 493.29万人、2 844.73万人、2 738.20万人, 占当年总人口的比例分别为48.5%、49.0%、48.7%; 其变化的主要贡献因子是人口, 2000s暴雨影响占7%, 人口影响占92%, 联合影响占1%; 2010s: 暴雨影响占15%, 人口影响占87%, 联合影响占2%。

**关键词:** 暴雨; 暴露; 年代际变化; 贡献率; 湖北省

**中图分类号:** X43; P954; P467 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2018)04-0191-06

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2018.04.033

灾害风险是指未来某段时期内某个区域灾害损失的可能性大小, 灾害风险研究与防范是当前多学科领域极为关注的科学前沿问题, 也是未来地球研究计划的热点, 更是可持续发展的关键<sup>[1]</sup>。IPCC第五次评估报告指出, 风险是致灾因子、暴露、脆弱性的函数<sup>[2]</sup>, 因此在灾害风险的研究中, 暴露是极其重要的研究内容。暴露是指处在危险地区的人、财产或物<sup>[3]</sup>。在灾害风险评价中, 对暴露有两类定义, 一种是致灾因子发生的区域内承灾体(人、财产等)的总量<sup>[4]</sup>, 一种是危险发生时受影响、伤害的人或财产<sup>[5]</sup>, 这两种概念的本质区别在于是否考虑了承灾体本身的抗灾能力, 即是否在承灾体的暴露度中加入脆弱性的考量。本文在估计湖北省研究时段内(1986–2015年)的暴雨人口暴露度时, 采用第二种概念, 即定义暴雨人口暴露为暴雨范围下受到其影响、伤害的人口总量。

气候变化下, 中国极端降水的强度在增加<sup>[6]</sup>, 在时间上, 中国年代际暴雨雨量和雨日显著增加, 暴雨雨强也呈现增加趋势; 在空间上, 中国年代际暴雨雨量和雨日呈现出从东南沿海地区向华中和西南及环渤海地区逐渐扩张的梯度增加趋势<sup>[7]</sup>。区域

尺度上, 长江流域的极端强降水呈现显著增加趋势, 突出表现在中下游地区<sup>[8–10]</sup>。极端降水事件的增加以及人口的快速增长, 使得我国自然灾害人口的暴露不断增加, 如果设防能力达不到一定要求, 未来极端事件的风险会加大。因此找到一种合理评估人口暴露度的方法, 对预估未来风险有重要意义。湖北省位于长江中游地区, 是中国遭受暴雨灾害的典型地区, 由暴雨引发的灾害造成的损失惨重。但是, 目前为止, 有关人口对暴雨等极端降水过程暴露度的研究较少, 尚未全面开展。基于此, 本文以湖北省为例, 探讨了一种定量评价暴雨人口暴露及暴露变化贡献因子的模型, 在此基础上, 分析了湖北省年代际暴雨、人口、以及暴雨人口暴露的时空变化, 期待为湖北乃至更大尺度范围的极端降水风险防范提供重要科学与理论依据。

## 1 数据来源与研究方法

### 1.1 研究区域

湖北省位于长江中游, 在29°01′53″~33°16′

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2018-02-08 修回日期: 2018-05-15

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFA0602404); 国家杰出青年科学基金项目(51425903)

第一作者简介: 韩钦梅(1995-), 女, 山东泰安人, 博士研究生, 主要研究方向为气候变化与人口风险。

E-mail: hqm0725@foxmail.com

通讯作者: 史培军(1959-), 男, 陕西靖边人, 教授, 主要研究方向为环境演变与自然灾害研究。E-mail: spj@bnu.edu.cn

47°N、108°21'42"~116°07'50"E 之间, 总面积约 18.59 万 km<sup>2</sup><sup>[11]</sup>。湖北省地貌类型复杂多样, 西、北、东三面环山, 中部为地势低平的江汉平原, 境内河网纵横, 湖泊众多, 气候复杂多样, 夏季多降水, 暴雨引发的自然灾害频繁。

## 1.2 数据来源

本文的研究时间段为 1986–2015 年, 采用的降水数据来自国家气象信息中心提供的 1986–2015 年中国国家级地面气象站基本气象要素日值数据集中的降水数据集。为了保证研究时段数据连续的原则, 如果某一气象站在研究时段内某一年内有缺测记录的天数超过该年天数的 5%, 则将该站点剔除, 最后得到湖北省可用站点 76 个, 按照行政区划并进行一定合并得到湖北省 82 个县(市)(图 1)。

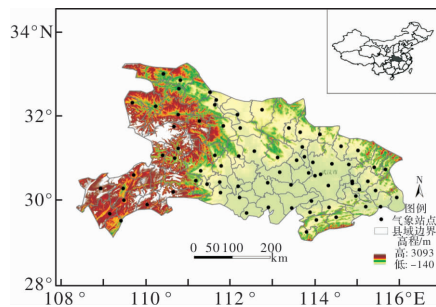


图 1 湖北省气象站点及县(市)行政区划分布图

文中所采用的人口数据为人口网格数据, 空间分辨率为 1 km × 1 km, 共三个年份: 1990 年、2000 年与 2010 年, 是尹卫霞利用所在年份的全国人口普查数据结合已有的一些人口分布数据制成<sup>[3]</sup>。湖北省在 1986–2015 年人口增长速率变化不大, 因此, 采用每个时段中间年份的人口表示该时段平均人口, 具体时段划分如下: 1986–1995 年、1996–2005 年、2006–2015 年。

## 1.3 暴雨指标计算方法

本文采用的暴雨阈值是中国气象局颁布的降水强度等级划分标准, 取 24 h 降水总量超过 50 mm 作为暴雨阈值。暴雨的危险性通过暴雨雨强指标来反映<sup>[7]</sup>, 计算研究时段内每个气象站点年平均暴雨雨强( $D_{ij}$ ), 分析暴雨雨强时间变化趋势; 再计算每个站点的年代平均暴雨雨强( $I_i$ ), 利用 10 年平均暴雨雨强数据进行插值, 分析湖北省暴雨雨强空间变化。

$$D_{ij} = (r_{1975} + 10i + j) / (f_{1975} + 10i + j); \quad (1)$$

$$I_i = \left( \sum_{j=1}^{10} r_{1975} + 10i + j \right) / \left( \sum_{j=1}^{10} f_{1975} + 10i + j \right). \quad (2)$$

式中:  $r_{1975} + 10i + j$  表示某气象站在研究时段内第  $i$  个年代( $i = 1, 2, 3$ )中第  $j$  年( $j = 1, 2, \dots, 10$ )暴雨雨量总和;  $f_{1975} + 10i + j$  表示研究时段内第  $i$  个年代中第  $j$  年暴雨雨日总和。  $D_{ij}$  表示研究时段内第  $i$  个年代中第  $j$  年的平均暴雨雨强, 由该年暴雨雨量总和除以年暴雨雨日总和得到;  $I_i$  表示研究时段内第  $i$  个年代 10 年的平均暴雨雨强, 由该年代 10 年的暴雨雨量总和除以 10 年的暴雨雨日总和得到。

将站点观测数据转化为面数据, 需要借助插值算法实现。目前对于降水数据插值的研究较多, 大部分研究使用反距离加权法对降水分布情况进行插

值, 有研究通过交叉验证发现对于日降水量的空间插值, 反距离加权插值法的精度要高于克里金插值法<sup>[12–14]</sup>。因此本文选用反距离加权插值法(IDW)对站点的年代平均暴雨雨强数据进行插值, 生成三个年代(1990 年代, 2000 年代, 2010 年代)的暴雨雨强网格分布图, 空间分辨率为 1 km × 1 km, 后续人口暴露变化等一系列研究采用该数据。

## 1.4 人口暴雨暴露计算方法

### (1) 脆弱性曲线构建

选取湖北省历史资料中 28 个真实暴雨灾害案例<sup>[11]</sup>, 拟合暴雨降水强度与人口受灾率的关系, 构建脆弱性曲线(图 2)。

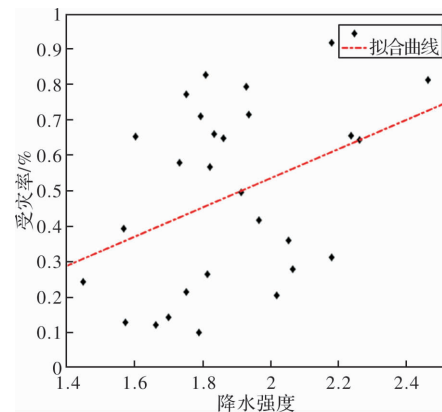


图 2 暴雨强度与人口受灾脆弱性曲线

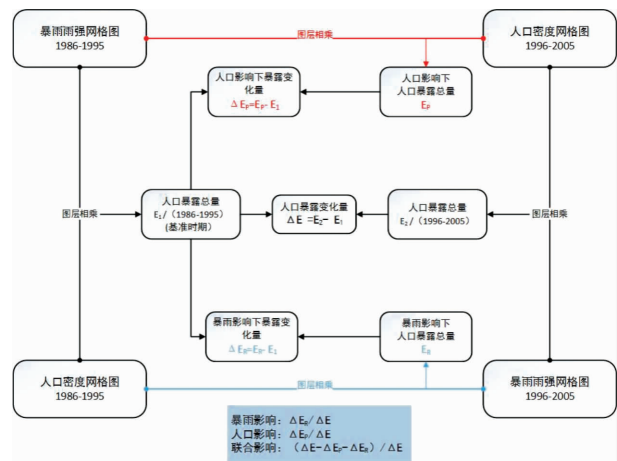


图 3 暴雨人口暴露变化贡献因子计算方法

降水强度是将暴雨雨强(mm/d)对数化后得到的, 受灾率是指每次暴雨事件导致的受灾人口占当年该区域总人口的比例, 拟合后暴雨雨强( $X$ )与暴雨人口受灾率( $Y$ )的公式通过 0.05 显著性水平检验, 拟合公式如下:

$$Y = 0.412 \times \log(X) - 0.289. \quad (3)$$

从拟合曲线可以看出, 湖北省暴雨人口的受灾率与降水强度呈现较好的正相关性, 即随着暴雨雨强的增大, 受灾率增大。因此本文中暴露的计算方法采用上述公式, 即:

$$\text{暴露} = \text{致灾因子影响范围下的人口总量} \times \text{受灾率}. \quad (4)$$

### (2) 暴雨暴露变化贡献因子分析

本文研究时间段分为三个年代: 1986–1995

(1990 年代), 1996–2005(2000 年代), 2006–2015(2010 年代)。在研究后一个年代的暴露变化贡献因子时, 以前一个年代的人口和暴雨水平为基准时期。

结合已有研究<sup>[3,15]</sup>, 本文将人口暴雨暴露变化的贡献因子分为三部分: 暴雨影响、人口影响、暴雨人口联合影响, 各部分定义如下。

**暴雨影响:** 保持人口总量不变(维持基准时期水平), 改变暴雨水平, 得到暴雨影响下的人口暴露变化量。

**人口影响:** 保持暴雨水平不变(维持基准时期水平), 改变人口总量, 得到人口影响下的人口暴露变化量。

**暴雨人口联合影响:** 暴雨人口暴露变化量减去气候影响量和人口影响量, 剩余的部分为联合影响量。

以第二个年代(2000 年代)暴露变化贡献因子计算为例(图 3), 具体说明暴露变化贡献因子计算方法, 第三个年代(2010 年代)暴露变化贡献因子计算与此相同, 只需把基准时期换为 2000 年代。

$$\Delta E = E_2 - E_1; \quad (5)$$

$$\Delta E_P = E_P - E_1; \quad (6)$$

$$\Delta E_R = E_R - E_1. \quad (7)$$

式中:  $\Delta E$  是指两个年代的暴雨人口暴露变化量,  $E_2$  表示 2000 年代年暴雨人口暴露总量,  $E_1$  表示 1990 年代暴雨人口暴露总量;  $E_P$  表示人口影响下暴雨人口暴露总量, 而  $\Delta E_P$  表示人口影响下暴雨人口暴露变化量;  $E_R$  表示暴雨影响下暴雨人口暴露总量,  $\Delta E_R$  表示暴雨影响下暴雨人口暴露变化量。

暴雨影响是由暴雨影响量( $\Delta E_R$ )除以真实暴雨人口暴露变化量( $\Delta E$ ), 人口影响是由人口影响量( $\Delta E_P$ )除以真实暴雨人口暴露变化量( $\Delta E$ ), 联合影响是由去除暴雨影响量和人口影响量后的暴雨人口暴露变化量( $\Delta E - \Delta E_R - \Delta E_P$ )除以真实暴雨人口暴露变化量( $\Delta E$ )。

## 2 结果与分析

### 2.1 暴雨雨强时空变化分析

湖北省暴雨集中在 5–8 月, 1986–2015 这 30 年中年平均暴雨雨强波动较大, 总体趋势先波动上升然后趋于下降, 峰值出现在 1991 年; 年代际平均暴雨雨强先增加后减少, 但差距不大, 第二个年代(2000 年代)平均暴雨雨强水平较高(图 4)。

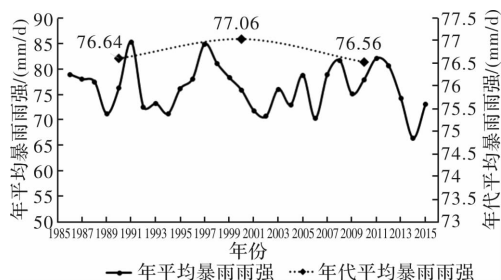


图 4 湖北省年平均暴雨雨强变化图(1986–2015 年)

在研究时段内, 湖北省年代际暴雨雨强空间分布没有太大变化, 始终是由西北到东南逐级增加、

最高等级暴雨雨强出现在湖北省东北部, 暴雨强度比较大的县(市)有麻城市、罗田县、红安县、大悟县、武汉市、孝昌县、安陆市等(图 5)。计算暴雨危险性时采用 10 年暴雨雨强平均值, 大暴雨事件频次不多, 导致暴雨雨强最大值没有超过 100 mm/d, 因此将暴雨雨强范围按照等间隔分成 5 个等级, 统计不同等级暴雨雨强影响面积。结果显示较高等级(3~5 等级)的暴雨影响面积持续增大, 与 1990 年代相比, 2000 年代增加了 4 559 km<sup>2</sup>, 而 2010 年代递增至 5 921 km<sup>2</sup>, 各等级暴雨雨强具体数据见表 1。

表 1 湖北省不同暴雨等级影响面积

雨强等级	雨强范围/(mm/d)	1986–1995 年影响面积/km <sup>2</sup>	1996–2005 年影响面积/km <sup>2</sup>	2006–2015 年影响面积/km <sup>2</sup>
1	50~60	1277	0	37
2	60~70	34455	31173	25215
3	70~80	120199	97766	124864
4	80~90	24056	50906	28980
5	90~100	74	216	965

### 2.2 暴雨人口暴露总量时空变化分析

在研究时段内, 湖北省人口分布格局并没有明显的改变, 始终呈现东南密集、西北稀疏的整体态势, 人口分布由东向西逐级递减, 且差异不断扩大(图 6)。结合已有研究<sup>[16]</sup>, 将人口密度分为低(0~50 人/km<sup>2</sup>)、中(50~400 人/km<sup>2</sup>)、高人口密度区(>400 人/km<sup>2</sup>), 统计不同年代不同密度区所占比例, 发现高人口密度区主要集中在湖北省东南部, 且随着时间增加, 该地区高人口密度区所占比例略有增加, 表明湖北省人口变化呈西北向东南迁徙的规律。高人口密度区基本与高暴雨雨强区重叠, 这可能会导致暴雨人口暴露持续增多。

计算不同年代的暴雨人口暴露量, 据此绘制暴雨人口暴露密度空间分布图(图 7)。结果显示: 湖北暴雨人口暴露密度空间分布由西北向东南递增, 且梯度差异不断扩大, 武汉市始终是暴雨人口暴露密度最高的地区, 以武汉市为中心, 暴雨人口暴露密度向四周呈现放射性递减的规律, 鄂西大部分地区暴雨人口暴露密度在 100 人/km<sup>2</sup> 以下, 属于低暴露区。

按县域为单位统计各年代暴雨人口暴露总数(图 8), 1990 年代暴雨人口暴露总量大于 70 万人的有 2 个县(市), 分别是武汉市和天门市, 其中暴雨人口暴露总量最大的是武汉市, 共有 368.87 万人处于暴雨暴露之中, 占当年武汉市总人口的 49.2%; 暴雨人口暴露总量处于 30~70 万人之间的有 25 个县(市); 暴雨人口暴露总量少于 30 万人的有 55 个县(市)。2000 年代暴雨人口暴露总量大于 70 万人的有 3 个县(市), 分别是天门市、仙桃市和武汉市, 其中武汉市共有 451.04 万人处于暴雨暴露之中, 占当年武汉市总人口的 50.1%; 暴雨人口暴露总量处于 30~70 万人之间有 30 个县(市); 暴雨人口暴露总量少于 30 万人的有 49 个县(市)。2010 年代暴雨人口暴露总量大于 70 万人的有 1 个县(市)是武汉市, 其中武汉市共有 532.02 万人处于暴雨暴露之中, 占当年武汉市总人口的 49.8%; 暴雨人口暴露总量处于 30~70 万人之间有 28 个县(市); 暴雨人口暴露总量少于 30 万人的有 53 个县(市)。

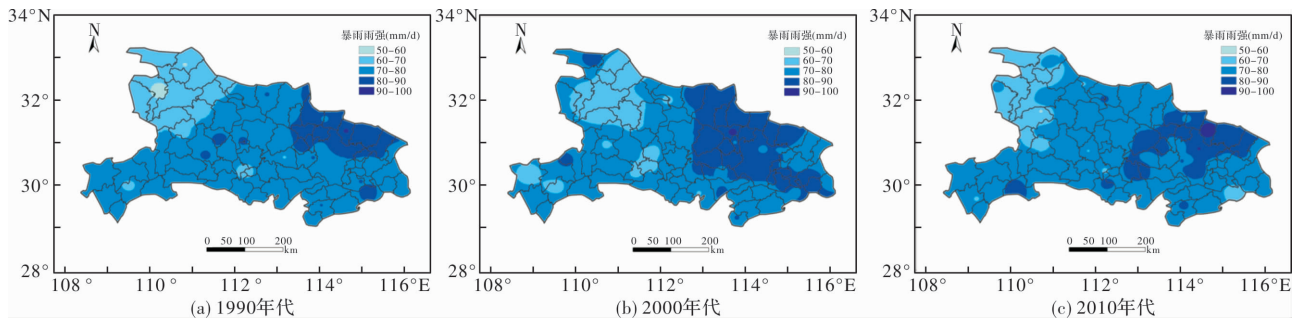


图5 湖北省年代际平均暴雨雨强空间分布图(1986-2015年)

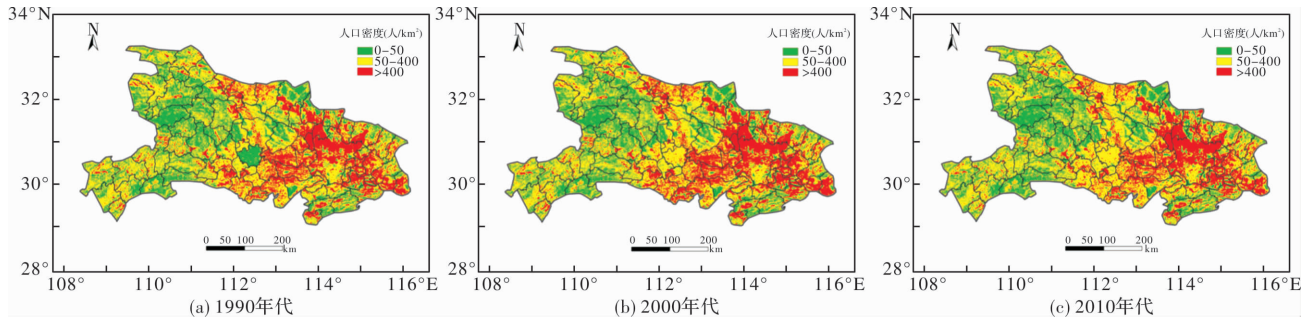


图6 湖北省年代际人口密度分布图

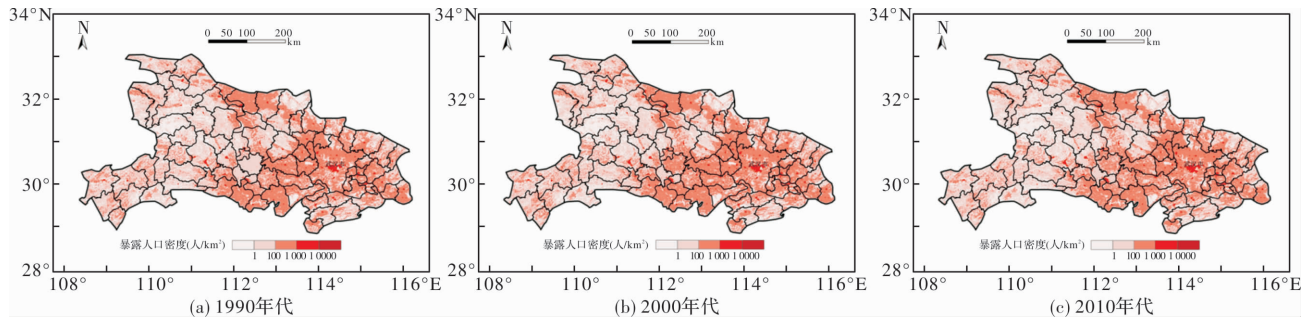


图7 湖北省暴雨人口暴露密度分布图

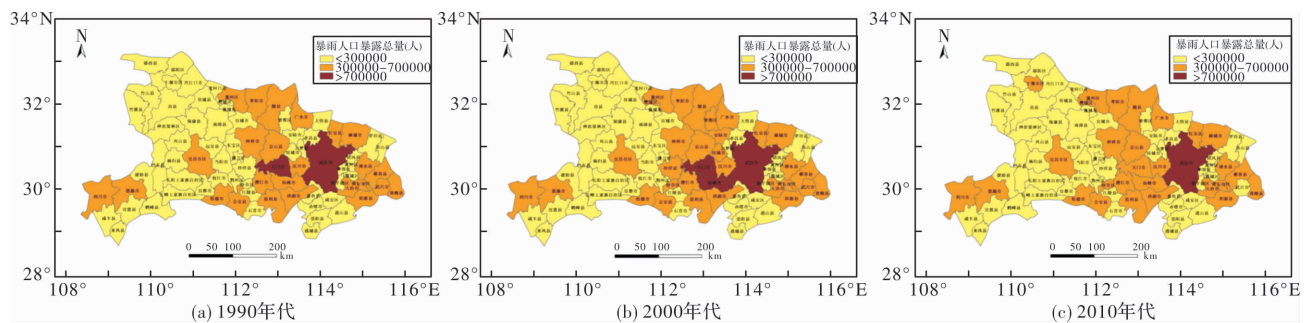


图8 湖北省县域暴雨人口暴露总量分布图

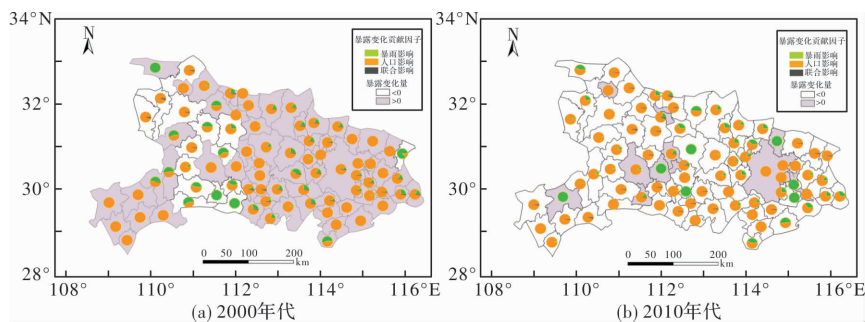


图9 湖北县域暴雨人口暴露变化贡献因子图

三个年代暴雨人口暴露高值区分布没有明显变化, 始终处在以武汉市为中心的东南地区, 低值区大部分都集中在鄂西地区, 这与人口密度分布格局一致。湖北省暴雨人口暴露总人口见表 2, 湖北省暴雨人口暴露总量呈现先增多后减少的趋势。

表 2 湖北省暴雨人口暴露总人口

	1986 - 1995 (1990 年代)	1996 - 2005 (2000 年代)	2006 - 2015 (2010 年代)
总人口/万人	2493.29	2844.73	2738.20
占当年人口 比例/%	48.5%	49.0%	48.7%

### 2.3 暴雨人口暴露变化贡献因子分析

由各县域 2000 年代暴雨人口暴露总量减去其 1990 年代的暴雨人口暴露总量, 得到 2000 年代的暴雨人口暴露总量变化量, 其中只有 15 个县(市)暴雨人口暴露总量人口减少, 其余 67 个县(市)暴雨人口暴露总量人口都增加。大部分县(市)暴雨人口暴露总量变化贡献因子以人口影响为主, 其次是暴雨影响, 联合影响最小; 有 9 个县(市)与之相反, 暴雨人口暴露总量变化量的主要贡献因子是暴雨, 其次是人口(图 9a)。2010 年代各县域暴雨人口暴露总量变化计算方法与 2000 年代一致, 与 2000 年代相比, 2010 年代暴雨人口暴露总量增加的只有 14 个县(市), 其余 68 个县(市)暴雨人口暴露总量均减少。大部分县(市)暴雨人口暴露变化的主要贡献因子是人口, 暴雨对暴雨人口暴露变化的影响占比较上个年代有所上升; 有 8 个县(市)主要贡献因子是暴雨, 且暴雨影响所占比例较大(图 9b)。

湖北省总体上暴雨人口暴露变化量贡献因子是人口影响, 其次是暴雨影响, 联合影响最小。2000 年代暴雨影响占 7%, 人口影响占 92%, 联合影响占 1%; 2010 年代暴雨影响占 15%, 人口影响占 87%, 联合影响占 -2%。比较两个年代, 可以发现, 暴雨影响占比增加。

## 3 结论与讨论

### 3.1 结论

本文运用 1986 - 2015 年湖北省 76 个站点的日降雨量资料, 计算各站点年代平均暴雨雨强, 与 3 次全国人口普查数据制成的网格人口数据相叠加, 加入湖北省暴雨事件下人口脆弱性因素的制约, 定量分析了每个年代的暴雨人口暴露总量及暴雨人口暴露变化量的贡献因子, 主要结论如下。

(1) 时间上, 湖北省暴雨集中在 5 - 8 月, 1986 - 2015 的年平均暴雨雨强波动趋势较大, 年代平均暴雨雨强先增加后减少, 2000 年代暴雨强度最大。空间上, 暴雨雨强始终是由西北到东南逐级增加、最高等级暴雨雨强出现在湖北省东北部。将暴雨雨强等间隔分为五级, 较高等级(3 ~ 5)暴雨雨强影响范围呈年代际增加。

(2) 湖北省在 1986 - 2015 年内, 人口分布格局保持一致, 始终呈现东南密集、西北稀疏的整体格局, 人口分布由东向西递减, 且梯度不断增大。统计湖北省各年代不同人口密度所占比例,

结果表明湖北省人口呈西北向东南迁徙规律, 东西差异进一步加大。

(3) 暴雨人口暴露密度空间分布由西北向东南递增, 且梯度差异不断扩大, 武汉市始终是暴雨人口暴露密度最高的地区, 以武汉市为中心, 暴雨人口暴露密度向四周呈现放射性递减的规律, 鄂西大部分地区暴雨人口暴露密度在 100 人/km<sup>2</sup> 以下, 属于低暴露区。湖北省暴雨人口暴露总量由 1990 年代的 2 493 万人增加到 2000 年代的 2 844 万人, 再减少到 2010 年代的 2 738 万人, 占当年总人口的比例分别为 48.5%、49.0%、48.7%, 占比变化不大。

(4) 湖北省 2000 年代暴雨人口暴露增多的主要贡献因子是人口影响(92%), 其次是暴雨影响(7%), 联合影响比例最小(1%)。2010 年代暴雨人口暴露略有减少, 主要贡献因子也是人口影响(87%), 其次是暴雨影响(15%), 联合影响比例最小, 呈现负贡献(-2%)。比较 2000 年代和 2010 年代两个年代, 暴雨影响的占比在加大。随着年代增加, 湖北省总人口先增加后减少, 而湖北省暴雨人口暴露数量也呈现出同样的规律, 说明在气候变化影响下, 人口变化仍然是影响暴雨人口暴露、风险的主观因素, 这也提示我们提高设防能力、提高人类应对灾害的抗打击能力, 是减轻灾害风险的主要对策。

### 3.2 讨论

本研究利用历史资料构建了暴雨人口暴露的脆弱性曲线, 曲线与实际情况有较好的相关性, 提高了暴雨人口暴露总量预估的准确性。在探讨暴雨人口暴露变化贡献因子时, 分尺度分析了湖北省和各县域的暴雨人口暴露变化贡献因子, 定量评估了暴雨、人口和联合因素对暴雨人口暴露的影响, 发现区域差异明显, 但研究还存有以下不足之处:

站点暴雨雨强数据空间插值方法有待进一步完善。本研究中利用反距离加权插值法得到年代平均暴雨雨强的空间分布数据, 结果与已有研究有较好一致性, 但其精度待提高, 需考虑地形、居民点、土地利用分布等因素。因此深入探讨降水数据插值方法在年代暴雨数据插值中的适用性是进一步提高本论文研究结果科学性的重要方向。

脆弱性曲线样本点较少, 虽然拟合结果符合一般规律, 通过 0.05 显著性水平的检验, 但是样本点分布较离散, 无法排除极端取值的影响, 需要增加更多案例, 提高其置信水平。

灾害是致灾因子、承灾体、孕灾环境共同作用的结果。湖北省东西部地貌、植被、土地利用差异明显, 孕灾环境对暴雨人口暴露评价结果必有影响, 本文由于相关数据的限制, 结果中虽暗含了孕灾环境的影响因素(脆弱性曲线), 但无法单独剥离。因此, 在未来暴雨人口风险预估时, 须充分考虑孕灾环境因素。

## 参考文献:

- [1] 史培军. 灾害风险科学[M]. 北京: 北京师范大学出版社, 2016.

- [2] IPCC. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change[R]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2014: 1132.
- [3] 尹卫霞. 中国暴雨的人口暴露时空变化研究[D]. 北京: 北京师范大学, 2016: 3-31.
- [4] 葛全胜, 邹铭, 郑景云, 等. 中国自然灾害风险综合评估初步研究[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- [5] Deichmann U, Ehrlich D, Small C, et al. Using high resolution satellite data to identification of urban natural risk[R]. Washington: GFDL. 2011.
- [6] 翟盘茂, 潘晓华. 中国北方近 50 年温度和降水极端事件变化[J]. 地理学报, 2003, 58(S1): 1-10.
- [7] 史培军, 孔锋, 方佳毅. 中国年代际暴雨时空变化格局[J]. 地理科学, 2014, 34(11): 1281-1291.
- [8] ZHANG Q, XU C Y, ZHANG Z X, et al. Spatial and temporal variability of precipitation maxima during 1960-2005 in the Yangtze River basin and possible association with large-scale circulation[J]. Journal of Hydrology, 2008, 353(3): 215-227.
- [9] 林建, 杨贵名. 近 30 年中国暴雨时空特征分析[J]. 气象, 2014, 40(7): 816-826.
- [10] 鲍名, 黄荣辉. 近 40 年我国暴雨的年代际变化特征[J]. 大气科学, 2006, 30(6): 1057-1067.
- [11] 姜海如. 中国气象灾害大典(湖北卷)[M]. 北京: 气象出版社, 2007.
- [12] 唐宝琪, 延军平, 王璐璐, 等. 1960-2014 年东北地区大雨和暴雨时间的变化特征[J]. 资源科学, 2015, 37(12): 2514-2523.
- [13] 李小亚, 张勃. 1960-2011 年甘肃河东地区极端降水变化[J]. 中国沙漠, 2013, 33(6): 1884-1890.
- [14] 庄立伟, 王石立. 东北地区逐日气象要素的空间插值方法应用研究[J]. 应用气象学报, 2003, 14(5): 606-615.
- [15] Jones B, Oneill B C, McDaniel L, et al. Future population exposure to US heat extremes [J]. Nature Climate Change, 2015, 5(7): 652-655.
- [16] 葛美玲, 封志明. 基于 GIS 的中国 2000 年人口之分布格局研究—兼与胡焕庸 1935 年之研究对比[J]. 人口研究, 2008, 32(1): 51-57.
- [17] 高媛, 刘敏, 周博. 近 50 年湖北省降水变化特征分析[J]. 长江流域资源与环境, 2012, 21(S1): 167-172.
- [18] 龚胜生, 陈丹阳, 张涛. 1982-2010 年湖北省人口分布格局变迁及其影响因素[J]. 长江流域资源与环境, 2015, 24(5): 728-734.
- [19] 孔锋, 刘凡, 吕丽莉, 等. 1961-2010 年中国大尺度区域暴雨时空分布特征研究[J]. 长江流域资源与环境, 2017, 26(4): 631-640.
- [20] 史培军. 再论灾害研究的理论与实践[J]. 自然灾害学报, 1996, 5(4): 8-19.
- [21] 史培军. 三论灾害研究的理论与实践[J]. 自然灾害学报, 2002, 11(3): 1-9.
- [22] 王露, 封志明, 杨艳昭, 等. 2000-2010 年中国不同地区人口密度变化及其影响因素[J]. 地理学报, 2014, 69(12): 1790-1798.
- [23] 王艳姣, 闫峰. 1960-2010 年中国降水区域分异及代际变化特征[J]. 地理科学进展, 2014, 33(10): 1354-1363.

## Spatial Temporal Characteristics and Contribution Rate of Rainstorm Population Exposure in Hubei

HAN Qinmei<sup>1, 2, 3</sup>, LU Jianjun<sup>3</sup> and SHI Peijun<sup>1, 2, 4</sup>

(1. State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 2. Academy of Disaster Reduction and Emergency Management, MOC-MOE, Beijing 100875, China; 3. Faculty of Information Engineering, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China; 4. Faculty of Geographical Science of Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

**Abstract:** Based on the daily precipitation data of meteorological stations from 1986 to 2015 and the precipitation intensity grading standard issued by China Meteorological Administration, the annual and decadal rainstorm intensities in 1986-1995, 1996-2005 and 2006-2015 in Hubei Province were calculated respectively. The inverse distance weighted interpolation method was used to interpolate the annual and decadal rainstorm intensities. The spatial and temporal variations of the rainstorm were analyzed, and the total exposure amount of the rainstorm population in Hubei Province was calculated by using the population grid data in 1990, 2000 and 2010, and the contribution factors of the population exposure to the rainstorm were analyzed. The results show that the rainstorm intensity in Hubei Province first increases and then decreases, the rainstorm distribution in the east is more than in the west, and the high value areas are concentrated in the northeast; the population growth in Hubei Province is slow, and the southeast is more than in the northwest, showing a trend of population migration to the southeast; the exposure of the rainstorm population in Hubei Province first increases and then decreases, which are 24.933 million (1900s), 28.447 million (2005s), 27.382 million (2010s) accounted for 48.5%, 49.0% and 48.7% of the total population, respectively; the main contributing factors to the change were population, in 2000s, 7% of which were affected by the rainstorm. 92% by the population, and 1% by the combined impact; in 2010s, 15% by the rainstorm, 87% by the population, and -2% by the combined impact.

**Key words:** rainstorm; exposure; interdecadal variation; contribution rate; Hubei Province