

文章编号: 1004-4574(2018)03-0110-09

DOI: 10.13577/j.jnd.2018.0313

湖北省暴雨经济暴露时空变化及贡献率研究

何 研^{1 3 4}, 方 建⁴, 史培军^{1 2 3}

(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. 北京师范大学 民政部-教育部减灾与应急管理研究院 北京 100875;
3. 北京师范大学 地理科学学部 北京 100875; 4. 武汉大学 资源与环境科学学院 湖北 武汉 430079)

摘要: 采用1971—2015年湖北省78个气象站点的日降水数据, 分别计算1971—1980、1981—1990、1991—2000、2001—2010、2011—2015年的平均暴雨雨强, 结合1980、1990、2000、2010、2015年湖北省县级国内生产总值(GDP)数据和“暴雨雨强-经济损失率”模型, 研究湖北省暴雨经济暴露的时空变化, 并量化暴雨影响、经济影响、暴雨经济联合影响对暴雨经济暴露变化的贡献率。结果表明: (1) 时间上, 湖北省暴雨经济暴露在1980年后迅速增长, 2015年达到330亿元, 增长超过23倍, 总体强度呈加重趋势。(2) 空间上, 暴雨经济暴露格局与暴雨分布、经济发展密切相关, 整体东部高于西部, 形成以武汉城市圈为首的沿长江暴雨经济高暴露带。(3) 影响因子贡献率上, 经济发展对暴雨经济暴露变化起主导作用且影响力逐渐增强, 暴雨影响、暴雨经济联合影响对暴雨经济暴露变化起次要作用且影响力逐渐减弱。

关键词: 暴雨; 暴露; 经济; 贡献率; 湖北

中图分类号: X43 文献标志码: A

Spatial-temporal patterns of economic exposure to rainstorm and influencing factors contribution in Hubei province

HE Yan^{1 3 4}, FANG Jian⁴, SHI Peijun^{1 2 3}

(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, Ministry of Civil Affairs and Ministry of Education, Beijing Normal University,
Beijing 100875, China; 3. Faculty of Geographical Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;
4. School of Resource and Environmental Science, Wuhan University, Wuhan 430079, China)

Abstract: Using the daily precipitation datasets from 78 meteorological stations in Hubei province during 1971—2015, the average rainstorm intensity in 1971—1980, 1981—1990, 1991—2000, 2001—2010, 2011—2015 were firstly calculated, respectively. Then combined with gross national products (GDP) for each county in 1980, 1990, 2000, 2010, 2015 and established model of “rainstorm intensity-economic loss rate”, to investigate the spatial-temporal patterns of economic exposure to rainstorm. Moreover, the contribution rate of rainstorm, economic development and their coupling effects to economic exposure were analyzed. The results showed that: (1) Economic exposure to rainstorm of Hubei province had grown rapidly by 23 times from 1980 (1.4 billion yuan) to 2015 (33 billion yuan); the intensity of exposure had also been aggravated. (2) The spatial patterns of economic exposure were closely related to the change of rainstorm and economy, which is higher in the east forming a high exposure belt along the Yangtze River headed by the Wuhan Metropolitan Area. (3) Economic development played a leading role in economic exposure, and its contribution had an increase trend; the rainstorm and coupling effects played a secondary role with a weakening impact.

Key words: rainstorm; exposure; economy; contribution rate; Hubei province

收稿日期: 2018-02-06; 修回日期: 2018-04-15

基金项目: 国家重点研发计划重点专项课题(2016YFA0602404)

Supported by: National Key Research Program of China(2016YFA0602404)

作者简介: 何 研(1995-)女, 博士研究生, 主要从事气候变化与灾害风险研究。E-mail: heyang01@foxmail.com

通讯作者: 史培军(1959-)男, 教授, 博士生导师, 主要从事环境演变与自然灾害研究。E-mail: spj@bnu.edu.cn

20世纪以来,随着人口、资源与环境的矛盾日益加深,全球及各区域自然灾害成灾次数、经济损失和受灾人口明显增多,灾害风险已成为可持续发展的重大障碍^[1]。灾害是社会与自然综合作用的产物^[2],取决于孕灾环境的稳定(敏感)性、致灾因子的危险性以及承灾体的暴露度和脆弱性。IPCC《管理极端事件和灾害风险、推进气候变化适应》特别报告(SREX)指出,极端事件和灾害的影响在很大程度上取决于承灾体的暴露度和脆弱性^[3],灾害风险管理与气候变化适应的重点是减少暴露度和脆弱性^[4],这启发我们应合理规划发展,关注未来因人口和社会财富增长导致的灾害暴露度和脆弱性的变化^[5]。

近年来,我国极端降水强度增强^[6-10],暴雨灾害频发。随着社会经济发展,单位面积经济承载量和基础设施、物质财富等的暴露在持续增加,暴雨灾害的经济损失居高不下^[11]。国内已有诸多关注暴雨灾害暴露的研究,如王艳君等^[11]利用1984—2012年中国暴雨洪涝灾害灾情和社会经济数据,研究了人口、经济、农作物的暴露变化特征,Yong Shi、权瑞松等^[12]基于情景模拟的方法评估了上海老式居民区、中心城区建筑^[13]、地铁^[14]在暴雨内涝致灾条件下的暴露情况,廖春贵等^[15-16]利用广西省暴雨洪涝灾情数据对省内人口、经济的暴露情况进行评价等。

从现有相关文献可知,目前国内对于暴雨灾害暴露的研究大多从实际已发生的灾情入手^[11,15-17],将人口、经济、农作物等承灾体的受灾情况进行统计,作为当年或当次灾害的暴露,没有很好地区分“暴露”与“损失”的差异。因此,本文认为暴露是承灾体处于致灾因子影响范围内,因没有设防或设防水平不足而可能遭受损失的部分。基于此,本文将暴雨经济暴露定义为:区域经济活动(以GDP表征)处于暴雨影响范围内,因没有设防或设防水平不足而可能遭受损失的部分。利用湖北省气象站点日降水资料和国内生产总值(GDP)数据,结合“暴雨雨强-经济损失率”模型,剔除GDP中处于设防保护下的部分,对1980年以来湖北省暴雨经济暴露的时空变化进行了研究,并对暴雨、经济、暴雨与经济联合影响因子的贡献率进行了量化分析,以期为暴雨灾害风险管理与防灾减灾决策提供科学依据。

1 研究区概况、数据及方法

1.1 研究区概况

湖北省地处我国内陆腹地,长江、汉江贯穿其中,经济发展迅速^[18]。因地处中纬度地带,南北天气系统交互影响频繁,暴雨灾害频发,每年因暴雨导致的经济损失高达数十亿元^[19]。近年来,湖北省降水强度增加^[20-21],出现强度大、间断性、频繁出现、高影响等特征^[22-23],暴雨致灾渐趋严重。

1.2 数据来源

降水数据为中国气象科学数据共享服务网地面气象资料数据库提供的湖北省1971—2015年省内78个气象站点逐日降水资料,图1为站点分布情况。参照中国气象局颁布的降水强度等级划分标准,取24 h降水量 ≥ 50 mm作为暴雨阈值。

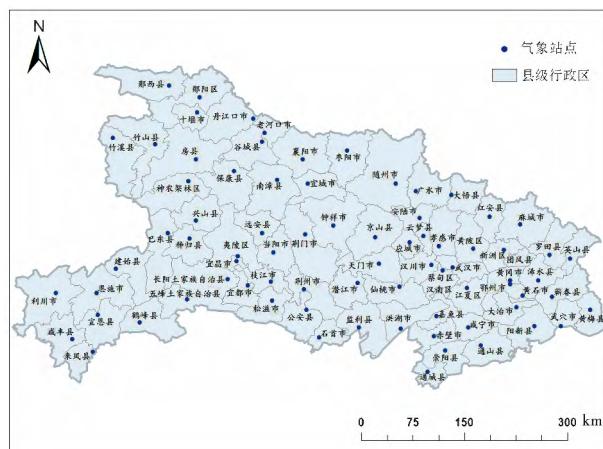


图1 湖北省气象站点分布

Fig. 1 Distribution of meteorological stations
in Hubei province

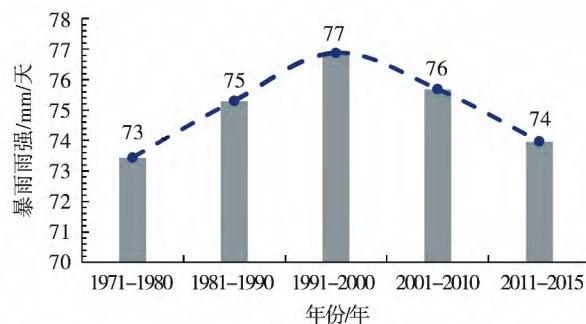


图2 1971—2015年湖北省年代际暴雨雨强变化

Fig. 2 Change of decadal rainstorm intensity in Hubei province during 1971—2015

经济数据为中国经济与社会发展统计数据库提供的湖北省 1980、1990、2000、2010 和 2015 年县市级 GDP 数据，并经价格指数调整至 2015 年可比水平。

暴雨灾害经济损失数据来自《中国气象大典(湖北卷) 》，包括湖北省 1980 年以来 21 次暴雨事件的暴雨雨强、直接经济损失数据。

1.3 研究方法

1.3.1 暴雨雨强

使用暴雨阈值筛选各站点暴雨雨日和暴雨雨量，分别计算各站点 1971—1980 年、1981—1990 年、1991—2000 年、2001—2010 年、2011—2015 年的平均暴雨雨强 I (mm/d ,时段内总暴雨雨量除以总暴雨雨日) 表示平均每个暴雨日的降水强度。

1.3.2 暴雨雨强-经济损失率模型

本文认为，GDP 中处于设防保护下的部分不属于暴露，在暴露计算中应予以剔除，以表示暴雨灾害下可能遭受损失的部分。但因难以得知真实的设防情况，故利用经济损失率反推设防水平。如公式(1)，采用 1980 年以来省内 21 次暴雨事件的暴雨雨强、直接经济损失数据，结合当年受灾地区的 GDP 数据，构建经济损失率 L (%) 和暴雨雨强 I (mm/d) 的关系模型：

$$L = 3.349 \times \ln(I) - 13.274. \quad (1)$$

该模型反映了经济损失率随暴雨雨强的增大而增大($P < 0.01$)，相比以往不考虑设防的暴露研究方法，该模型的加入提高了暴露研究的准确性。

1.3.3 暴雨经济暴露

$$E_{ia} = G_{ia} \times L_{ia}. \quad (2)$$

公式(2) 中 i 为年份($i = 1980, 1990, 2000, 2010, 2015$)， G_{ia} 表示 a 县第 i 年的 GDP 总量， L_{ia} 表示由 a 县第 i 年所在时段平均暴雨雨强经公式(1) 计算得到的经济损失率，二者相乘得到 E_{ia} ，即 a 县第 i 年的暴雨经济暴露。对省内县市逐一进行上述计算，得到各县市各年份暴雨经济暴露结果，该结果综合考虑了暴雨强度、GDP 总量和设防水平，与实际暴雨灾害的暴露情况较为接近。

1.3.4 影响因子贡献率

本研究将暴雨经济暴露的变化归因为三个方面：暴雨影响(R)、经济影响(G) 和暴雨经济联合影响($R&G$)。对某县 t_1 到 t_2 时期的暴露变化(ΔE)，其影响因子贡献率为：

①暴雨贡献(C_R)：

$$C_R = \frac{G_1 \times L_2 - E_1}{\Delta E}. \quad (3)$$

公式(3) 中， G_1 为该县 t_1 时期的 GDP， L_2 为该县 t_2 时期暴雨灾害经济损失率， E_1 为该县 t_1 时期的暴雨经济暴露， $G_1 \times L_2 - E_1$ 表示保持 t_1 时期 GDP 不变，仅由暴雨变化(导致经济损失率变化) 引起的暴露变化，除以暴露变化总量 ΔE ，即为暴雨贡献率。

②经济贡献(C_G)：

$$C_G = \frac{G_2 \times L_1 - E_1}{\Delta E}. \quad (4)$$

公式(4) 中， G_2 为该县 t_2 时期的 GDP， L_1 为该县 t_1 时期暴雨灾害经济损失率， $G_2 \times L_1 - E_1$ 表示保持 t_1 时期暴雨(即经济损失率) 不变，仅由经济变化引起的暴露变化，除以暴露变化总量 ΔE ，即为经济贡献率。

③暴雨经济联合贡献($C_{R&G}$)：

$$C_{R&G} = 1 - C_R - C_G. \quad (5)$$

公式(5) 中，暴雨经济联合贡献率为 1 减暴雨贡献率、经济贡献率。

2 暴雨经济暴露时空变化

2.1 暴雨雨强时空变化

湖北省年代际暴雨雨强在 1971—2015 年间呈现先上升后下降趋势(图 2)，最低为 73 mm/d，最高为 77 mm/d，总体变化不明显。

暴雨雨强空间格局变化明显,整体上东部高、西部低,从东南向西北逐步递减,且暴雨雨强高值区有明显的从西向东转移的趋势,范围先扩大后缩小。1971—1980年(图3(a)),暴雨雨强高值区分布在中西部地区,低值区在东、中、西部均有分布。1981—1990年(图3(b)),西北地区暴雨雨强明显减小,东北地区暴雨雨强明显增加,暴雨雨强高值区向东部转移,初步形成东高西低的暴雨分布格局。1991—2000年(图3(c)),西南地区暴雨雨强减小,东北地区暴雨雨强继续增大,暴雨雨强高值区在东部地区连成一片,全省暴雨雨强明显增加。2001—2010年(图3(d)),暴雨雨强高值区继续向东移动,范围缩小,全省暴雨雨强有所下降。2011—2015年(图3(e)),暴雨雨强高值区继续向东移动,范围进一步缩小,全省暴雨雨强进一步下降。

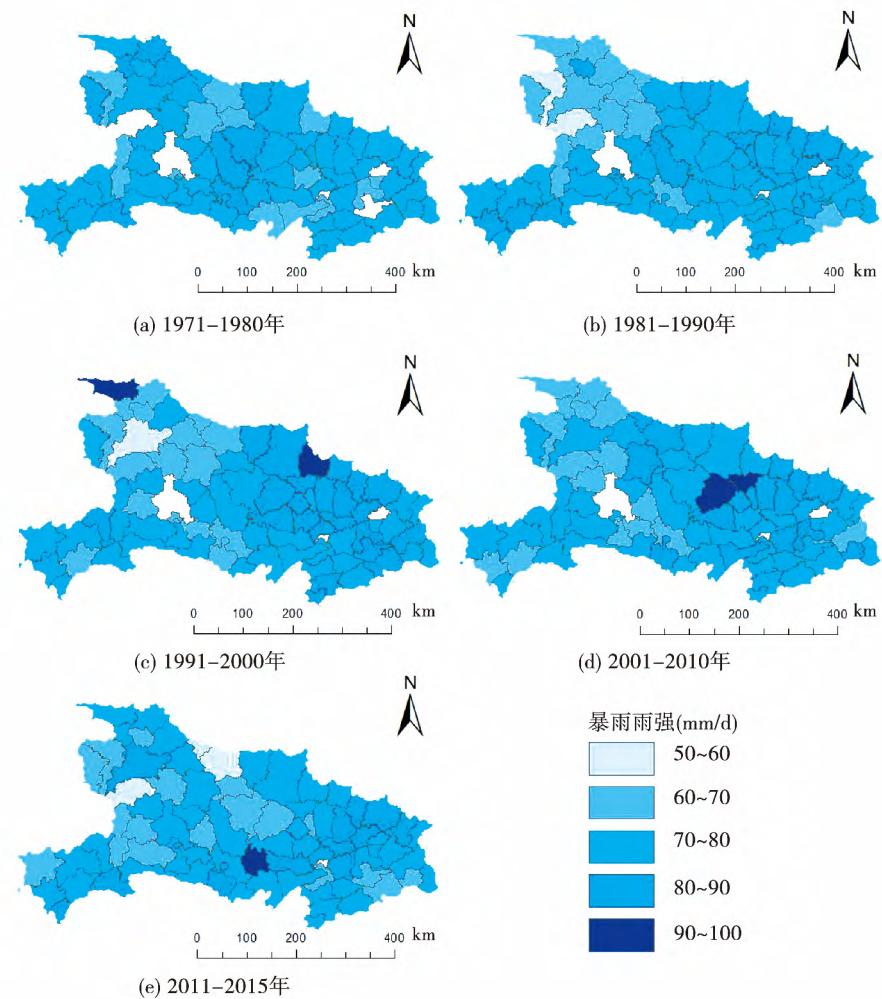


图3 湖北省年代际暴雨雨强空间格局变化

Fig. 3 Spatial distribution patterns of rainstorm intensity in Hubei province during different decades

表1 湖北省各级暴雨经济暴露及其占比变化(亿元,%)

Table 1 Change of economic exposure to rainstorm and its proportion in Hubei province

年份(年)	暴雨经济暴露等级(I-V级,mm/d)				
	I级(50-60)	II级(60-70)	III级(70-80)	IV级(80-90)	V级(90-100)
1980	0(0.0%)	1.8(12.5%)	10.1(70.9%)	2.4(16.6%)	0(0.0%)
1990	0.05(0.2%)	2.0(6.2%)	16.8(51.7%)	13.6(41.9%)	0(0.0%)
2000	0.1(0.1%)	9.4(11.5%)	23.1(28.2%)	47.9(58.7%)	1.3(1.5%)
2010	0(0.0%)	19.6(9.6%)	119.5(58.3%)	60.8(29.6%)	5.2(2.5%)
2015	5.4(1.7%)	32(9.7%)	133.7(40.5%)	147.8(44.8%)	10.8(3.3%)

2.2 暴雨经济暴露时间变化

全省暴雨经济暴露在 1980—2015 年间迅速增长,从 14 亿元持续增长至 330 亿元,增长超过 23 倍。暴雨经济暴露占 GDP 比例先升后降,省内暴露形势先加重后趋于缓和(图 4)。

不同强度的暴雨对应的危险性不同,等级越高,暴露面临的危险性越大,故按暴雨雨强对暴雨经济暴露进行分级统计(表 1)。

湖北省暴雨经济暴露主要分布在Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ 级,暴露构成强度经历了“加重-加重-缓和-加重”的变化过程,整体呈加重趋势,危险性增强。1980 年,Ⅲ 级暴雨经济暴露占据了绝大部分(70.9%),Ⅱ 级、Ⅳ 级占比较小。1990 年,Ⅲ 级暴雨经济暴露下降至 51.7%,Ⅳ 级暴雨经济暴露大幅增长至 41.9%,暴雨经济暴露不仅总量增加,其构成强度也在增强。2000 年,省内出现最高等级 V 级暴雨经济暴露,Ⅲ 级

暴雨经济暴露继续大幅减小,Ⅳ 级暴雨经济暴露持续增加,暴雨经济暴露构成强度继续增强。2010 年,Ⅲ 级暴雨经济暴露占比重新增加至 58.3%,Ⅳ 级暴雨经济暴露大幅降低至 29.6%,V 级暴雨经济暴露占比微弱上升,暴雨经济暴露构成强度有所下降。2015 年,Ⅲ 级暴雨经济暴露减小至 40.5%,Ⅳ 级暴雨经济暴露重新增长至 44.8%,V 级暴雨经济暴露继续增长至 3.3%,暴雨经济暴露构成强度再次增强。

2.3 暴雨经济暴露空间变化

暴雨经济暴露的空间格局演变受暴雨分布、经济发展的共同影响。1980 年,省内暴雨经济暴露普遍较小(图 5(a))。武汉市因 GDP 远超其他县市,故虽暴雨雨强处于中等水平,但暴雨经济暴露始终远高于其他县市。1990 年,由于暴雨雨强高值区东移,经济发展东快于西,中东部地区暴雨经济暴露明显增加(图 5(b)),长江经济带的划定使沿江地区暴雨经济暴露增长明显,中西部地区的襄阳市、荆门市、十堰市暴雨经济暴露较高。2000 年,暴雨雨强高值区在东部扩散,中东部暴雨经济暴露增加明显,西部地区增长较慢,暴雨经济暴露出现不均衡发展,沿江暴雨经济高暴露带初具雏形(图 5(c))。2010 年,暴雨雨强高值区继续东移,中东部地区暴雨经济暴露继续增长,并向西南地区延伸(图 5(d)),武汉“1+8”城市圈战略使武汉对周边地区的辐射带动作用增强,形成以武汉为中心的暴雨经济高暴露圈。此外,“一主两副”战略使襄阳、宜昌经济快速增长,加之暴雨雨强增加,暴雨经济暴露增长明显。“两圈一带”(武汉城市圈+鄂西生态文化旅游圈+长江经济带)战略使鄂西南地区得到发展,恩施等西部地区的暴雨经济暴露增加。2015 年,暴雨雨强高值区覆盖了武汉全域及周边地区,武汉城市圈暴露继续增加,形成以武汉为龙头的沿长江暴雨经济高暴露带,西部地区暴雨经济暴露进一步增加(图 5(e))。

3 暴雨经济暴露影响因子贡献率分析

对 1980—1990 年、1990—2000 年、2000—2010 年、2010—2015 年暴雨经济暴露的变化来说,三个影响因子贡献率的变化特征非常明显:经济影响的贡献率始终为正值且逐步上升,占据主要地位;暴雨影响和暴雨经济联合作用在 2000 年以前为正贡献,在 2000 年后为负贡献,贡献率始终占较小比例且逐步下降(图 6)。

1971—2000 年,省内暴雨雨强增大,经济快速发展,暴雨经济暴露随之增加,此时暴雨、经济与暴雨经济暴露的变化趋势一致,因此暴雨影响、经济影响和暴雨经济联合作用对暴雨经济暴露的增长都表现为正贡献。经济发展作为一种人为因素,对暴露增长的作用远大于自然因素暴雨变化所带来的影响,因此经济影响的贡献率远超过暴雨影响和暴雨经济联合作用的贡献率,且因经济快速发展、GDP 总量增大使经济影响逐渐增强,暴雨影响、暴雨经济联合作用逐渐减弱。

2000—2015 年,省内暴雨雨强减小,经济持续发展,暴雨经济暴露仍在增加,此时暴雨与暴雨经济暴露的变化趋势相反,故暴雨影响、暴雨经济联合作用对暴雨经济暴露转为负贡献,而经济影响对暴雨经济暴露

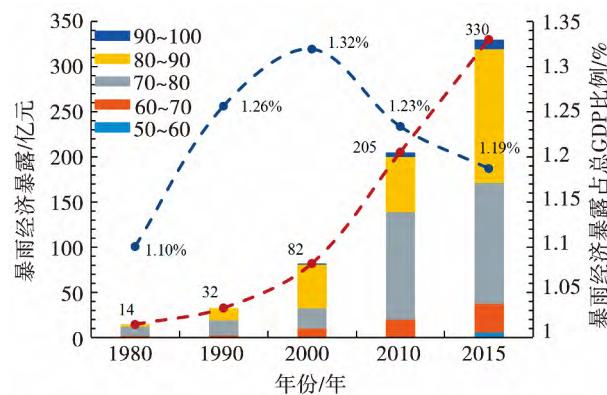


图 4 湖北省 1980、1990、2000、2010、2015 年
暴雨经济暴露及占 GDP 比例

Fig. 4 Economic exposure to rainstorm and its proportion
of GDP for Hubei province
in 1980, 1990, 2000, 2010 and 2015

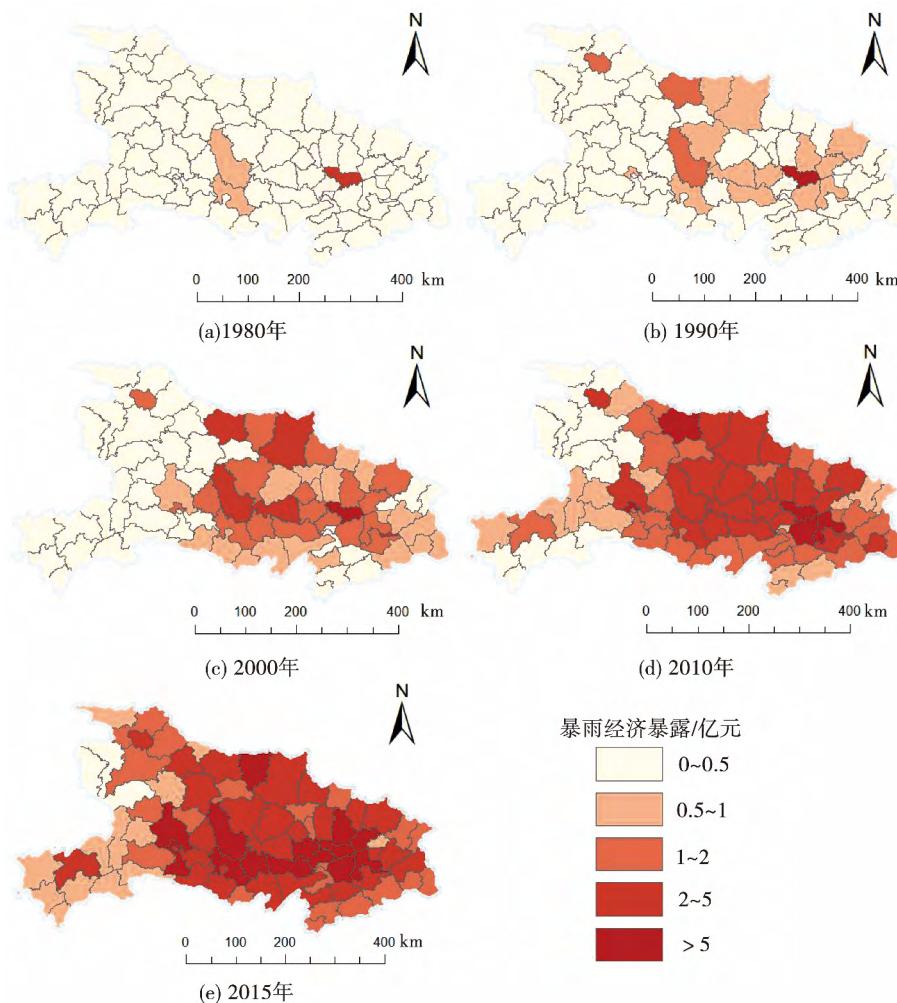


图 5 湖北省暴雨经济暴露空间格局变化

Fig. 5 Spatial distribution patterns of economic exposure to rainstorm in Hubei province

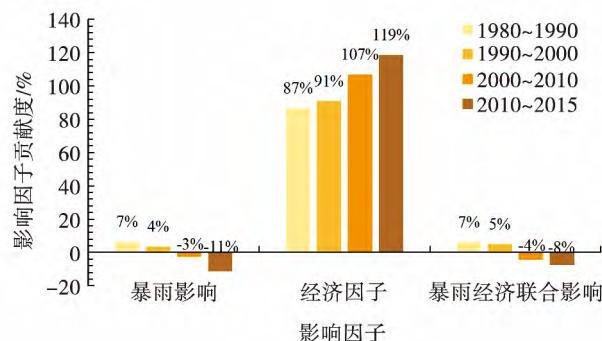


图 6 暴雨经济暴露影响因子贡献率变化

Fig. 6 Change of influence factors' contribution rate of economic exposure to rainstorm

仍为正贡献。由于暴露增长是经济影响的正贡献抵消了暴雨影响、暴雨经济联合影响的负贡献所致,因此经济影响的贡献率超过了100%,且由于暴雨雨强持续减小、经济持续增长,使得暴雨影响、暴雨经济联合影响的负贡献增大,经济影响的正贡献增大。

由于各县市暴雨经济暴露的增减情况、变化原因不同,故影响因子贡献率的分配存在地域差异。总体来看,在省内大部分地区,经济影响在暴雨经济暴露变化中占主导地位,暴雨影响、暴雨经济联合影响占次要地位。

1990年相比1980年,绝大部分县市暴雨经济暴露都在增加,只有西北地区5个县市和赤壁市暴雨经济

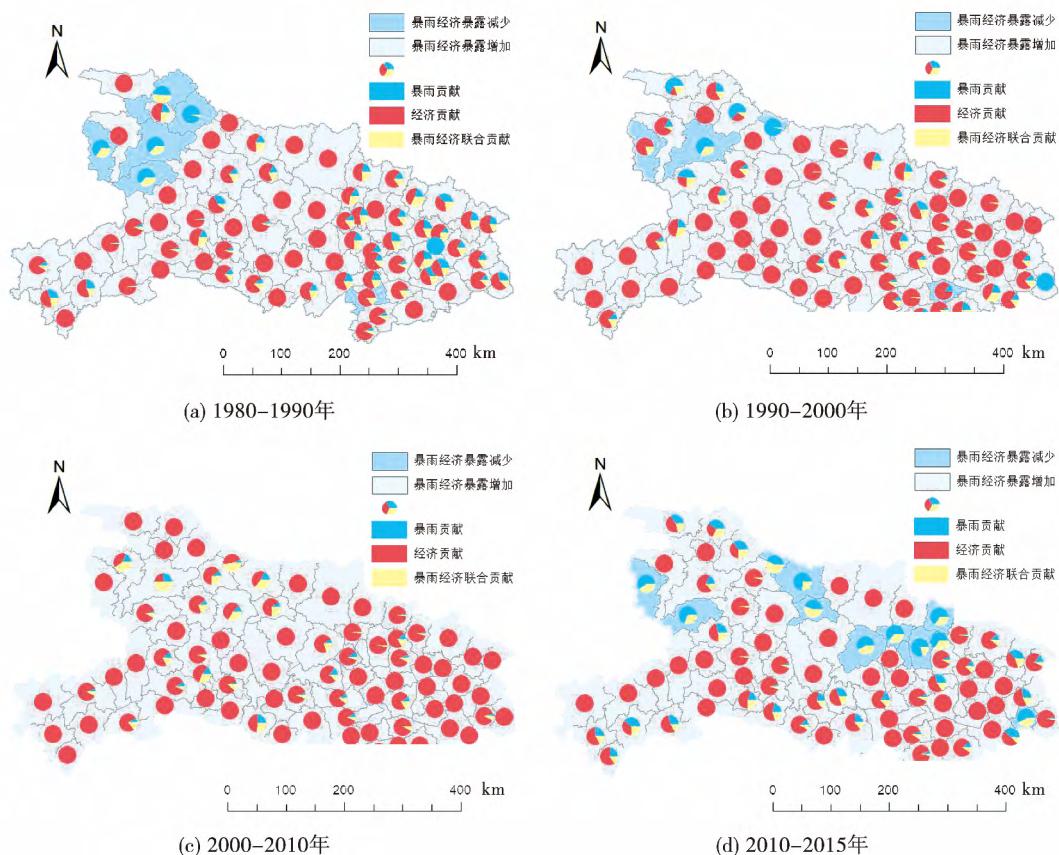


图7 暴雨经济暴露影响因子贡献率空间格局变化

Fig. 7 Spatial distribution patterns of influencing factors' contribution rate of economic exposure to rainstorm in Hubei province

暴露有所减少(图7(a))。其中 赤壁市是由经济负增长导致,故经济影响占主要地位;西北5个县市都由暴雨雨强明显降低导致,因此暴雨影响为主,暴雨经济联合影响为辅。在暴雨经济暴露增加的县市中,由于1980年后暴雨雨强高值区向东转移,东部地区暴雨雨强普遍上升,导致暴雨影响、暴雨经济联合影响在东部地区表现明显,而中西部地区暴雨雨强增长微弱甚至减少,导致经济影响是暴雨经济暴露增长的主导因素。

2000年相比1990年,西北部竹溪县、房县、老河口市和东南部咸宁市的暴雨经济暴露有所减小(图7(b))。其中,竹溪县是由经济负增长导致,故经济影响占主要地位。房县、老河口市是由暴雨雨强明显降低所致,故暴雨影响占主导地位。咸宁市同时出现经济负增长和暴雨雨强降低,但经济负增长的影响超过了暴雨雨强降低的影响,故经济影响仍占主导地位。在暴雨经济暴露增加的县市中,由于1990年后暴雨雨强高值区在东部地区继续扩大,暴雨影响、暴雨经济联合影响在东部地区表现明显,而在西部地区,经济增长对暴雨经济暴露增长的影响远超暴雨雨强变化带来的影响,故主要表现为经济影响。

2010年相比2000年,省内所有县市的暴雨经济暴露都在增加(图7(c))。由于西北部、中部地区暴雨有所增强,故暴雨影响、暴雨经济联合影响表现明显,东部地区暴雨雨强高值区范围缩小,暴雨影响减弱,经济影响占主要地位。

2015年相比2010年,省内11个县市的暴雨经济暴露有所减少,主要集中北部地区(图7(d)),此时全省各县市均不存在经济负增长,暴雨经济暴露减少均是由暴雨雨强大幅降低引起,因此在这些地区暴雨影响、暴雨经济联合影响占主导。在暴雨经济暴露增加的地区,西部、中南部地区因暴雨雨强明显增加,故暴雨影响、暴雨经济联合影响表现明显,其他地区仍是经济影响占主要地位。

4 结论与讨论

4.1 结论

(1) 1971—2015年,湖北省年代际暴雨雨强先上升后下降,经历了“增-增-减-减”的变化过程。空间(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

上,暴雨雨强高值区由西向东转移,先扩张后缩小,逐步形成东高西低、由东南向西北逐渐递减的空间格局。

(2) 湖北省暴雨经济暴露在1980年到2015年间迅速增加,从14亿元增长至330亿元,增长超过23倍。暴雨经济暴露占GDP比例在1.1%~1.32%之间,呈先上升后下降趋势。在暴雨经济暴露的构成强度上,经历了“加重-加重-缓和-加重”的变化过程,整体而言暴雨经济暴露面临的危险性增强。

(3) 湖北省暴雨经济暴露在空间上普遍表现为增长,其空间格局与暴雨分布、经济发展密切相关。暴雨经济暴露从武汉、荆门、襄阳三地开始以点带面扩散增长,由于东部地区暴雨雨强、经济水平均高于西部,导致暴雨经济暴露增长也呈现东快于西的不平衡发展格局。长江经济带的开放、武汉城市圈、“一主两副”等发展战略促进了以武汉城市圈为龙头的沿长江暴雨经济高暴露带的形成,同时西部地区暴雨经济暴露进一步增加。

(4) 暴雨、经济的变化趋势与暴雨经济暴露变化趋势是否一致,决定了贡献的正负。2000年以前,全省暴雨雨强、经济均有增长,故暴雨影响、经济影响、暴雨经济联合影响对暴雨经济暴露增长均为正贡献;2000年之后,暴雨雨强下降导致暴雨影响、暴雨经济联合影响对暴雨经济暴露转为负贡献。由于经济增长和抵消作用,经济影响的正贡献始终占据主导地位且贡献率增加,暴雨影响、暴雨经济联合影响始终占据次要地位且贡献率减小。

贡献率的空间分布存在地域差异,对暴雨经济暴露减小的县市,当由经济负增长导致暴雨经济暴露减小时,经济影响仍为主要贡献;当由暴雨雨强明显减小导致暴雨经济暴露减小时,暴雨影响、暴雨经济联合影响为主导因素。对暴雨经济暴露增加的县市,在暴雨雨强明显升高的地区,暴雨影响、暴雨经济联合影响表现明显;在暴雨雨强增加微弱甚至减小的地区,暴雨影响、暴雨经济联合影响不明显,经济影响占主导地位。

4.2 讨论

本文利用湖北省降水数据、GDP数据,结合“暴雨雨强-经济损失率”关系模型,得到省内暴雨经济暴露的时空变化情况,分离了引起暴雨经济暴露变化的影响因子,并对其贡献率变化及成因进行分析。以下梳理了本研究尚待改进的部分:

(1) 以县内站点暴雨雨强代表全县暴雨雨强,由于暴雨的空间尺度较小,覆盖区内各点的暴雨雨强不同,故会存在代表性、均一性问题。由于本研究采取的是时段平均暴雨雨强,用以反映长时期暴雨的平均强度,故使用县内站点的平均雨强来代表全县的暴雨强度水平。

(2) 本研究所采用的经济数据、暴雨数据的空间尺度均为县级,故暴雨经济暴露结果也基于县级单元,县内的空间差异难以呈现。本研究的暴雨经济暴露结果受限于暴雨、经济数据的空间尺度,若能提高数据的空间分辨率,可使暴雨经济暴露量和空间格局更为准确。

(3) 本研究为剔除设防对暴雨经济暴露的影响,使用1980年以来湖北省21次暴雨事件的雨强、直接经济损失数据建立了“暴雨雨强-经济损失率”模型。需要改进的是:一是可用暴雨事件较少;二是假定暴雨雨强与经济损失率的关系在时间上保持不变,即设防水平不变,但实际上社会经济发展会使设防水平相应提高。因此,需要增加案例,考虑区域土地利用、产业结构等因素提高模型置信水平,可使暴雨经济暴露结果更为准确。

参考文献:

- [1] 刘婧,史培军,葛怡,等.灾害恢复力研究进展综述[J].地球科学进展,2006,21(2):211~218.
LIU Jing, SHI Peijun, GE Yi, et al. The review of disaster resilience research [J]. Advances in Earth Science, 2006, 21(2): 211~218. (in Chinese)
- [2] 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.
SHI Peijun. Theory on disaster science and disaster dynamics [J]. Journal of Natural Disasters, 2002, 11(3): 1~9. (in Chinese)
- [3] IPCC. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation: a Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change [M]. Cambridge and New York: Cambridge University Press, 2012.
- [4] 郑菲,孙诚,李建平.从气候变化的新视角理解灾害风险、暴露度、脆弱性和恢复力[J].气候变化研究进展,2012,8(2):79~83.
ZHENG Fei, SUN Cheng, LI Jianping. Climate change: new dimensions in disaster risk, exposure, vulnerability, and resilience [J]. Advances in Climate Change Research, 2012, 8(2): 79~83. (in Chinese)
- [5] 郑艳.将灾害风险管理与适应气候变化纳入可持续发展[J].气候变化研究进展,2012,8(2):103~109.
ZHENG Yan. Integrating disaster risk management and climate change adaptation into sustainable development [J]. Advances in Climate Change Research, 2012, 8(2): 103~109. (in Chinese)

- [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(增刊): 1–10.
Zhai Panmao, PAN Xiaohua. Change in extreme temperature and precipitation over northern China during the second half of the 20th century [J]. Acta Geographica Sinica, 2003, 58 (suppl.) : 1 – 10. (in Chinese)
- [7] 刘家福, 李京, 梁雨华, 等. 亚洲典型区域暴雨洪灾风险评价研究 [J]. 地理科学, 2011, 31(10) : 1266 – 1271.
LIU Jiafu, LI Jing, LIANG Yuhua, et al. Storm flood risk assessment in the typical regions of Asia [J]. Scientia Geographica Sinica, 2011, 31 (10) : 1266 – 1271. (in Chinese)
- [8] 孙燕, 朱伟军. 江苏省梅汛期暴雨特征及其对长江下游水位的影响 [J]. 地理科学, 2013, 33(2) : 238 – 243.
SUN Yan, ZHU Weijun. Rainstorm characteristics during Meiyu period in Jiangsu and its effect on water levels of lower reaches of the Changjiang river [J]. Scientia Geographica Sinica, 2013, 33(2) : 238 – 243. (in Chinese)
- [9] 钱维宏. 气候变化与中国极端气候事件图集 [M]. 北京: 气象出版社, 2011.
XIAN Weihong. Atlas of Climate Change and China Extreme Climate [M]. Beijing: China Meteorological Press, 2011. (in Chinese)
- [10] 满苏尔·沙比提, 吴美华. 南疆近 60 年来洪灾时空变化特征分析 [J]. 地理科学, 2012, 32(3) : 386 – 392.
MANSUR Sabit, WU Meihua. The spatio-temporal change characteristics of flood disaster in the southern Xinjiang in recent 60 years [J]. Scientia Geographica Sinica, 2012, 32(3) : 386 – 392. (in Chinese)
- [11] 王艳君, 高超, 王安乾, 等. 中国暴雨洪涝灾害的暴露度与脆弱性时空变化特征 [J]. 气候变化研究进展, 2014, 10(6) : 391 – 398.
WANG Yanjun, GAO Chao, WANG Anqian, et al. Temporal and spatial variation of exposure and vulnerability of flood disaster of China [J]. Advances in Climate Change Research, 2014, 10(6) : 391 – 398. (in Chinese)
- [12] Yong Shi, Chun Shi, Shi Yuan Xu, et al. Exposure assessment of rainstorm waterlogging on old-style residences in Shanghai based on scenario simulation [J]. Natural Hazards, 2010(53) : 259 – 272.
- [13] 权瑞松, 刘敏, 张丽佳, 等. 基于情景模拟的上海中心城区建筑暴雨内涝暴露性评价 [J]. 地理科学, 2011, 31(2) : 148 – 152.
QUAN Ruisong, LIU Min, ZHANG Lijia, et al. Exposure assessment of rainstorm waterlogging on buildings in central urban area of Shanghai based on scenario simulation [J]. Scientia Geographica Sinica, 2011, 31(2) : 148 – 152. (in Chinese)
- [14] 权瑞松. 多情景视角的上海中心城区地铁暴雨内涝暴露性分析 [J]. 地理科学, 2015, 35(4) : 471 – 475.
QUAN Ruisong. Exposure analysis of rainstorm waterlogging on subway in central urban area of Shanghai based on multiple scenario perspective [J]. Scientia Geographica Sinica, 2015, 35(4) : 471 – 475. (in Chinese)
- [15] 廖春贵, 熊小菊, 胡宝清. 2015 年广西暴雨洪涝灾害的时空格局与暴露度评价 [J]. 农村经济与科技, 2017, 28(6) : 1 – 6.
LIAO Chungui, XIONG Xiaoju, HU Baoqing. Spatial-temporal pattern and assessment of exposure to rainstorm and flood disaster in Guangxi in 2015 [J]. Rural Economy and Science-Technology, 2017, 28(6) : 1 – 6. (in Chinese)
- [16] 廖春贵, 熊小菊, 胡宝清. 广西暴雨洪涝灾害的暴露度与脆弱性时空特征 [J]. 福建农业科技, 2017(4) : 1 – 5.
LIAO Chungui, XIONG Xiaoju, HU Baoqing. Temporal and spatial characteristics in exposure and vulnerability of rainstorm and flood disaster in Guangxi [J]. Fujian Agricultural Science and Technology, 2017(4) : 1 – 5. (in Chinese)
- [17] 王豫燕, 王艳君, 姜彤. 江苏省暴雨洪涝灾害的暴露度和脆弱性时空演变特征 [J]. 长江科学院院报, 2016, 33(4) : 27 – 45.
WANG Yuyan, WANG Yanjun, JIANG Tong. Spatial-temporal characteristics of exposure and vulnerability to flood disaster in Jiangsu province [J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2016, 33(4) : 27 – 45. (in Chinese)
- [18] 蒋本华, 谢升峰. 湖北省产业结构调整分析 [J]. 中国集体经济, 2015(6) : 28 – 29.
JIANG Benhua, XIE Shengfeng. Analysis of industrial structure adjustment in Hubei province [J]. China Collective Economy, 2015(6) : 28 – 29. (in Chinese)
- [19] 邵未兰, 张宁, 岳阳, 等. 基于距离函数的区域性暴雨灾害风险预估方法研究 [J]. 暴雨灾害, 2010, 29(3) : 268 – 273.
SHAO Molan, ZHANG Ning, YUE Yang, et al. Study on a disaster risk prediction method for regional heavy rain events based on euclidean distance function [J]. Torrential Rain and Disasters, 2010, 29(3) : 268 – 273. (in Chinese)
- [20] 杨宏青, 陈正洪, 石燕, 等. 长江流域近 40 年强降水的变化趋势 [J]. 气象, 2005, 31(3) : 66 – 68.
YANG Hongqing, CHEN Zhenghong, SHI Yan, et al. Change trends of heavy rainfall events for last 40 years in the Changjiang Valley [J]. Meteorological Monthly, 2005, 31(3) : 66 – 68. (in Chinese)
- [21] 刘可群, 陈正洪, 张礼平, 等. 湖北省近 45 年降水气候变化及其对旱涝的影响 [J]. 气象, 2007, 33(11) : 58 – 64.
LIU Kequn, CHEN Zhenghong, ZHANG Liping, et al. Analysis of precipitation characteristics in Hubei province and their influence on flood/drought in the last 45 years [J]. Meteorological Monthly, 2007, 33(11) : 58 – 64. (in Chinese)
- [22] 邵未兰, 谢萍. 2004 年湖北省主要气象灾害的影响评价 [J]. 湖北气象, 2005, 24(3) : 36 – 38.
SHAO Molan, XIE Ping. Evaluation of the influence of major meteorological disasters in Hubei province in 2004 [J]. Meteorology Journal of Hubei, 2005, 24(3) : 36 – 38. (in Chinese)
- [23] 邵未兰, 谢萍. 2005 年湖北省主要气象灾害的影响评价 [J]. 湖北气象, 2006, 25(1) : 37 – 41.
SHAO Molan, XIE Ping. Evaluation of the influence of major meteorological disasters in Hubei province in 2005 [J]. Meteorology Journal of Hubei, 2006, 25(1) : 37 – 41. (in Chinese)