

城市化品质、城市韧性与“台风-暴雨” 灾害风险分析 ——以7个东南沿海省市为例

罗紫元, 曾坚*

天津大学建筑学院, 天津 300072

摘要 基于中国7个东南沿海省市2005—2019年的面板数据, 量化评价了城市化品质、城市韧性和“台风-暴雨”灾害风险, 分析了城市化品质与城市韧性的耦合协调度, 并对城市韧性在城市化品质对“台风-暴雨”灾害风险影响中的中介效应做出了实证分析。结果显示: 7个东南沿海省市的城市化品质与城市韧性的耦合协调度存在差异, 总体上经历了“先降后升”的变化。高品质城市化和高城市韧性水平对“台风-暴雨”灾害风险起到显著减弱作用, 城市韧性在城市化品质与“台风-暴雨”灾害风险间发挥中介作用。但受目前城市韧性各组成部分发展不均衡的影响, 经济韧性、社会韧性与生态韧性发挥部分中介效应, 而基础设施韧性发挥遮掩效应。

关键词 城市化; 城市韧性; 灾害风险; 中介效应; 城市防灾

城市化不仅体现在人口向城市的聚集, 还伴随经济、社会、文化等城市子系统的发展演变, 高密度的建成环境和人口经济孕育出复杂的社会风险, 面对台风、暴雨等自然灾害风险的巨大不确定性, 多灾种间的连锁反应和放大效应共同形成复杂的城市风险系统。中国长期受到自然灾害的影响, 其中台风、暴雨等气候灾害占比70%, 是世界上受台风灾害影响最大的国家之一。气候变化加大了台风、

暴雨灾害出现的频率与强度, 进一步增加了沿海省市的灾害风险和可能损失。

现有研究对城市化、城市韧性和“台风-暴雨”灾害风险均已经开展了较为深入的研究。在城市化方面, 研究主要涉及城市化的影响因素和驱动要素、城市化空间分布格局及演变、城市化及其子系统评估等^[1-5]。在城市韧性方面, 现有对城市韧性评价的研究已较丰富^[6-7], 并在韧性规划方面进行

收稿日期: 2020-09-24; 修回日期: 2020-12-02

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(52078330)

作者简介: 罗紫元, 博士研究生, 研究方向为韧性城市、城市防灾减灾、生态城市规划, 电子信箱: ziyuan_luo@qq.com; 曾坚(通信作者), 教授, 研究方向为城市防灾减灾、韧性城市规划方法、绿色生态城市, 电子信箱: 13602058416@163.com

引用格式: 罗紫元, 曾坚. 城市化品质、城市韧性与“台风-暴雨”灾害风险分析——以7个东南沿海省市为例[J]. 科技导报, 2021, 39(15): 124-134; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2021.15.013

了一定尝试^[8-9]。针对“台风-暴雨”灾害风险的研究集中关注风险评估、空间分布与风险应对^[10-12]。有关城市化对“台风-暴雨”灾害风险影响的研究在研究结论上呈现出差异化,金义蓉等认为快速城市化的局地增雨效应增加了暴雨灾害风险^[13]。César等^[14]在研究中指出城市化导致的土地利用变化,制约了沿海地区对台风及其次生灾害的应对能力,造成巨大的社会经济损失。Carolina等^[15]的研究指出城市快速开发降低了海岸带的可持续水平,使其应对灾害风险的脆弱性较高。相反的,Montreuil等^[16]的研究则指出高品质城市化地区的海滩在台风灾害后具有较好的恢复能力。Melissa等^[17]从土地利用和生态设计的角度入手,指出可持续的城市化能够减少台风灾害损失。可见,城市化增速和城市化品质与“台风-暴雨”灾害风险间存在一定的因果关系,但相关研究多从描述城市化增速的城市化率入手^[18],较少反映城市化品质对灾害风险的影响。此外,城市韧性由于具有抵抗力、恢复力等复杂特性而成为城市应对灾害风险和可持续发展的重要手段,有关城市韧性对灾害风险的影响^[8-9]及城市化与城市韧性的耦合关系研究也已有一定探索^[19],但对城市化、城市韧性和“台风-暴雨”灾害风险3者间关系的实证研究还较少。

本研究分析城市化、城市韧性与“台风-暴雨”灾害风险间的影响机理,并提出城市韧性作为城市

化品质与“台风-暴雨”灾害风险间中介变量的假设。基于中国7个东南沿海省市2005年至2019年的面板数据,量化评价城市化品质、城市韧性和“台风-暴雨”灾害风险,分析城市化品质与城市韧性的耦合协调度,并对城市韧性在城市化品质与“台风-暴雨”灾害风险间的中介效应做出实证分析。

1 理论分析与研究假设

1.1 城市化对“台风-暴雨”灾害风险的影响机理

沿海省市长期受到“台风-暴雨”灾害链的影响,但城市化的发展已经使城市与“台风-暴雨”灾害间的关系发生了变化。城市化集中体现在量的增长与质的提升^[20],二者对灾害风险的影响机理也有所不同(图1)。

1.1.1 追求增量的城市化导致“台风-暴雨”灾害风险增加

高能耗、高碳排的城市化发展导致的气候变化使登陆沿海地区的台风、暴雨强度和次数明显提升,气候灾害呈现出突发、多发、并发的特点,“台风-暴雨”灾害的危险性增加。城市化还显著改变着原有孕灾环境,不透水路面、建筑物等人工地貌大量取代了湖泊水体、林灌草地等自然环境,乔灌木等生态用地对台风的抵御作用和对雨洪的调蓄作用被削弱。建成环境中不透水地表的增加导致



雨水汇流速度加快、地表径流增加,城市越来越依赖排水系统来缓解暴雨带来的城市内涝问题。而排水系统的不断完善在加快雨水收集和排出的同时,也大大降低了城市储水能力,导致城市严重缺水。城市化过程中为争取建设用地而进行的填湖造地、河道取直、填河改路、河道硬化等生态破坏行为,显著增加了暴雨洪涝成灾的可能。此外,沿海省市作为“台风-暴雨”灾害的承灾体,在地理和资源方面的独特优势使其城市化发展迅速,社会人口、经济财富和建成环境等高度集聚,加剧了潜在的灾害风险损失。

1.1.2 追求品质的城市化有助于“台风-暴雨”灾害风险防控

城市化使应灾能力较弱的农村地区人口向城市迁移,减少了灾害风险导致的社会人口损失。沿海省市的经济增长为提高建筑质量、保障基础设施建设提供资金支持。堤坝、护岸和排水系统等基础设施的建设和完善将减少承灾体的暴露度。同时居民收入的增加和社会保障服务的健全也提升了社会应对灾害风险的能力,减弱了“台风-暴雨”灾害对城市的影响。

目前,中国着力推进新型城镇化建设和生态文明建设,提出城市化应从高速扩张转向品质提高,因此,研究重点关注城市化品质对“台风-暴雨”灾害风险的影响,并提出假设 H_1 。

H_1 :城市化品质对“台风-暴雨”灾害风险存在显著作用。

1.2 城市化对城市韧性的影响机理

城市韧性是城市复杂系统在经历变化时抵抗、吸收、容纳灾害,以便在本质上保持相同的功能结构,并在灾后重新组织、及时恢复的能力^[21]。城市韧性主要涉及经济、社会、基础设施和生态4个方面,而城市化品质显著影响着城市韧性。城市经济的发展一方面可以保障城市灾害的防控和治理获得稳定的资金支持;一方面可以为城市的灾后恢复提供储备资金。城市基础设施的建设和维护将保障城市的基本功能在灾时不受影响,社会保障体系的完善可以为城市救灾提供帮助。城市生态基础设施建设、生态红线划定等生态环境改善措施将为

可持续城市化提供保障,增强城市生态韧性。据此,研究提出假设 H_2 。

H_2 :城市化品质对城市韧性存在正向影响。

1.3 城市韧性对“台风-暴雨”灾害风险的影响机理

面对气候变化背景下“台风-暴雨”灾害风险的不确定性,相关研究开始聚焦于通过提升城市韧性减少建成环境所面对的危害风险。戴伟等指出城市韧性对三角洲地区应对气候变化带来的台风、暴雨等灾害具有重要作用^[8]。彭雄亮等进一步从生态、工程和管理等方面细化粤港澳大湾区城市群韧性应对台风灾害的途径^[9]。据此,研究提出假设 H_3 。

H_3 :城市韧性对“台风-暴雨”灾害风险存在负向影响。

1.4 城市韧性的中介作用

根据上述分析,城市化品质与城市韧性均对“台风-暴雨”灾害风险存在重要影响,而城市化品质的提高会提升城市韧性。城市化品质对“台风-暴雨”灾害风险的部分影响可能是通过城市韧性传导发挥作用的,因此提出假设 H_4 。

H_4 :城市韧性在城市化品质对“台风-暴雨”灾害风险的影响中发挥中介作用。

同时,为了更好地分析城市韧性中发挥中介作用的组成部分,提出如下假设。

H_5 :经济韧性在城市化品质对“台风-暴雨”灾害风险的影响中发挥中介作用。

H_6 :社会韧性在城市化品质对“台风-暴雨”灾害风险的影响中发挥中介作用。

H_7 :基础设施韧性在城市化品质对“台风-暴雨”灾害风险的影响中发挥中介作用。

H_8 :生态韧性在城市化品质对“台风-暴雨”灾害风险的影响中发挥中介作用。

2 研究方法、变量说明与模型构建

2.1 研究方法

2.1.1 熵值法确定权重

在指标权重的确定上,大体可以分为主观和客观两类赋权方法,层次分析法(analytic hierarchy process, AHP)、专家赋权法等主观赋权方法主要借

助专家的知识体系和从业经验为各指标进行赋权, 较易受到专家知识领域和个人偏好的影响。熵值法、灰关联法等客观赋权法相比之下更能够避免人为主观因素导致的测算结果失准, 并能够较全面的反映指标数据信息。因此, 本研究中采用熵值法对城市韧性和城市化品质的测度指标进行客观权重和综合得分计算。

首先, 根据测度对象涵盖的 m 个时间截面和 n 项指标建立评价系统的原始数据矩阵(1):

$$X = \begin{bmatrix} X_{11} & \cdots & X_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{m1} & \cdots & X_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

对数据进行标准化处理, 以消除不同指标变量在数量和量纲上的差异对评价结果的影响, 增强变量间的可比性:

$$X'_{ij} = \frac{x_{ij} - \min(x_j)}{\max(x_j) - \min(x_j)} \quad (2)$$

$$X'_{ij} = \frac{x_{ij} - \min(x_j)}{\max(x_j) - \min(x_j)} \quad (3)$$

式中, x_{ij} 为在第 t 个时间截面中第 j 项指标的值, $\max(x_j)$ 、 $\min(x_j)$ 为第 j 项指标的最大值与最小值, X'_{ij} 为第 t 个时间截面中第 j 项指标的标准化值。

正向指标采用式(2), 负向指标采用式(3)。

根据数据标准化结果, 计算第 t 个时间截面中第 j 项指标的比重 Y_{ij} ,

$$Y_{ij} = \frac{X'_{ij}}{\sum_{t=1}^m X'_{ij}} \quad (4)$$

计算指标体系中第 j 项指标的信息熵 E_j 和信息冗余度 d_j ,

$$E_j = -k \sum_{t=1}^m Y_{ij} \ln Y_{ij} \quad (5)$$

$$k = \frac{1}{\ln m} \quad (6)$$

$$d_j = 1 - E_j \quad (7)$$

计算第 j 项指标的指标权重 W_j

$$W_j = \frac{d_j}{\sum_{t=1}^m d_j} \quad (8)$$

根据所得的各项指标权重, 计算各项指标的综合评价得分 $Score$,

$$Score = \sum_{t=1}^m Y_{ij} W_j \times 100 \quad (9)$$

2.1.2 耦合协调度计算

耦合协调度是用于评价 2 个或多个系统在自身及外界的作用下互相影响的情况。耦合协调度越大, 系统间的协调性越高, 反之越低。城市韧性与城市化品质相互依存关联, 对二者进行耦合协调度计算可以进一步分析二者间的交互作用。

具体计算步骤见式(10)~(12):

$$O = \sqrt{(Q \cdot R)} / (Q + R) \quad (10)$$

$$M = a \cdot Q + b \cdot R \quad (11)$$

$$Z = \sqrt{(O \cdot M)} \quad (12)$$

式中, O 为耦合度值; Q 为城市化品质; R 为城市韧性; M 为综合协调指数; Z 为耦合协调度值; a 和 b 分别代表城市化品质和城市韧性的重要性, 本研究中认为二者同等重要, 故均取 0.5。

为便于分析, 参考周正柱等的研究^[22], 将耦合协调度值 Z 划分为 5 个等级(表 1), 以此判断二者的协调发展情况。

表 1 耦合协调度等级划分

耦合协调度值 Z	协调度等级
$0 \leq Z < 0.2$	严重失调
$0.2 < Z \leq 0.4$	中度失调
$0.4 < Z \leq 0.6$	初级协调
$0.6 < Z \leq 0.8$	中级协调
$0.8 < Z \leq 1.0$	高级协调

2.2 变量说明与测度

2.2.1 因变量“台风-暴雨”灾害风险

冯利华^[23]在研究中提出以灾害中的伤亡情况、直接经济损失等受损情况形成衡量灾害损失的指标“灾级”。张永恒等^[24]、史军等^[25]在台风灾害的影响评估过程中都充分运用和验证了“灾级”这种评价方法。因此, 本研究参照该方法, 对 7 个东南沿海省市 2005—2019 年的“台风-暴雨”灾害风险进行量化。根据各年度“台风-暴雨”灾害链造成的总受灾人数(d)、倒塌房屋数量(c)、直接经济损失(e)和农作物受灾面积(h)等灾情统计指标衡量灾害综合等级。

首先计算各项统计指标的规范化指数, 当总受

灾人数 ≥ 100 人,倒塌房屋数量 ≥ 1000 间,直接经济损失 ≥ 1000 万元,农作物受灾面积 ≥ 66.7 公顷时,以对数函数进行指标的换算

$$\begin{aligned} I_d &= \lg d - 1; I_c = \lg c - 2; I_e = \lg e - 2; \\ I_h &= \lg(15h) - 2 \end{aligned} \quad (13)$$

而当总受灾人数 < 100 人,倒塌房屋数量 < 1000 间,直接经济损失 < 1000 万元,农作物受灾面积 < 66.7 公顷时,以线性函数进行指标的换算

$$\begin{aligned} I_d &= d/100; I_c = c/1000; I_e = e/1000; \\ I_h &= (15h)/1000 \end{aligned} \quad (14)$$

式中, I_d 、 I_c 、 I_e 和 I_h 分别为总受灾人数、倒塌房屋数量、直接经济损失和农作物受灾面积的规范化指数,“台风-暴雨”灾害风险 F 即为各项指标规范化

指数的和

$$F = I_d + I_c + I_e + I_h \quad (15)$$

2.2.2 自变量城市化品质

王祖山等从发展水平和发展效率两个方面进行了城市化品质评价^[26],王新越等对包括经济、社会、人口、生态等在内的42项指标进行了赋值^[3]。肖祎平等从城市经济发展、社会发展、居民生活、基础设施和生态环境5方面构建了城市化品质评价指标^[1]。结合实际情况,本研究主要从经济发展、社会发展、居民生活、基础设施和资源环境储备5个方面开展城市化品质测度(表2),以熵值法计算各指标权重,进行各省市各年度城市化品质(Q)的综合评价。

表2 东南沿海7省市城市化品质评价指标体系及指标权重

目标层	准则层	权重	指标层	权重
城市化品质	经济发展质量	0.1123	经济生产总值GDP/亿元	0.0285
			城市化率/%	-0.0082
			二产增加值占GDP比例/%	0.0028
			三产增加值占GDP比例/%	0.0017
			科技成交额/万元	0.0876
	社会发展质量	0.5043	职工基本医疗保险参保人数占常住人口比例/%	0.0171
			医疗卫生机构床位数/万张	0.0235
			卫生人员数/人	0.0233
			单位人口拥有公共图书馆藏量/(册·人 ⁻¹)	0.0361
			高中在校生数/万人	0.3682
	居民生活质量	0.0177	失业率/%	0.0022
			一般公共预算支出/亿元	0.0339
			居民人均可支配收入/(元·人 ⁻¹)	0.0118
			家庭恩格尔系数	0.0011
			人口密度/(人·km ⁻²)	0.0048
	基础设施	0.0485	公共交通汽车数量/辆	0.0327
			城市道路密度/(km·km ⁻²)	0.0038
			城市供水管道密度/(km·km ⁻²)	0.0068
			城市排水管道密度/(km·km ⁻²)	0.0052
	资源环境储备	0.3172	水资源总量/亿m ³	0.0334
城市建成区绿化覆盖率/%			0.0003	
煤炭基础储量/万t			0.2102	
耕地面积/万hm ²			0.0564	
森林覆盖率/%			0.0170	

2.2.3 中介变量城市韧性

在灾害风险应对方面,城市韧性主要体现在城市系统在应对灾害冲击过程中表现出的反应能力、

抵抗能力以及灾后长期的恢复能力。Cutter等^[27]从经济、社会、环境、社区、基础设施和组织6个方面构建了BRIC社区韧性评价指标。Standish^[28]构建

了包括鲁棒性、谋略性、及时性和冗余性在内的4R指标体系。刘严萍等^[7]从敏感性、应对力、交互度和成长度4个维度构建了城市韧性指标体系。张明斗等^[6]从经济、社会、环境和基础设施4个层面对城市韧性进行综合评价。本研究在现有研究基础上,结合研究区实际情况,从经济韧性、社会韧性、基础设施韧性和生态韧性4个维度量化城市韧性(表3)。经济韧性主要反映在城市经济实力上,具有高经济水平的城市往往也具备较充足的后备资金用于保障城市物资供给、支持城市恢复重建以及提供补偿与信贷。社会韧性则主要反映在提升居民基本生活水平以及提供相应服务保障,并在灾后维持城市基本保障服务,为伤员提供及时的医疗救治。

基础设施韧性既体现在灾害发生前减少灾害形成的可能、在灾害发生时减小灾害的作用强度和影响范围,也体现在灾害发生后保障城市基本运转。城市排水系统及时排出暴雨雨水可以有效削弱“台风-暴雨”灾害链导致的洪涝风险;城市道路交通系统可以保障灾后的物资运输;通信系统保障灾后对外沟通联络,寻求救援帮助;各类学校的开放场地可以用于疏散和安置避灾人群。生态韧性日常可以为居民提供绿色和谐的生活环境,调节居民的物质和精神生活,红树林、滩涂湿地等生态系统还可以抵御台风海潮对岸线的侵蚀,滞蓄暴雨雨水、净化水体污染物,在应对“台风-暴雨”灾害链中发挥自然防护作用。

表3 东南沿海7省市城市韧性评价指标体系及指标权重

目标层	准则层	权重	指标层	权重
城市韧性	经济韧性	0.2135	城市人均GDP/(元·人 ⁻¹)	0.0422
			非第一产业增加值占GDP比例/%	0.0012
			人均固定资产投资额/(万元·人 ⁻¹)	0.0505
			财政支出/财政收入/%	0.0154
			规模以上工业企业资产总计/亿元	0.1042
	社会韧性	0.1749	城市人口密度/(人·km ⁻²)	0.0118
			职工基本医疗保险参保人数占常住人口比例/%	0.0424
			单位人口医疗卫生机构床位数/(张·千人 ⁻¹)	0.0108
			单位人口拥有卫生技术人员数/(人·千人 ⁻¹)	0.0104
			社会消费品零售总额/亿元	0.0995
	基础设施韧性	0.2892	电力消费总量/亿kW·h	0.0790
			城市人均拥有道路面积/(m ² ·人 ⁻¹)	0.0202
			单位城市人口拥有公共交通标准运营车数/(标台·万人 ⁻¹)	0.0076
			城市用水普及率/%	0.0005
			城市燃气普及率/%	0.0011
	生态韧性	0.3224	学校(小学至大学)/(个·km ⁻²)	0.0936
			电话普及率(包括移动电话)/%	0.0123
			人均供水管道长度/(km·万人 ⁻¹)	0.0397
			人均排水管道长度/(km·万人 ⁻¹)	0.0351
			人均水资源量/(m ³ ·人 ⁻¹)	0.0758
			人均绿地面积/(m ² ·人 ⁻¹)	0.0060
			生活垃圾无害化处理率/%	0.0042
			除涝面积/千hm ²	0.2364

2.2.4 控制变量

由于台风灾害频率、年降雨量、防灾投资及城市人口数量等因素显著影响“台风-暴雨”灾害风险,研究选取排水管道长度(L)、年平均降水量

(D)、年登陆台风数(T)、灾害防治投资额(C)以及城市人口比率占比(U)5项独立于自变量和中介变量影响灾害风险的变量作为控制变量,形成各项变量(表4)。

表4 各项变量的指标名称及符号

变量类型	指标名称	符号
因变量	“台风-暴雨”灾害风险	F
自变量	城市化品质	Q
	城市韧性	R
中介变量	经济韧性	R_e
	社会韧性	R_s
	基础设施韧性	R_i
	生态韧性	R_{eco}
	排水管道长度/km	L
控制变量	年平均降水量/mm	D
	年直接登陆台风数/次	T
	灾害防治投资额/万元	C
	城市人口占比/%	U

2.3 模型构建

根据城市化对“台风-暴雨”灾害风险的作用机理分析,城市化对“台风-暴雨”灾害风险的作用路径并不唯一,城市韧性在其中发挥传导媒介作用。因此,根据温忠麟等的中介效应分析方法^[29],在实证分析中建立如下数据模型

$$F_{it} = \alpha + \beta_1 Q_{it} + \gamma_1 X_{it} + \varepsilon_{it} \quad (16)$$

$$R_{it} = \alpha + \beta_2 Q_{it} + \gamma_2 X_{it} + \varepsilon_{it} \quad (17)$$

$$F_{it} = \alpha + \beta_3 Q_{it} + \rho_3 R_{it} + \gamma_3 X_{it} + \varepsilon_{it} \quad (18)$$

式中, F_{it} 为因变量“台风-暴雨”灾害风险; Q_{it} 为自变量城市化品质; R_{it} 为中介变量城市韧性; X_{it} 为控制变量的集合; i 代表各省市; t 为时间截面,即年份; α 为常数; β 和 γ 为各项系数; ε_{it} 为残差项。

首先,以模型(16)检验自变量城市化品质对因变量“台风-暴雨”灾害风险的影响显著性;然后,以模型(17)检验自变量城市化品质对中介变量的影响显著性;最后,模型(18)在控制自变量的影响后,检验中介变量对因变量“台风-暴雨”灾害风险的影响显著性。

3 实证分析

3.1 样本选择与数据来源

以“台风-暴雨”灾害频发的海南省、广西省、广东省、福建省、浙江省、上海市和江苏省7个东南沿海省市为研究对象,综合评价其城市化品质、城

市韧性和“台风-暴雨”灾害风险,探究3者间的关系。其中,城市化品质和城市韧性的原始数据来源自《中国统计年鉴》和地方统计年鉴,“台风-暴雨”灾害风险的相关数据统计整理自各年度《中国气象灾害年鉴》和各省气候公报,综合考虑数据的完整情况,研究选取2005—2019年为研究时期。

3.2 描述性统计分析

研究首先对各项变量进行描述性统计(表5),结果表明,各变量的平均值与中位数相差较小,不存在明显的偏态分布,数据稳定性较高,后续回归分析结果较为可信。

表5 各变量的描述性统计

名称	最小值	最大值	平均值	中位数	标准差
F	0.0	17.1	11.6	12.9	3.9
Q	2.9	24.5	10.3	7.5	6.2
R	5.1	28.1	10.3	8.7	4.8
R_e	0.3	5.2	1.9	1.7	1.2
R_s	0.5	21.1	3.5	2.0	4.2
R_i	1.7	4.1	2.5	2.4	0.5
R_{eco}	0.1	15.0	2.3	2.3	1.7
L	1878.0	82171.9	23117.8	16920.2	20601.4
T	0.0	16.0	4.4	4.0	3.0
D	810.0	2432.6	1544.6	1528.5	369.6
C	122.0	328747.6	31369.5	16705.0	45567.3
U	31.1	89.6	60.6	60.6	14.7

3.3 耦合协调度分析

为进一步探索2005—2019年7个沿海省市的城市化品质与城市韧性间耦合协调度的变化情况,将研究时段划分为2005—2009年、2010—2014年和2015—2019年3个时段,从中分别取2007、2012和2017年作为典型年份,绘制耦合协调度时空变化(图2)。

从时间顺序上,各省市的协调度大体上经历了先降后升的变化次序,这与当时“先发展,后治理”的城市发展模式有关。2007年中国城市化更偏重速度而非品质,城市韧性与城市化品质面临着来自生态环境、社会经济等方面的巨大压力,这种压力的负面效果在2012年的协调度情况中得以显现。而随着生态文明、韧性防灾等可持续发展理念的逐步落实,城市化品质与城市韧性间的协调度重新升

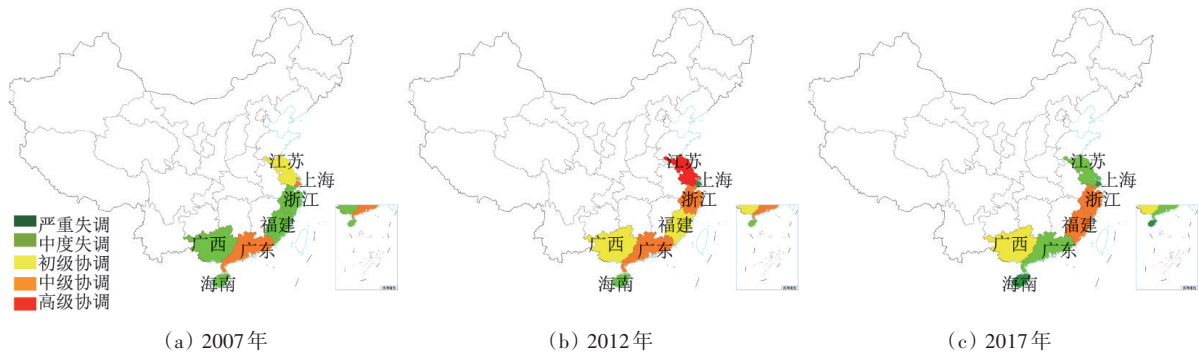


图2 2007、2012和2017年7个沿海省市耦合协调度时空变化

高。从空间分布上,海南省始终保持较高的协调度,广东省和上海市的协调度显著提升,但广西省、福建省和浙江省3省的耦合协调度逐渐降低。其原因主要在于各省市的资源环境禀赋、主要发展途径以及社会建设投入等方面存在不同,导致城市化品质与城市韧性间存在较大差异。

3.4 回归分析

研究采用中介变量的层次回归分析法验证假

设,结果如表6所示。

模型(16)检验城市化品质对“台风-暴雨”灾害风险的影响,自变量 Q 的回归系数为 $-0.166(p < 0.05)$,表明城市化品质对“台风-暴雨”灾害风险存在显著负向影响,高品质城市化将削弱“台风-暴雨”灾害风险,假设 H_1 得到验证。

模型(17)检验城市化品质对城市韧性的影响,自变量 Q 的回归系数为 $0.051(p < 0.1)$,表明城市化

表6 主效应与中介效应的回归分析结果

变量	符号	模型(16)	模型(17)	模型(18)
常数	α	0.000 (1.000)	0.000 (1.000)	0.000 (1.000)
自变量	Q	-0.166^{**} (0.018)	0.051^* (0.094)	-0.141^{**} (0.038)
中介变量	R			-0.486^{***} (0.005)
	L	0.209^{**} (0.011)	1.009^{***} (0.000)	0.700^{***} (0.000)
	T	0.079 (0.336)	0.064 (0.171)	0.110 (0.169)
控制变量	D	0.225^{***} (0.006)	-0.102^{**} (0.028)	0.176^{**} (0.029)
	C	0.136^* (0.083)	-0.184^{***} (0.000)	0.046 (0.569)
	U	-0.637^{***} (0.000)	-0.131^{***} (0.002)	-0.701^{***} (0.000)
F 检验		21.154^{***} (0.000)	98.417^{***} (0.000)	20.608^{***} (0.000)
R^2		0.564	0.858	0.598
调整 R^2		0.538	0.849	0.569
R^2 更改		0.026	0.002	0.059

注:括号内为概率 p 值,*表示 $p < 0.1$,一般显著;**表示 $p < 0.05$,较显著;***表示 $p < 0.01$,非常显著。

品质对城市韧性存在显著正向影响,高城市化品质将显著提高城市韧性,假设 H_2 得到验证。

模型(18)中,中介变量 R 的回归系数为 -0.486 ($p < 0.05$),表明城市韧性对“台风-暴雨”灾害风险存在显著负向影响,提高城市韧性将减少“台风-暴雨”灾害风险,假设 H_3 得到验证。

模型(17)和(18)共同检验城市韧性在城市化品质与“台风-暴雨”灾害风险间的中介效应,模型(18)中自变量 Q 的回归系数为 -0.141 ($p < 0.05$),进一步比较 β_2 与 β_3 的符号为同号。根据中介效应的检验程序^[29],表明城市韧性在城市化品质与“台风-暴雨”灾害风险之间存在部分中介效应,即城市化品质对“台风-暴雨”灾害风险的影响部分通过城市韧性发挥作用,假设 H_4 得到验证。

同理验证假设 $H_5 \sim H_8$,发现经济韧性、社会韧性和生态韧性在城市化品质对“台风-暴雨”灾害风险的影响中发挥部分中介作用,即提升经济韧性、社会韧性与生态韧性有助于缩小城市化品质与灾害风险间的总效应,假设 H_5 、 H_6 和 H_8 成立。基础设施韧性在城市化品质对“台风-暴雨”灾害风险的影响中发挥遮掩效应,即控制基础设施韧性后,城市化品质对灾害风险的作用力会变大,提升灾害风险的应对能力,假设 H_7 不成立。因此,在城市韧性中发挥中介作用的要素主要是经济韧性、社会韧性和生态韧性。究其原因,一是城市在大力开展排水等基础设施建设的过程中,过于倚重工程措施,城市降雨快速排出,导致城市缺水,影响城市应对灾害风险的资源环境储备。二是降雨的大量外排为城市生态环境带来压力,对生态韧性中的人均水资源量、人均绿地面积等指标带来一定负面影响,而生态韧性在中介效应中发挥着重要作用,从而间接导致基础设施韧性的遮掩效应。

4 结论与建议

4.1 结论

1) 受城市发展模式转变的影响,7个东南沿海省市的城市化品质与城市韧性的耦合协调度大体经历了“先降后升”的变化。在过分追求城市化速

度的早期模式下,城市面临着来自生态环境、社会经济等方面的巨大压力,城市化品质与城市韧性的协调度降低。随着城市可持续发展的实践,协调度重新升高。各省(市)在资源环境禀赋、主要发展途径以及社会建设投入等方面的差异,也导致各地协调度的不同。

2) 高品质城市化和高城市韧性对“台风-暴雨”灾害风险起到显著减弱作用,城市韧性在城市化品质与“台风-暴雨”灾害风险间发挥中介作用。城市韧性既反映着城市化品质的优劣,同时体现着城市应对灾害风险能力的强弱,是衡量城市应灾、抗灾能力的重要标准。通过提升城市韧性,增强城市应对自然灾害风险的能力具有重要的现实意义。

3) 尽管城市韧性在城市化品质与“台风-暴雨”灾害风险中发挥部分中介效应,但目前受到城市韧性各组成部分发展不均衡的影响,各部分中存在“遮掩效应”和“中介效应”2种不同的作用机制。经济韧性、社会韧性与生态韧性发挥部分中介效应,提升经济韧性、社会韧性与生态韧性有助于协助城市化品质应对“台风-暴雨”灾害风险。基础设施韧性发挥遮掩效应,会对城市化品质与灾害风险间的总效应产生遮掩。

4.2 建议

1) 将韧性城市建设纳入法定规划,全面均衡地提升城市韧性,充分发挥城市韧性在城市化品质与灾害风险间的中介作用。同时,应发展形成科学有效的城市韧性测度方法,为韧性城市规划和实施提供依据和保障,并开展韧性城市试点。北京是中国首个将“韧性城市”建设纳入城市总体规划的城市,由于其地处华北平原地震带,且周边还有八宝山断裂以及燕山断裂带等大量断裂带和小震群,其韧性城市建设主要关注城市抗御大震、巨震的地震安全,具有较强的地域针对性。因此,各省市在开展韧性城市建设中应充分结合自身实际,在东南沿海易受“台风-暴雨”灾害链影响的地区,就应充分考虑城市应对台风、暴雨及其带来的洪涝、泥石流等次生灾害的韧性建设。

2) 充分发挥生态空间的韧性作用,多层次、多尺度的落实和发展海绵城市建设。生态空间在城

市韧性建设中的重要意义,但由于传统规划中对生产、生活、生态“三生”空间博弈的调节失衡,生态空间遭到不同程度的侵占和破坏,其在台风、暴雨等自然灾害应对中的韧性价值未能得到充分发挥。自新时期国土空间规划提出以来,生态空间保护的重要性被提升到新的高度。通过生态资源的环境承载力评价和分类,识别生态重要、生态敏感和生态受损空间,结合国土空间生态修复规划、自然保护地体系规划等专题实施生态保护与修复工程,对湿地、河湖水系、岸线、森林等重要生态空间开展修复。通过构建多尺度的生态基础设施网络,提升重要生态源地间的生态连通性,并向城市建成区进行生态渗透,增强生态系统的稳定性和服务能力,将堤防、排水等灰色基础设施改造为与绿地系统等非工程措施相结合的“灰绿基础设施”,充分发挥生态韧性在韧性城市建设中的维稳和保障作用。

3) 耦合开发科学智慧技术,指导城市智慧防灾应灾,并提升经济产业发展的科学技术含量。智慧技术已经在灾害风险的预报预警以及防灾避难疏散等方面得到了具体应用,但随着智能时代的到来和城市科学技术的持续发展,还需要与时俱进地重塑韧性城市建设标准。在建设完善基本数据库的基础上,将智慧技术与基础设施建设相结合,借助传感网和物联网实时数据监测,以人工智能算法和云计算技术支持城市大数据处理,实现通信、给排水、供电、道路交通等基础设施的智能化,使城市灾害风险的应对更加科学高效。同时,技术推广会促使科学技术转化产生经济效益,促使经济韧性在应对灾害风险中发挥作用。从而降低沿海省市应对“台风-暴雨”灾害的经济脆弱性,提高自然灾害风险下的城市韧性。

参考文献(References)

- [1] 肖祎平, 杨艳琳, 宋彦. 中国城市化质量综合评价及其时空特征[J]. 中国人口·资源与环境, 2018, 28(9): 112-122.
- [2] 褚丽娟, 孙成伍. 我国城市化水平的空间相关性及其影响机制[J]. 经济问题, 2015, 435(11): 100-104.
- [3] 王新越, 秦素贞, 吴宁宇. 新型城镇化的内涵、测度及其区域差异研究[J]. 地域研究与开发, 2014, 33(4): 69-75.
- [4] 刘海军, 崔东, 闫俊杰, 等. 伊宁市城市化与生态环境耦合协调性评价与分析[J]. 环境科学与技术, 2019, 42(3): 230-236.
- [5] 薛德升, 曾献君. 中国人口城镇化质量评价及省际差异分析[J]. 地理学报, 2016, 71(2): 194-204.
- [6] 张明斗, 冯晓青. 中国城市韧性度综合评价[J]. 城市问题, 2018(10): 27-36.
- [7] 刘严萍, 王慧飞, 钱洪伟, 等. 城市韧性:内涵与评价体系研究[J]. 灾害学, 2019, 34(1): 8-12.
- [8] 戴伟, 孙一民, 韩·迈尔, 等. 气候变化下的三角洲城市韧性规划研究[J]. 城市规划, 2017, 41(12): 26-34.
- [9] 彭雄亮, 姜洪庆, 黄铎, 等. 粤港澳大湾区城市群适应台风气候的韧性空间策略[J]. 城市发展研究, 2019, 26(4): 55-62.
- [10] 于小兵, 俞显瑞, 吉中会, 等. 基于信息扩散的东南沿海台风灾害风险评估[J]. 灾害学, 2019, 34(1): 73-77.
- [11] 石涛, 谢五三, 张丽, 等. 暴雨洪涝风险评估的GIS和空间化应用——以芜湖市为例[J]. 自然灾害学报, 2015, 24(5): 169-176.
- [12] 廖永丰, 赵飞, 王志强, 等. 2000—2011年中国自然灾害灾情空间分布格局分析[J]. 灾害学, 2013, 28(4): 55-60.
- [13] 金义蓉, 胡庆芳, 王银堂, 等. 快速城市化对上海代表站降水的影响[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2017, 45(3): 204-210.
- [14] César V G, Patricia M C, Luis A P, et al. The value of coastal wetland flood prevention lost to urbanization on the coastal plain of the Gulf of Mexico: An analysis of flood damage by hurricane impacts[J]. International Journal of Disaster Risk Reduction, 2019, 37: 101180.
- [15] Carolina M, Pablo L, Carolina R, et al. A sustainability index for anthropized and urbanized coasts: The case of Concón Bay, central Chile[J]. Applied Geography, 2020, 116: 102166.
- [16] Montreuil A L, Chen M, Brand E, et al. Post-storm recovery assessment of urbanized versus natural sandy macro-tidal beaches and their geomorphic variability[J]. Geomorphology, 2020, 356: 107096.
- [17] Melissa W, Joanna M, Elizabeth A W. Design with nature: key lessons from McHarg's intrinsic suitability in the wake of hurricane sandy[J]. Landscape and Urban Planning, 2016, 155: 33-46.
- [18] 柳杨, 范子武, 谢忱, 等. 城镇化背景下我国城市洪涝灾害演变特征[J]. 水利水运工程学报, 2018(2): 10-18.
- [19] 白立敏, 冯兴华, 孙瑞丰, 等. 吉林省城镇韧性水平与

- 城镇化质量耦合分析[J]. 城市建筑, 2018(35): 19-23.
- [20] 张慧, 刘耀龙, 冯洁瑶. 城市化质量、城市韧性对洪涝灾害风险的影响——基于山西 11 个地级市面板数据[J]. 经济问题, 2020(4): 114-120.
- [21] Roggema R. The use of spatial planning to increase the resilience for future turbulence in the spatial system of the Groningen region to deal with climate change[M]. Dordrecht: Springer Netherlands, 2014: 117-157.
- [22] 周正柱, 王俊龙. 长江经济带城镇化与生态环境耦合协调关联性研究[J]. 城市问题, 2020(4): 21-32.
- [23] 冯利华. 灾害损失的定量计算[J]. 灾害学, 1993(2): 17-19.
- [24] 张永恒, 范广洲, 马清云, 等. 浙江省台风灾害影响评估模型[J]. 应用气象学报, 2009, 20(6): 772-776.
- [25] 史军, 肖风劲, 穆海振, 等. 上海地区台风灾害损失评估[J]. 长江流域资源与环境, 2013, 22(7): 952-957.
- [26] 王祖山, 张欢欢. 我国城镇化发展质量评价体系的构建与测度[J]. 统计与决策, 2015(12): 49-51.
- [27] Cutter S L, Ash K D, Emrich C T. The geographies of community disaster resilience[J]. Global Environmental Change, 2014, 29: 65-77.
- [28] Standish R J, Hobbs R J, Mayfield M M, et al. Resilience in ecology: Abstraction, distraction, or where the action is[J]. Biological Conservation, 2014, 177(9): 43-51.
- [29] 温忠麟, 叶宝娟. 中介效应分析: 方法和模型发展[J]. 心理科学进展, 2014, 22(5): 731-745.

Analysis on urbanization quality, urban resilience and disaster risk of typhoon rainstorm: Take 7 southeast coastal provinces and cities for example

LUO Ziyuan, ZENG Jian*

School of Architecture, Tianjin University, Tianjin 300072, China

Abstract Coastal provinces and cities are faced with severe typhoon and rainstorm disaster risk. The quality of urbanization and urban resilience plays an important role in resisting the risk of Typhoon Rainstorm. This paper analyzes the influence mechanism of urbanization, urban resilience and the disaster risk of Typhoon Rainstorm from the theoretical level, and puts forward the hypothesis that the urban resilience is the mediator between the urbanization quality and disaster risk of Typhoon Rainstorm. This paper measures the urbanization quality from economic development, social development, residential life, infrastructure and environment reserves, and quantifies urban resilience from economy, society, infrastructure and ecology. The urbanization quality, urban resilience and disaster risk of Typhoon Rainstorm are quantitatively evaluated, based on the Yearbook, meteorological and disaster data of the seven southeast coastal provinces and cities from 2005 to 2019. The coupling degree of urbanization quality and urban resilience is analyzed. The mediating effect of urban resilience on the impact of urbanization quality on the disaster risk of Typhoon Rainstorm is further analyzed. The results show that: Due to the differences in resources and environment, development policy and social investment, the coupling degree between the seven southeast coastal provinces and cities is different. The coupling degree decreases before increases under the influence of the policy of "development before governance". High urbanization quality and high level of urban resilience significantly reduce the disaster risk of Typhoon Rainstorm. Urban resilience performed as a mediator between the urbanization quality and disaster risk of Typhoon Rainstorm. However, the unbalanced development of various components of urban resilience caused two different mechanisms of "masking effect" and "mediating effect". Economic resilience, social resilience and ecological resilience play part of the mediating effect, while infrastructure resilience plays a masking effect. In order to give full play to the role of resilience in resisting disaster risks, the construction of resilient cities should be included in the statutory planning to form the planning basis and guarantee. Green infrastructure and grey infrastructure should be coupled to weaken the masking effect of infrastructure resilience.

Keywords urbanization; urban resilience; disaster risk; mediating effect; urban disaster prevention ●



(责任编辑 傅雪)