

# 耦合视域下气候风险与经济韧性的协调关系及时空演化\*

肖黎明 张颖 李秀清 肖沁霖

**摘要:**理顺气候风险与经济韧性的协调关系是实现高质量发展的内在要求。本文从耦合视域切入,同时遵循“格局-过程”的研究思路,在解构气候风险与经济韧性耦合协调机理的基础上,运用耦合协调度模型、GIS空间分析工具、探索性空间数据分析方法等考察了2011—2021年中国城市气候风险与经济韧性的协调关系及时空演化。研究发现:考察期内气候风险降低程度呈现类“倒U”型时序演进特征,而经济韧性指数则保持持续增长态势,二者空间表现各异,气候风险呈“北高南低”,经济韧性呈“东高西低”。气候风险与经济韧性耦合协调度逐年上升,已实现“失调—协调”的阶段性跃迁,协调发展类型也从“单极主导”转向“多元并存”,其中长三角、珠三角城市群已形成显著的协同发展极核。气候风险与经济韧性耦合协调度空间格局表现出“核心-边缘”的结构特征,其中高值区产生正向空间溢出,低值区却存在路径锁定效应。据此,建议实施差异化协同治理政策,东部地区需强化技术创新溢出效应,而中西部则应建立生态补偿与产业转移联动机制,同时通过构建跨区域的协同平台,实现气候风险降低与经济韧性提升的“双赢”。

**关键词:**气候风险;经济韧性;耦合协调;时空演化

---

\*肖黎明,山西师范大学经济与管理学院,邮政编码:030031,电子信箱:xiaolm1972@163.com;张颖,山西师范大学经济与管理学院,邮政编码:030031,电子信箱:1479839476@qq.com;李秀清,陕西师范大学西北历史与社会发展研究院,邮政编码:710119,电子信箱:xqli\_edu@126.com;肖沁霖(通讯作者),山西师范大学经济与管理学院,邮政编码:030031,电子信箱:x853903799@163.com。

本文是国家社会科学基金项目“我国省际绿色创新的空间结构演化及异质性溢出研究”(17BJY038)、山西省哲学社会科学规划课题重大课题“‘双碳’目标下山西创新体系绿色发展研究”(24SKGH299)、山西师范大学产学研项目“‘双碳’目标下推进山西创新体系绿色低碳转型发展研究”(CXY2302)的阶段性成果。感谢匿名审稿专家的宝贵修改建议。文责自负。

## 一、引言和文献综述

在全球气候变化加剧与“双碳”目标持续推进的现实背景下,极端气候风险降低与经济韧性提升作为构建复杂适应系统的两大抓手,二者的协调演进已成为突破气候-经济系统锁定效应的关键突破口。然而,当前国际地缘政治冲突与极端气候事件频发交织叠加(胡晓辉等,2021),使得城市经济系统面临“黑天鹅”与“灰犀牛”风险并存的复合型危机,严重制约了城市经济韧性的提升。对此,《国家适应气候变化战略2035》明确指出要将适应气候变化全面融入经济社会发展大局,推进适应气候变化治理体系和治理能力现代化,有效应对气候变化不利影响和风险,减少极端气候事件灾害损失。基于此,如何在有效提升经济韧性的同时,降低极端气候风险,便成为城市高质量发展面临的重要课题。而已有研究大多单一地关注气候治理或经济调节机制,未能揭示二者协调演进的内在逻辑(陈帅等,2016;张大永等,2023)。事实上,气候风险与经济韧性之间存在不容忽视的双向互馈机制。一方面,气候风险降低能够通过产业结构低碳转型来增强经济系统的抗扰动能力,促进经济韧性提升(张大永等,2023);另一方面,经济韧性的增强又可为气候技术研发与风险预警系统建设提供持续投入,进而降低极端气候风险。这种双向互馈机制对实现“双碳”目标与经济安全的动态平衡具有重要战略价值(陈国进等,2021)。此外,中国作为全球唯一庄严承诺“碳中和”的超大型经济体,2021年极端气候造成的直接经济损失超过3000亿元<sup>①</sup>,这也凸显出降低气候风险与解决经济脆弱性难题的紧迫性。显然,极端气候对中国经济的冲击不容忽视。与此同时,现阶段中国经济发展正面临“需求收缩、供给冲击、预期减弱”的三重压力(Wang et al., 2023; Sun et al., 2024; Wang & Zhou, 2024),迫切需要增强经济韧性来引领城市经济系统的高水平安全发展(Feng et al., 2023)。尤其在新型城镇化进程中,城市作为气候-经济系统交互作用的“主战场”,城市气候风险与经济韧性的交互耦合协调程度直接影响“3060”目标的实现进程。因此,本文从耦合视角切入,探寻气候风险与经济韧性的协调关系及时空演化规律,这既是对可持续发展理论的响应,同时也是构建经济新发展格局的现实需要。

有关经济韧性的研究大致围绕概念辨析、测度方法、驱动机制等议题展开,这也使其理论体系在应对系统性风险中持续深化。Reggiani等(2002)首次将韧性概念引入空间经济学领域,由此开启了经济韧性动态适应能力的量化研究。目前此类研究主要沿三条路径推进:一是测度方法上的创新,从单维抵抗力评估拓展至多维指标体系(Martin et al., 2016; 宋敏、刘欣雨, 2023);二是时空规律的揭示,即通过区域比较分析发现经济韧性呈“核心-边缘”梯度分异且存在阶段性跃迁特征(李连刚等, 2022; 蒋正云等, 2023);三是驱动机制的解析,证实了产业

<sup>①</sup>资料来源于网站:<https://baijiahao.baidu.com/s?id=1644982067427384058&wfr=spider&for=pc>。

结构升级、数字新基建等要素能够通过战略耦合效应提升系统韧性(刘逸等, 2021; 孙久文等, 2022)。值得注意的是, 新冠疫情冲击也催生了韧性研究的“压力测试”范式(Alejandro & Carolana, 2023), 目的在于揭示复杂风险下经济系统的非线性响应规律。就气候风险而言, 学者旨在量化气温与能源消费(Auffhammer & Mansur, 2014)、能源强度(Su, 2023)之间的关系, 另外, 冻害和热浪均会造成粮食减产(陈帅等, 2016), 极端气温也会降低粮食生产韧性(范振楠等, 2024)。除此之外, 极端天气还会降低公司的市场价值(Rao et al., 2022), 并影响国家经济的增长速度(Choi et al., 2020), 由此扩大国家间的贫富差距(Kumar & Khanna, 2019)。尽管也有研究关注到气候冲击可能会诱发企业的绿色技术创新(杨墨等, 2023), 但多聚焦于单一领域的韧性响应, 如能源系统或基础设施(Gupta et al., 2024; Shen et al., 2024; Kuang et al., 2024; Hu et al., 2024), 缺乏对气候风险与经济韧性协调关系的系统考察。而仅有的探索性研究则表明, 城市金融结构差异可能会影响气候风险的传导过程(Peters et al., 2023), 这也为揭示气候风险与经济韧性的耦合协调规律提供了重要线索。

综上所述, 已有研究为探讨气候风险与经济韧性之间的关系提供了较为丰富的理论基础, 但仍存在以下不足和改进空间: 在研究视角上, 相关文献主要聚焦于气候风险与经济韧性的单独分析, 或是气候风险对经济韧性的单向影响, 而对气候风险与经济韧性耦合协调关系的长期动态研究相对缺乏, 未能厘清二者间的动态相互作用。气候风险降低与经济韧性提升均是高质量发展的内在要求, 但倘若气候风险治理赋能不足, 抑或经济韧性反馈机制不强, 皆会影响二者协调发展, 进而掣肘高质量发展目标的实现。因此, 在耦合视域下探讨气候风险与经济韧性的协调关系必要且紧迫。在研究范围上, 已有研究侧重于宏观省域层面的探讨, 数据颗粒度较大, 较少从城市层面剖析气候风险与经济韧性的协调关系, 导致政策制定的针对性不足。在研究内容上, 尚未有文献从“格局-过程”的研究思路出发, 系统探究气候风险与经济韧性的协调关系及其时空演化规律, 进而揭示协调发展的典型区域, 同时明晰二者不协调的原因。事实上, 在建设美丽中国和推进经济高质量发展的现实背景下, 探讨气候风险与经济韧性之间的互动关系, 对于适应气候变化、引领气象强国建设、强化经济韧性具有重要的理论贡献和实践价值。基于此, 本文在剖析气候风险与经济韧性耦合协调机理的基础上, 以中国地级以上城市为研究对象, 对2011—2021年气候风险与经济韧性的协调关系及其时空演化特征进行分析, 以期气候变化加剧背景下促进城市经济“提质向新”以及实现二者耦合协调提供理论依据与经验证据。

相较于已有文献, 本文可能的边际贡献在于: 第一, 在研究视角上, 从耦合视角入手, 探讨气候风险与经济韧性的耦合互动关系, 弥补了已有研究仅单方向考察极端气候对经济韧性影响的不足; 第二, 在研究尺度上, 构建以城市为尺度的“气候风险-经济韧性”耦合协调测算体系, 对各城市气候风险与经济韧性的耦合协调水平进行量化评估, 在丰富现有研究层次的同时, 有助于把握耦合协调水平的提升潜力; 第三, 在研究内容上, 遵循“格局-过程”的研究思路

(李琛等, 2025), 运用 GIS 空间分析工具和探索性空间数据分析方法揭示了气候风险与经济韧性耦合协调的时空演化规律, 识别了二者耦合协调的优势区域和典型问题区域, 为科学合理优化气候风险与经济韧性耦合协调关系、制定推动气候风险降低与经济韧性提升同频共振的政策与调控建议提供参考。

## 二、气候风险与经济韧性的耦合协调分析框架

### (一) 气候风险与经济韧性的概念界定

关于气候风险, 本文重点关注气候风险的降低, 根本要义在于推进以降低温室气体排放与增强气候系统稳定性为核心目标的系统性工程, 内容包括: (1) 能源结构转型, 即通过发展可再生能源、推广碳捕集技术以及优化化石能源清洁利用 (Auffhammer & Mansur, 2014; Su, 2023), 来减少人类活动对气候系统的扰动。(2) 产业低碳化重构, 即依托绿色技术创新驱动高耗能产业升级 (杨墨等, 2023), 并以此为基础, 为碳市场等价格型机制的有效运转创造空间, 从而引导生产要素向低碳领域优化配置 (Choi et al., 2020)。(3) 生态协同治理, 即通过国土空间规划来优化碳汇网络布局、完善生态补偿制度, 以此增强自然系统调节能力 (Kumar & Khanna, 2019)。中国作为全球最大发展中国家, 已通过构建“1+N”政策体系来推进气候风险行动, 例如通过启动全国碳市场来推动企业碳成本内部化, 中国的光伏、风电装机容量连续十年全球第一, 特高压电网也实现了跨区域清洁能源调配。而对于经济韧性, 本文将从抵抗与恢复能力、适应与调节能力、创新与转型能力三个方面进行界定。经济韧性是指经济系统在外部冲击下, 能够维持自身功能稳定并实现跃迁发展的动态能力。这一概念内涵突破了传统演化韧性理论对于“恢复原状”的路径依赖 (蒋正云等, 2023), 强调在外部冲击下, 经济韧性更需实现从被动防御到主动转型的范式升级。

### (二) 气候风险与经济韧性的耦合协调机理

在耦合视域下, 某一区域内气候风险与经济韧性的互动过程, 是二者为实现高质量发展目标而相互促进、协调发展的客观表征 (图 1)。根据复杂适应性系统理论, 城市经济系统可以被视为一个复杂适应系统, 系统内部的企业、政府、消费者等主体在与外部环境的互动中, 通过持续的学习、适应与演化来维持系统功能 (吴家臣、杜志章, 2025)。因此, 气候风险与经济韧性耦合互动并非一种简单的线性因果关系, 而是城市经济系统在外部压力下, 通过一系列感知、响应、反馈与重构过程, 实现从低级稳定向高级稳定状态演化的动态轨迹。一方面, 气候风险作为强大的“选择压力”, 迫使经济系统触发多维适应性响应, 从而赋能经济韧性。极端气候风险构成了城市经济系统面临的剧烈外部环境变化, 而经济系统内的主体则通过价格信号、政策规制与物理冲击感知到这种压力, 由此激发出相应的适应性行为, 这些行为共同塑造了经济系统的抵抗恢复、适应调节与创新转型能力。具体表现为: 第一, 结构性重构响应。为保障经济系统核心功能, 经济系统对关键网络进行加固与优化。而能源作为城市经济系统的重要资源, 在能源

安全路径上,通过可再生能源规模化与特高压输电网络建设,经济系统降低了对气候敏感型能源的路径依赖(Shen et al., 2024),同时加强了能源要素在城市间的流动及传播,由此重构了能源供需结构,提升了抵抗与恢复能力。第二,技术性集聚响应。在碳约束等规则下,城市经济主体为寻求新的竞争优势,逐渐形成技术创新集聚态势。随着“双碳”目标时间窗口的日益迫近,企业面临愈发紧迫的转型压力,从而倒逼企业积极引入节能减排技术并开展数字化和智能化改造活动(Paintner, 2020),由此有利于改善资源利用效率,降低生产成本,提升供应链智能化水平,最终增强经济系统的适应与调节能力(刘逸等, 2021)。第三,制度性规则重塑响应。经济系统为引导经济主体行为朝向集体适应目标,会催生新的制度安排,旨在为微观主体设定清晰的行为框架与价格信号,以此校正决策的外部性。基于此,为更好地应对气候变化和推进“双碳”目标,国家实行碳市场与环境信息披露制度,通过重塑资本流向与信息规则,进而强化了经济系统的气候适应意识,驱动了创新与转型能力(Choi et al., 2020; 王遥、王文蔚, 2021)。

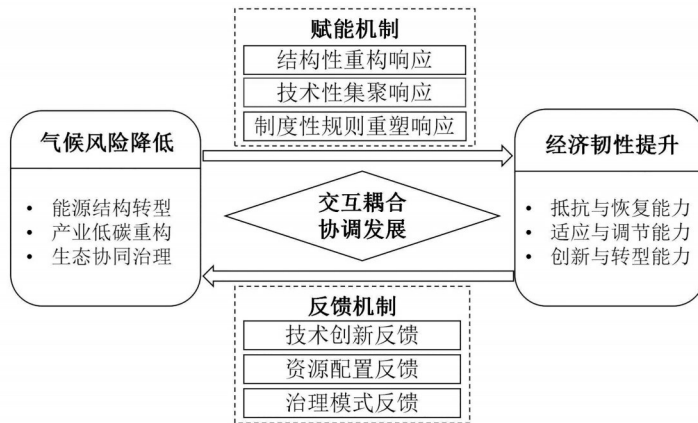


图1 气候风险与经济韧性的耦合协调机理

另一方面,经济韧性的提升也会通过多重反馈机制对气候风险产生显著的调节与抑制作用。主要体现在:第一,技术创新反馈。在经济韧性不断增强的驱动下,绿色低碳技术创新体系正加速形成,具体表现为绿色产业链的持续培育与升级,不仅推动了光伏转换效率的持续提升和氢能储存技术的重大突破,更促进了一系列配套低碳技术的协同发展,包括碳捕获、利用与封存(CCUS)技术的商业化应用和新型储能系统的规模化部署。这些技术突破通过结构性的减排效应,显著降低了单位GDP碳排放强度,有效缓解了温室气体排放对气候系统的持续压力,从而在源头上为降低极端气候事件的发生频率与强度提供了重要支撑(杨墨等, 2023)。第二,资源配置反馈。经济系统通过市场化工具的创新与应用,构建了资本流动与气候适应目标之间的良性互动机制。具体而言,差异化保险定价策略借助风险定价信号,有效引导市场主体加强气候风险管理(潘敏等, 2022);而绿色信贷标准的确立,则系统性地提升了资本配置中气候韧性相关项目的优先级,推动更多资金流向具备适应能力的基础设施与产业领域(He et al., 2024)。

这种以价格信号为核心的市场机制,既提升了资源配置效率,也增强了社会经济系统对洪涝、干旱等极端气候冲击的抵御与恢复能力,从而显著降低了整体气候风险的暴露度与系统脆弱性。第三,治理模式反馈。在提升经济韧性的制度建构层面,跨区域协同治理机制发挥着关键作用。其中,跨区域联防联控机制的建立标志着气候治理模式从碎片化向网络化治理的系统性转型。这种治理创新通过信息共享平台、联合预警机制和协同应急响应制度,打破了行政边界对气候风险管理的限制,形成了多层次、多主体的治理网络。由此,该治理结构提升了区域气候风险的整体应对能力,同时通过制度化的协作机制降低了单一地区应对区域性气候风险的脆弱性,构建了更加系统、高效的气候治理体系(Peters et al., 2023)。然而,由于多重主客观因素的复杂交织,气候风险与经济韧性的耦合互动过程仍面临显著约束。具体表现为,数据中心算力提升与能耗控制之间的技术经济性矛盾(Paintner, 2020),以及碳减排目标与稳增长诉求之间的制度协同性问题(Choi et al., 2020),这会导致二者关系在特定阶段呈现对抗特征,产生系统性不协调问题,进而阻碍高质量发展。随着数字化与绿色化协同转型的深入推进及相关制度体系的持续完善,气候风险与经济韧性势必将在交互耦合过程中实现良性互动、协调发展。

综上所述,气候风险与经济韧性相互作用、彼此影响,任何一方发展滞后都会掣肘另一方发展进程,唯有气候风险降低与经济韧性提升同步推进,方可实现二者整体耦合协调效应最大化。

### 三、研究方法 with 数据来源

基于前文耦合协调框架,厘清耦合视域下气候风险与经济韧性的协调关系,核心在于量化评估二者的耦合协调水平,并准确揭示其时空演化规律,为此需要采用以下研究方法和数据来实现。

#### (一)耦合协调度测算模型

##### 1.气候风险与经济韧性测算

本文根据前文气候风险与经济韧性的概念以及关于二者测算的研究成果(陈帅等, 2016; 孙久文等, 2022; 蒋正云等, 2023),同时遵从指标选择的代表性、科学性及可获得性原则,分别对气候风险和经济韧性进行测算。

对于气候风险而言,尽管本文指出气候风险的核心内容包括能源结构转型、产业低碳化重构和生态协同治理,但最终目标还是增强气候系统稳定性,降低气候风险。而根据主流文献(潘敏等, 2022),极端高温和极端降水天气被认为是气候系统稳定性、气候风险的重要表征。为此,本文以1971—2000年为气候基准期,将基准期内各年相同日期的最高、最低温度按照升序排序,然后分别选择第90%、10%的分位值为极端高(低)温阈值,其中极端强降水阈值是将每年逐日降水量大于0的数据按照升序排序,通过计算基准期每年第95%分位的降水量平均值而求得。而当考察期内城市某日的温度、降水量超过上述计算的阈值时,便认为该

市那天出现了一次极端气候事件<sup>①</sup>。需要说明的是,极端气候属于负向指标,这意味着极端气候值越高,气候风险就越大。然而,结合本文研究目标,气候风险与经济韧性的耦合协调,应当体现为气候风险下降与经济韧性提升的协调推进。基于此,为了使极端气候评价与协调方向一致,本文参考李志英等(2024)的做法,对极端气候这一负向指标进行负向标准化处理,以此表征气候风险降低程度,即该指标数值越大,表明气候风险降低程度越高。

对于经济韧性而言,目前大多采用经济周期模型法(Martin et al.,2016)、指标体系法(宋敏、刘欣雨,2023)等进行测算。相比之下,指标体系法覆盖面广、测度指标多元化,能够较为全面地诠释经济韧性的概念内涵。基于此,参考相关研究的指标设计(丁建军等,2020;张辽、姚蕾,2023),本文从抵抗与恢复能力、适应与调节能力、创新与转型能力三个层面来构造经济韧性指数(表1),同时使用熵值法进行计算。

表1 经济韧性综合评价指标体系

一级指标	二级指标	三级指标	指标属性
经济韧性	抵抗与恢复能力	人均地区生产总值	正向
		城镇居民人均可支配收入	正向
		城乡居民储蓄余额	正向
		城镇登记失业率	负向
		进出口总额/地区生产总值	负向
	适应与调节能力	地方财政收入/地方财政支出	正向
		社会消费品零售总额	正向
		第三产业占GDP比重	正向
		年末金融机构存贷比	正向
		社会固定资产投资总额	正向
		医院、卫生院床位数	正向
	创新与转型能力	工业烟粉尘排放量	负向
		专利授权数	正向
		普通高等学校在校学生数/总人口	正向
		财政科学支出	正向
		财政教育支出	正向
		第三产业与第二产业产值之比	正向
		城镇化率	正向

## 2.耦合协调度模型

耦合协调度模型主要用于度量两个及以上系统之间彼此影响、协调发展的程度,包括耦合度和协调度两个部分。为此,本文借鉴余清项等(2025)的研究,运用耦合协调度模型对气候风险与经济韧性的耦合协调程度进行实证分析。计算公式如下:

$$C = \sqrt{\frac{U_1 \times U_2}{\left(\frac{U_1 + U_2}{2}\right)^2}} \quad (1)$$

<sup>①</sup>按照此方法,将2011—2021年每年的极端气温事件和极端降水事件发生的天数加总,即可得到每年极端气候出现的比率值。

$$T = \alpha \cdot U_1 + \beta \cdot U_2 \quad (2)$$

$$D = \sqrt{C \cdot T} \quad (3)$$

其中,  $C$  为耦合度,  $U_1$ 、 $U_2$  分别表示气候风险降低程度和经济韧性指数;  $T$  为综合协调指数, 考虑到气候风险与经济韧性同样重要, 故采用对称权重赋值法, 将  $\alpha$ 、 $\beta$  各自赋值为 0.5;  $D$  为耦合协调度。参考相关研究(岳菊、戴湘毅, 2024; 邓宗兵等, 2024), 可将耦合度与耦合协调度按等级进行划分(表 2)。与此同时, 参考周亮等(2019)的做法, 若  $U_1 - U_2 > 0.1$ , 则属于经济韧性滞后型; 若  $U_2 - U_1 > 0.1$ , 则属于气候风险滞后型;  $0 < |U_1 - U_2| < 0.1$ , 则二者同步, 从而取大类型进行划分即可。

表 2 耦合协调度等级

	区间范围	类型
C 值区间	$C \in [0.0, 0.3]$	低水平耦合
	$C \in (0.3, 0.5]$	中等水平耦合
	$C \in (0.5, 0.8]$	较高水平耦合
	$C \in (0.8, 1.0]$	高水平耦合
D 值区间	$D \in (0.000, 0.099)$	极度失调
	$D \in (0.100, 0.199)$	严重失调
	$D \in (0.200, 0.299)$	中度失调
	$D \in (0.300, 0.399)$	轻度失调
	$D \in (0.400, 0.499)$	濒临失调
	$D \in (0.500, 0.599)$	勉强协调
	$D \in (0.600, 0.699)$	初级协调
	$D \in (0.700, 0.799)$	中级协调
	$D \in (0.800, 0.899)$	良好协调
	$D \in (0.900, 0.999)$	优质协调

## (二)探索性空间数据分析法

探索性空间数据分析(ESDA)是一种遵循泰勒地理学第一定律, 以空间属性数据驱动为导向, 并以空间关联测度为核心的地学统计分析方法, 它通过对事物(或现象)的空间结构变迁进行统计描述及可视化展示, 用以探求事物或现象的所属区域是否存在空间关联性与空间异质性, 以此揭示考察对象在空间上的相互作用(Anselin et al., 1997)。由于探索性空间数据分析涉及全域空间自相关和局域空间自相关两种度量方法, 本文将分别采用这两类工具来识别气候风险与经济韧性耦合协调的空间相关性及其空间集聚类型, 具体说明如下。

### 1.全域空间自相关

全局空间自相关用于刻画整个区域的经济社会属性(或现象)与邻近区域同一属性(或现象)的关联程度。衡量全域空间自相关的指标主要有 Moran's I、Geary's Contiguity 和 Getis-Ord 指数等, 由于 Moran's I 指数更加稳定、可靠, 因而本节将使用全域空间自相关的 Global Moran's I 指数来反映气候风险与经济韧性耦合协调在区域单元上的空间关联程度和集散效应。计算公式为:

$$\text{Global Moran's I} = \frac{m \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m w_{ij} \sum_{i=1}^m (x_i - \bar{x})^2} = \frac{m \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{S^2 \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m w_{ij}} \quad (4)$$

式(4)中,  $m$  为研究区域的空间单元数;  $x_i$ 、 $x_j$  分别为第  $i$  个和第  $j$  个城市的耦合协调度值;  $\bar{x}$  为各省份绿色创新效率均值;  $w_{ij}$  为标准化后的空间权重矩阵, 此处选择反距离空间权重矩阵。Global Moran's  $I$  为全域莫兰指数值, 取值区间为  $[-1, 1]$ , 当  $0 < \text{Global Moran's } I \leq 1$  时, 表明耦合协调度具有空间正相关特征, 从而在空间上呈聚合分布模式; Global Moran's  $I < 0$  时, 表现为空间负相关, 即耦合协调度在空间上呈离散分布模式; Global Moran's  $I = 0$  时, 则说明耦合协调度在空间上随机分布, 不存在空间自相关。

## 2. 局域空间自相关

事实上, 不同研究区的属性还会因空间位置的差异而存在一定的异质性。为此, 进一步引入局域空间自相关 Local Moran's  $I$  指数, 通过绘制 LISA 集聚图来直观形象地揭示各城市内部耦合协调的局部空间集聚与离散格局, 其表达式为:

$$\text{Local Moran's } I = \frac{(x_i - \bar{x})}{S^2} \sum_{j=1, j \neq i}^n w_{ij} (x_j - \bar{x}) \quad (5)$$

式(5)中, Local Moran's  $I$  为局域空间自相关指数, 取值范围同样介于  $-1 \sim 1$  之间。根据局部莫兰指数的测算结果及其取值范围, 可将本文所考察的样本单元划分为 4 个象限, 即第一象限的“高-高(H-H)”集聚区, 第二象限的“低-高(L-H)”集聚区, 第三象限的“低-低(L-L)”集聚区以及第四象限的“高-低(H-L)”集聚区。由此, 可将耦合协调区分为 4 种空间关联模式: H-H 型集聚区, 即耦合协调度高值城市被周围其他高值城市所包围; H-L 型集聚区, 即耦合协调度高值城市被周围其他低值城市所包围; L-L 型集聚区, 即耦合协调度低值城市被周围其他低值城市所包围; L-H 型集聚区, 即耦合协调度低值城市被周围其他高值城市所包围。

## (三) 数据来源

本文以 2011—2021 年中国 273 个地级及以上城市为研究样本, 由于部分地级市数据缺失严重或者在样本期内行政区划变更等原因, 研究样本不包括西藏自治区的地级市及其他省份部分地级市。相关原始数据来自历年《中国城市统计年鉴》、各省市统计年鉴及年度统计公报等, 少量缺失值用线性插值法补充, 而气候风险数据则来自气象台(站)的逐日观测数据。

## 四、结果与分析

基于 2011—2021 年 273 个城市的数据, 计算获得各年份全国的气候风险降低程度、经济韧性指数、耦合度以及耦合协调度值, 据此绘制相应的变化趋势图(图 2)。由图 2(a)可知, 考察期内气候风险降低程度整体呈现类“倒 U”型的波动变化趋势, 均值在 0.477~0.703 之间。具体地, 以 2015 年为节点, 研究期可划分为两个阶段: 第一阶段为波动上升期(2011—2015 年), 这主要是受工业化加速与能源消费结构调整滞后的影响; 第二阶段进入波动下降期(2016—2021 年), 其趋势与“十三五”节能减排政策的实施密切相关, 同时也反映出“双碳”目标提出后, 政策效应已初步显现。而经济韧性指数则呈现平稳上升趋势, 均值在 0.051~0.097 之间。

由图2(b)可知,考察期内气候风险与经济韧性的耦合度及协调度均随时间推移波动上升。其中,耦合度均值在0.523~0.677之间,处于较高水平耦合阶段;耦合协调度均值在0.385~0.456之间,处于失调阶段。可见,尽管考察期内气候风险与经济韧性的互动关系逐渐强化,但二者协调发展水平仍偏低,尚未形成高水平的良性互动。

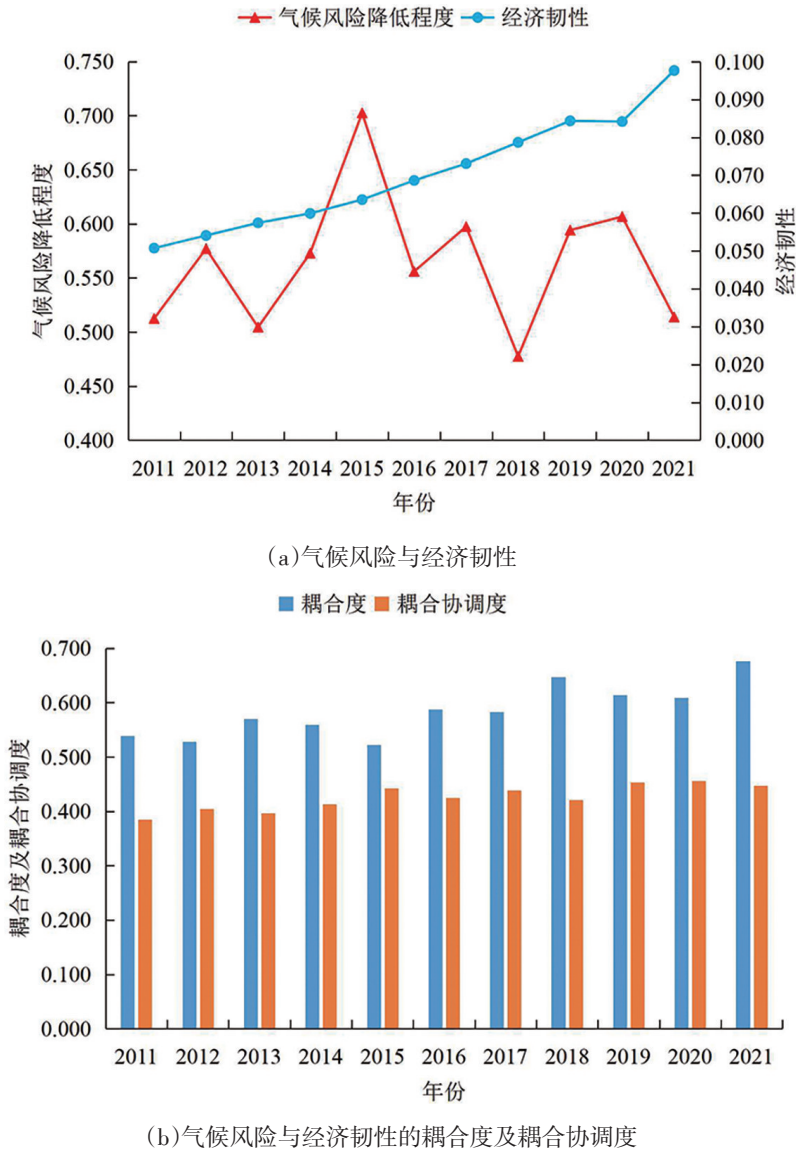


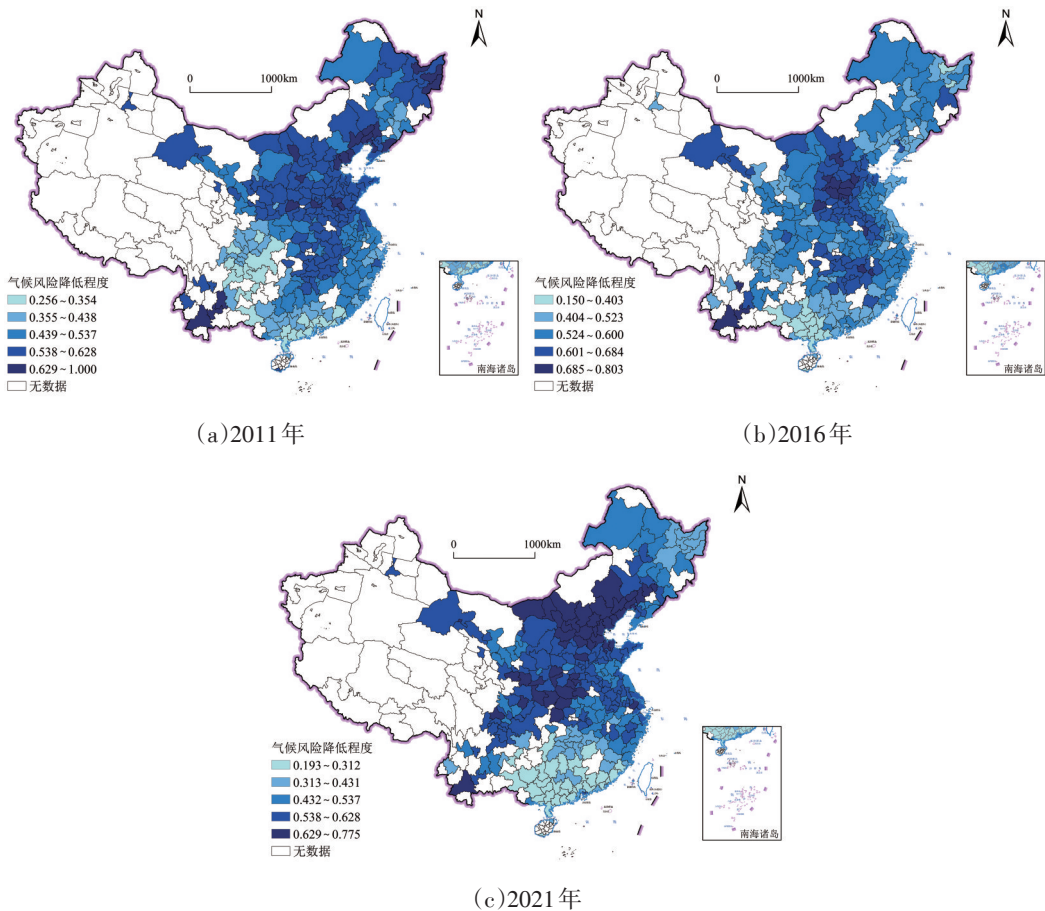
图2 气候风险与经济韧性及其耦合度、耦合协调度的变化趋势

(一)气候风险与经济韧性的时空分异特征

为揭示气候风险与经济韧性的时空分异特征,本文采用GIS软件中的自然断点功能将2011年、2016年、2021年的气候风险降低程度、经济韧性指数分别划分为5个梯队,以此刻画二者的空间格局演变,具体见图3和图4。

### 1.气候风险时空分异特征

从图3不难看出,考察期内气候风险降低程度整体呈现出“北部及内陆城市高,南部及沿海城市低”的空间格局,其中高值区域主要分布在北部黄河中下游,而低值区域则形成了以广东省为中心的极核。具体而言,2011年,普洱市的气候风险降低最为明显,玉溪、阜新、秦皇岛、唐山次之。2021年,全国极端气候风险降低程度高的城市数量明显增多,第一梯队增至51个,张家口市位居第一;尽管第二梯队城市仍占据最大比重,但数量却降至97个。因此,总体而言,2011—2021年的气候风险虽有所下降,但个别时点的气候风险仍呈现上升趋势,这与近年来国内经济与工业化的快速发展、以二氧化碳为主的温室气体大量排放等密切相关。而且,气候风险的南北差异也日益凸显,其中我国南部城市以热带、亚热带季风气候为主,四川东部城市的极端高温主要受大陆高压控制,广东等沿海城市的极端降水则多由季风、台风等热带系统引发;而东北等地的极端低温,除纬度影响外,更常受到西伯利亚极端冷空气的直接冲击。



注:基于自然资源部标准地图服务网站(<http://bzdt.ch.mnr.gov.cn/>)GS(2020)4630号的标准地图制作,底图边界无修改,以下各地图同。

图3 气候风险的时空分布

## 2.经济韧性的时空分异特征

由图4可知,研究期内城市经济韧性指数整体呈现“东高西低”的空间格局,且随时间推移,各城市经济韧性水平均有显著提升,体现了政府对经济发展安全的高度重视。然而,位于第五梯队的城市数量始终占据总量的一半以上,说明我国经济韧性的区域发展仍存在严重的不平衡问题。具体说来,经济韧性水平高的城市大多集聚于东南沿海地区,这表明经济发展水平越高,城市承受外部冲击的能力就越强,因为其能够凭借更雄厚的物质与技术基础来有效应对各类挑战(Martin & Gardiner, 2019)。研究期内,北京、上海、深圳始终稳居第一梯队,经济韧性维持高位;广州则在2016年退出该梯队后,于2021年再度进入。西部的成都与重庆一直处于第二梯队,其虽未达到北上广深等城市的水平,但充分享受了西部大开发与成渝地区双城经济圈的战略红利,从而快速形成了新的增长极。相比之下,中部城市多数集中于第四、五梯队;东北地区高经济韧性城市数量呈递减趋势,这可能与其传统产业衰退、新动能培育不足密切相关。

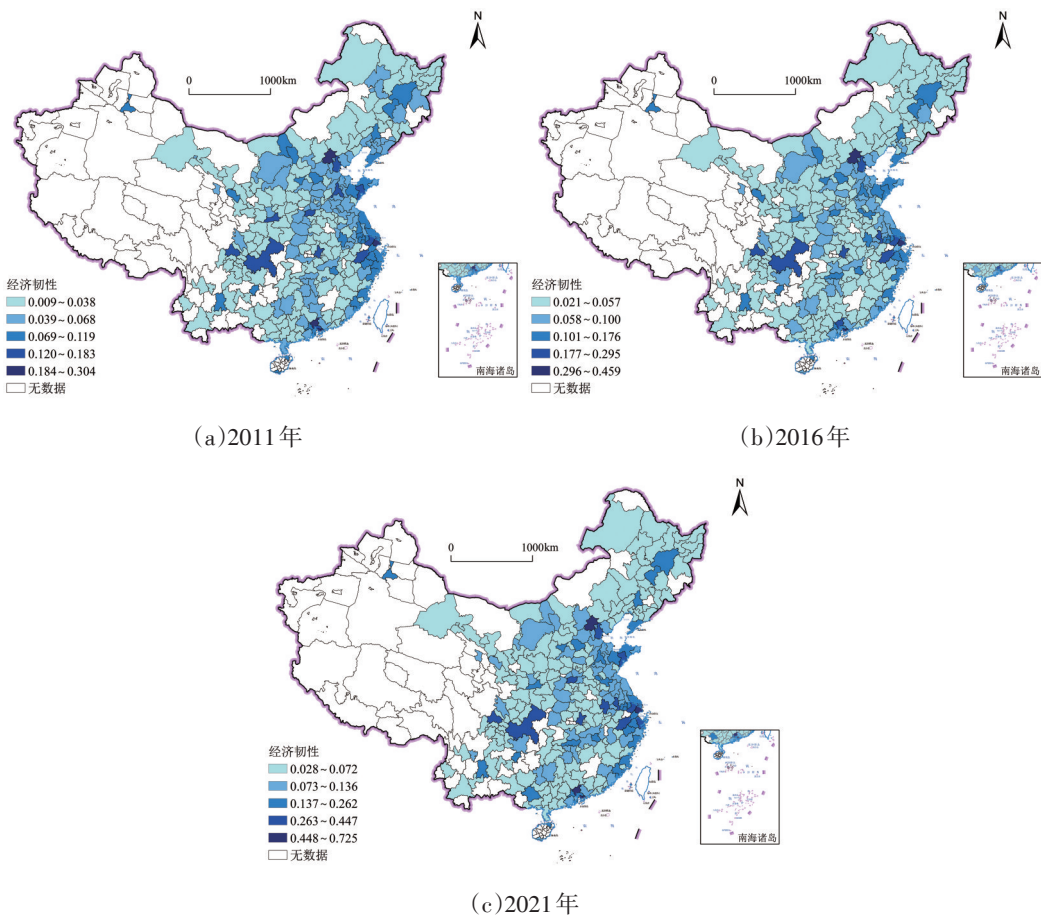


图4 经济韧性的时空分布

综上所述,考察期内城市气候风险降低程度显现波动上升趋势,经济韧性亦稳步提高,这初步说明二者存在一定的协调发展特征。但气候风险与经济韧性在空间上则呈现出较为明显的不同步现象,前者呈“北高南低”格局,后者为“东高西低”格局。因此,为因地制宜推进气候风险与经济韧性协调发展,有必要在耦合视域下对二者的耦合协调状态及其时空演化特征做更深入分析。

## (二)气候风险与经济韧性耦合协调的时空演化特征

### 1.耦合度的时空分异特征

根据耦合度模型,测算得到2011年、2016年、2021年全国273个城市的耦合度值,据此借助GIS软件对其进行空间可视化表达(图5)。总体来看,时序上,气候风险与经济韧性的耦合程度呈逐年上升趋势,且趋向于高水平耦合。空间上,二者则呈现出“东高西低、南高北低”的分布特征,逐步形成了以东南部沿海经济发达地区为中心向四周扩散的格局;相应地,全域耦合类型也实现了从“以中等水平耦合状态和较高水平耦合状态为主”到“以较高水平耦合状态和高水平耦合状态为主”的转变。

进一步从局部来看,各城市在2011年的耦合度值主要处于“中等水平耦合-较高水平耦合”阶段。其中,处于中等水平耦合阶段城市涉及中卫、南宁、平凉等144个城市,分布较为分散,表明这些城市的两系统间相互限制;处于较高水平耦合阶段的城市则包括无锡、绍兴、福州等111个城市,其两系统已初步实现良性互促。但此间高水平耦合城市数量极少,仅北京、上海、广州、深圳等7个城市达到该阶段。此外,普洱市尚停留在低水平耦合阶段,耦合值明显偏低。2016年,普洱、中卫、白银等76个城市仍处于中等水平耦合阶段,其余城市则均已迈入较高水平耦合或高水平耦合区间。其中,较高水平耦合阶段包含沈阳、哈尔滨、贵阳等171个城市;高水平耦合阶段则包含上海、北京、三亚等26个城市。2021年,各城市耦合度大幅提升。除乌兰察布、普洱、朝阳等22个城市仍处于中等水平耦合阶段外,唐山、银川、淄博等191个城市已进入较高水平耦合阶段,而高水平耦合城市则增至60个,佛山、上海、北京位列前三。这表明气候风险降低与城市经济韧性提升已形成显著的良性互动关系。

综上所述,各城市气候风险与经济韧性耦合状态一直维持较高水平。特别地,东南沿海城市实现了从较高水平耦合状态向高水平耦合状态的跃升。这是因为,尽管沿海地区经济发达,但却易受台风等极端天气的频繁影响;而该地区气候风险与经济韧性耦合程度的持续提高,充分说明国家对东南沿海地区经济与气候的协同应对政策已见成效。

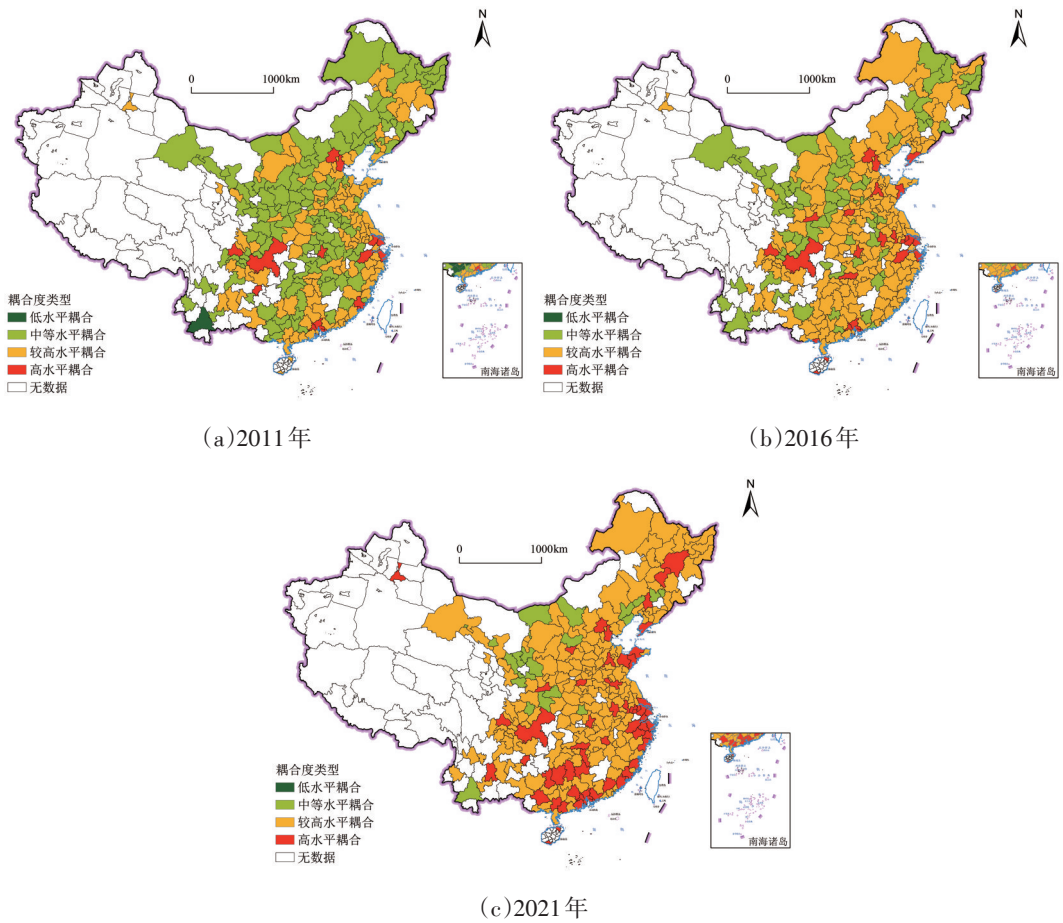


图5 气候风险与经济韧性耦合度的时空分异

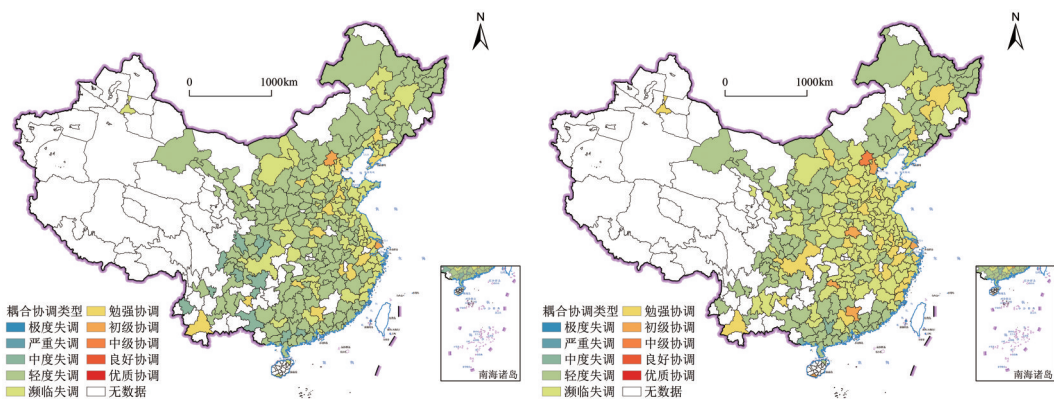
## 2.耦合协调度的时空分异特征

由图6可知,2011—2021年气候风险与经济韧性的耦合协调度在不断上升,同时表现出明显的空间分异特征。与2011年相比,2021年高协调城市仍集中在东部沿海经济发达地区,逐渐形成了以北京、深圳、上海良好协调为节点的“多核心”增长极,由此辐射带动中级协调阶段的城市向中西部延伸。然而,中西部城市因受制于产业结构单一、创新创业动力不足、营商环境欠佳等因素,其经济韧性与气候风险尚未真正形成良性互动。

从耦合协调度的空间演变来看,与2011年相比,绝大部分城市实现了跨级跳跃,大致可归纳为六种类型:“初级协调→中级协调→良好协调”的中等水平协调跳跃型,此类型仅有东部的北京;“初级协调→中级协调”的低中水平协调发展型,此类型仅有东部的上海;“勉强协调→初级协调→中级协调”的低中水平协调跳跃型,实现协调等级的二级跳,涉及东部的韶关、苏州;“濒临失调→勉强协调→初级协调→中级协调”“轻度失调→濒临失调→勉强协调→初级协调”“轻度失调→濒临失调→勉强协调”“濒临失调→勉强协调”的跨界跳跃型,分别实

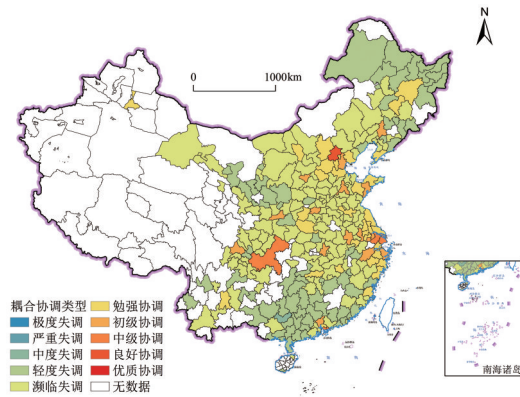
现协调等级的中等三级跳、初等三级跳、二级跳、一级跳,其中中等三级跳的仅有东部的三亚,初等三级跳的仅有东部的南京,二级跳的包括东部的张家口和中部的三门峡,一级跳的包含乌鲁木齐、宁德等30个城市;“勉强协调→初级协调”的低水平协调发展型,包括东部的天津、杭州、菏泽、济南,中部的驻马店、娄底、上饶、太原,西部的普洱,东北的沈阳;“濒临失调→勉强协调→初级协调”的低水平协调跨越型,包括东部的宁波、无锡,中部的合肥,西部的重庆。此外,仍有两个城市一直处于勉强协调阶段,即西部的安顺和东北的大连。而其余220个城市则处于失调阶段,未能成功进入协调发展阶段。可见,“跨界跳跃型”包含的城市最多,是协调等级演变的主要模式。“低水平协调发展型”“低水平协调跨越型”“低中水平协调跳跃型”包含的城市数量则在依次减少,是协调等级演变的次要模式。此外,东部城市大都实现向更高协调等级的(勉强协调、初级协调、中级协调、良好协调)转变,而中西部、东北大部分城市则处于轻度失调、濒临失调阶段。值得注意的是,南部沿海城市大多仍处于轻度失调阶段,这是因为该地区极端天气频发,发生频率显著高于其他城市,加之其在以往的经济建设过程中,未能很好地将韧性需求置于重要的战略地位,导致其经济的抵抗力与恢复力较低。这样一来,尽管其两系统间的互动作用在增强,但区域间的不平衡情形仍旧存在,整体未能发展到协同发力的程度。

从气候风险与经济韧性关系的演变来看,2011—2021年全国大多数城市均属于经济韧性滞后型,且与2011年相比,只有4个城市摆脱了经济韧性滞后。其中,北京从“初级协调-经济韧性滞后型”转变为“良好协调型”,上海从“初级协调-经济韧性滞后型”转变为“良好协调型”,广州从“勉强协调型”转变为“初级协调-气候风险降低滞后型”,深圳则从“勉强协调-经济韧性滞后型”转变为“良好协调-气候风险降低滞后型”。显然,研究期内中国城市气候风险与经济韧性的关系未发生明显变化,仍主要表现为经济韧性滞后。这也再度表明,推进气候风险与经济韧性工作不能顾此失彼,而需在耦合视域下,实现二者的良性互动与协调发展。



(a)2011年

(b)2016年



(c)2021年

图6 气候风险与经济韧性耦合协调度的时空分异

### 3.耦合协调度的空间自相关分析

前文分析表明,目前东部城市已逐步形成中高耦合协调的集聚态势,同时中西部地区的协调型城市数量也持续增长。这反映出我国气候风险与经济韧性耦合协调的中高值城市呈现出多点发展的格局。为更直观地揭示气候风险与经济韧性耦合协调的空间关联与集聚特征,本文将进一步开展空间自相关分析。

基于反距离权重矩阵,计算获得耦合协调度的全域Moran’s I指数(表3)。由表3可知,研究期内耦合协调的全域Moran’s I指数均显著为正,说明耦合协调存在较强的空间正相关关系,在空间上呈现出聚集状态。从变化趋势来看,全局Moran’s I指数呈现出“下降-上升-下降-上升”的“W”形波动走势,增幅较小,仅有4.7%。整体而言,中国城市气候风险与经济韧性耦合协调的空间集聚效应在波动中保持稳定,且已逐渐由“扩散效应”转变为“极化效应”。

表3 耦合协调度的全域Moran’s I指数

年份	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Moran’s I指数	0.086	0.067	0.065	0.115	0.083	0.071	0.056	0.059	0.072	0.078	0.090
p值	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

由于全局空间自相关难以有效识别局部空间集聚特征,因此,为更准确反映气候风险与经济韧性耦合协调的空间集聚与离散现象,本文通过绘制LISA聚类图,将耦合协调值划分为高-高(H-H)、高-低(H-L)、低-高(L-H)、低-低(L-L)和“不显著”五种类型进行分析(图7)。对比2011年、2016年和2021年的LISA聚类图可知,气候风险与经济韧性耦合协调整体上呈现出“东热西冷”的空间格局。

具体而言,H-H集聚区的分布中心主要位于东部沿海地区,且在研究期间逐渐向中部地区扩展,在保持原有东部城市H-H集聚格局的同时,新增了山西、河南等省份的部分城市;L-L集聚区则从2011年主要分布于西部地区,转变为2021年主要集中于南部与东北地区。

其主要原因可能在于:东部沿海城市自身经济发展水平较高、对外贸易优势显著,加之北京、上海两大增长极的带动作用,区域内技术交流频繁、要素流动活跃、空间溢出效应明显,从而有效推动自身及周边城市协调水平持续提升。南部沿海地区尽管经济发展程度高、对外经贸活跃,但其经济系统的适应与调节能力相较于东部仍显不足,同时该地区更易受台风影响,极端降水事件更为频繁。东北地区则受制于相对单一的经济结构,经济系统抵抗力与恢复力整体偏弱,导致其气候风险与经济韧性的协调发展水平长期处于低位。

此外,H-L集聚区与L-H集聚区的分布状况也应引起注意。其中,H-L集聚区主要涉及西部与东北地区的城市,其周边多为L-L集聚区。这表明受周边城市发展水平的制约,这些城市虽具有较高的协调程度,却未能有效带动周边地区发展,反而表现出一定的“极化效应”,在一定程度上阻碍了周边地区气候风险与经济韧性的协同提升。L-H集聚区则主要分布在中东部内陆城市,这些地区因经济发展受限、产业结构失衡、科技创新能力不足、营商环境有待改善以及新动能培育滞后,难以有效承接东部沿海高值城市产生的辐射与溢出效应。

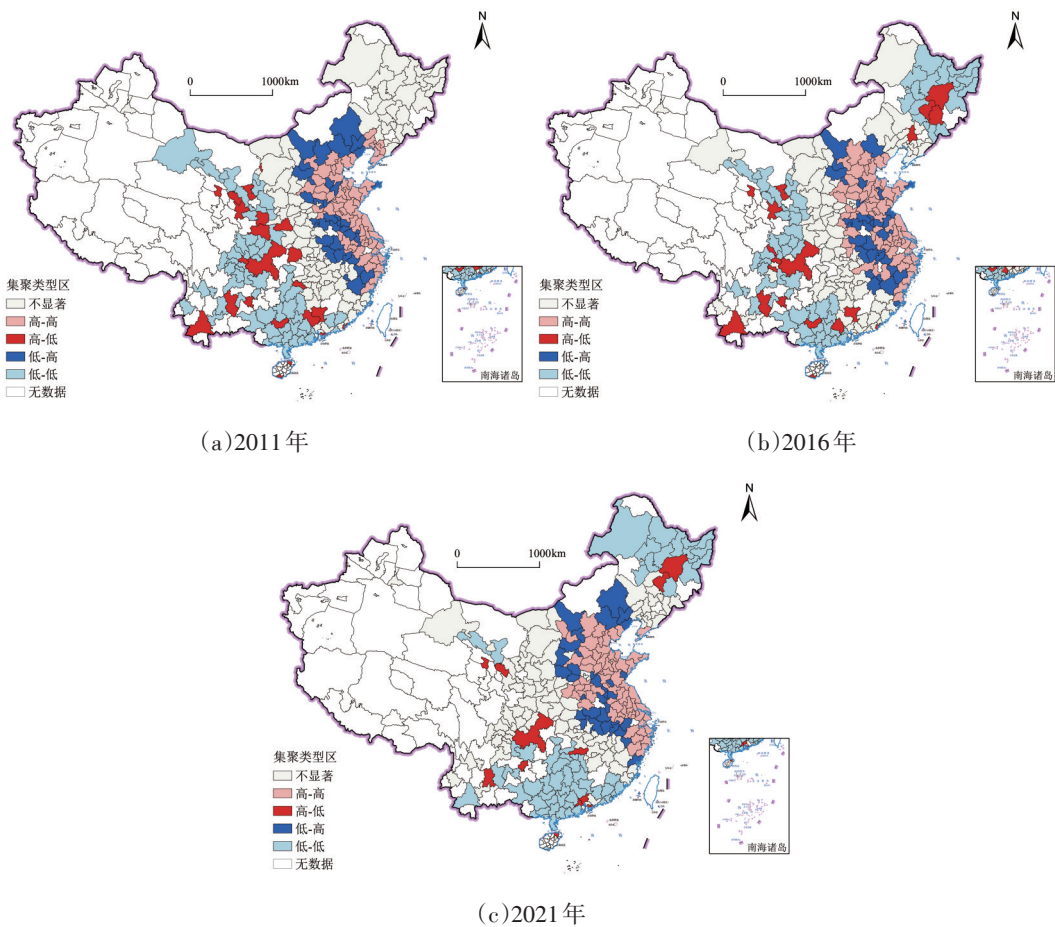


图7 耦合协调度的局部自相关分析

## 五、结论与建议

### (一)研究结论

本文立足耦合视域,通过探究2011—2021年中国城市气候风险与经济韧性的协调关系及其时空演化特征,得出主要结论为:

(1)研究期内,中国城市经济韧性整体呈现稳步上升趋势,而气候风险降低程度则呈先升后降的类“倒U”型变化趋势,二者空间分异特征显著,经济韧性表现为“东高西低”,气候风险降低程度表现为“北高南低”。此外,二者在城市尺度上也存在明显的不平衡现象,经济韧性高值区呈现出“集聚-扩散”的演变态势,而气候风险降低程度高值区则经历了由“孤岛”分布向“集聚”格局转变的过程。

(2)气候风险与经济韧性总体上始终维持较高水平的耦合关系。研究期内,二者的耦合阶段经历了从“中等水平耦合—较高水平耦合—高水平耦合”到“较高水平耦合—高水平耦合”的转变,相互关联程度逐步增强。空间上,耦合度呈现出“东高西低、南高北低”的不均衡特征,并已形成以东南部沿海经济发达地区为中心、逐步向四周扩散的空间格局。

(3)气候风险与经济韧性耦合协调度呈现逐年上升趋势,协调阶段实现了从“失调”向“协调”的转变,但整体水平仍然偏低,半数以上城市仍处于失调阶段。从协调等级看,研究期内各城市普遍出现六种跨级跃迁类型,其中以“跨界跳跃型”与低水平协调系列为主,整体上形成“东部协调转型,中西部失调挣扎”的等级演变格局。从气候风险与经济韧性的关系来看,大部分城市表现为经济韧性滞后,这成为制约耦合协调水平提升的关键因素。

(4)空间自相关分析表明,气候风险与经济韧性耦合协调度具有显著的空间正相关性,城市空间集聚态势在波动中逐步增强,形成了“高-高(H-H)、高-低(H-L)、低-高(L-H)与低-低(L-L)”四类集聚区。其中,H-H型集中分布于东部沿海地区,L-L型多在东北和南方地区,H-L型与L-H型分布相对分散,但H-H集聚区对其他区域的辐射带动效应仍有待强化。

### (二)政策建议

第一,根据不同类型城市,分类实施治理策略。研究发现,城市气候风险降低程度和经济韧性在空间上呈现出显著的不均衡特征,前者为“北高南低”,后者为“东高西低”。据此,对于南方高气候风险区,需着力加强极端气候灾害防御体系建设,通过升级排水系统、建设海绵城市及优化应急响应机制,重点应对台风、暴雨等频发灾害。对于北方低气候风险区,应警惕因风险感知度低而导致的防灾投入松懈问题,持续监测和评估长期、慢性的气候风险。对于东部高经济韧性区,应探索建立“区域经济韧性联盟”,在城市群内统一关键基础设施的韧性标准,同时实现应急资源与救援力量的跨区域调度与互认。对于西部低经济韧性区,应积极引入高水平区域的先进技术与管理经验,强化对本地企业关于气候风险、韧性城市规划的培训,

提升治理能力。

第二,推行“减缓-适应-安全”三轨战略,促进气候风险与经济韧性高水平协调发展。研究表明,尽管气候风险与经济韧性已形成较高水平的耦合关系,但二者仍处于以经济韧性滞后为主要特征的失调阶段。为此,在经济快速增长阶段,应将发展重心适当向提升经济韧性转变,以推动二者实现高水平协调,保障经济社会的高质量发展。首先,应推行“韧性基建”投资计划,在建设防洪、防风等灰色基础设施的同时,投资兼具生态功能与经济效益的绿色基础设施;其次,需构建多层次的气候风险金融保障体系,通过设立“气候韧性发展基金”,专项支持中小企业开展气候适应性技术改造,直接针对经济韧性薄弱环节进行强化;最后,要搭建“气候-经济”系统性风险早期预警平台,利用大数据与AI模型,动态评估、预警气候风险可能触发的经济断点、供应链中断及金融风险,从而实现从“事后应对”到“事前预警”的转变。

第三,注重区域异质性问题,制定适宜的协调发展路径。研究发现,气候风险与经济韧性耦合协调水平存在明显的空间非均衡特征,整体表现为“东部协调转型,中西部失调挣扎”。对此,各地区应立足自身发展阶段与比较优势,实施差异化发展策略。东部地区应着力提升创新与转型能力,积极运用科技手段应对极端气候,加快建设气候适应型创新体系,如在长三角、粤港澳大湾区布局“气候韧性科技创新中心”,重点研发精准预报、智慧防灾、低碳建材等关键技术,以高质量引领气候风险与经济韧性的协调发展。而中西部地区则应聚焦补齐韧性短板与激活生态价值,一方面持续完善韧性基础设施,推进交通、能源、水利网络的抗灾标准化改造,重点加强山区防洪设施与生态护坡建设,另一方面充分发挥生态优势,构建生态产品价值实现机制,在黄河上游、长江经济带生态功能区探索建立跨流域生态补偿机制,积极发展林下经济、生态旅游等气候适应性产业。

第四,加强空间联动,形成区域协同合力。研究发现,气候风险与经济韧性耦合协调呈现出显著的空间正相关性与局部集聚特征。为此,应强化区域间互动协作,加快构建空间协同发展体系。具体而言:其一,建立跨区域长效合作机制,推动人才、资本、数据与协调经验等要素有序自由流动,打破行政壁垒,提升区域联动效率,实现气候风险防控与经济韧性提升的双重目标;其二,强化基础设施互联互通,放大正向空间溢出效应。应以全国统一大市场建设为契机,重点完善跨区域交通、能源与数字网络,鼓励高-高集聚区通过“飞地经济”、合作园区等模式,将产业链与供应链环节有序延伸至具备承接能力的低-低集聚区,促进要素资源在更大范围内优化配置,逐步形成“风险共担、韧性共建、发展共享”的区域协调发展格局。

## 参考文献:

- [1] 陈国进,郭珺莹,赵向琴. 气候金融研究进展[J]. 经济学动态,2021(8):131-145.
- [2] 陈帅,徐晋涛,张海鹏. 气候变化对中国粮食生产的影响——基于县级面板数据的实证分析[J]. 中国农

村经济,2016(5):2-15.

[3] 丁建军,王璋,柳艳红,等. 中国连片特困区经济韧性测度及影响因素分析[J]. 地理科学进展,2020,39(6):924-937.

[4] 邓宗兵,肖沁霖,王炬,等. 中国数字经济与绿色发展耦合协调的时空特征及驱动机制[J]. 地理学报,2024,79(4):971-990.

[5] 范振楠,覃朝晖,余思明. 极端气温对粮食生产韧性的影响效应研究——基于绿色金融视角[J]. 中国生态农业学报(中英文),2024,32(5):896-910.

[6] 胡晓辉,董柯,杨宇. 战略耦合演化视角下的区域经济韧性分析框架[J]. 地理研究,2021,40(12):3272-3286.

[7] 蒋正云,刘庆芳,宋金平. 中国区域经济韧性的格局特征及演化机制[J]. 经济地理,2023,43(6):1-12.

[8] 李连刚,张平宇,程钰,等. 黄河流域经济韧性时空演变与影响因素研究[J]. 地理科学,2022,42(4):557-567.

[9] 李志英,朱晓珊,杨丽,等. 成渝城市群紧凑度与碳排放强度时空演变及协调发展[J]. 环境科学,2024,45(6):3402-3411.

[10] 李琛,吴映梅,高彬嫫,等. 滇中城市群城镇化水平与生态系统健康的近远程耦合协调[J]. 经济地理,2025,45(4):157-167.

[11] 刘逸,纪捷韩,许汀汀,等. 战略耦合对区域经济韧性的影响研究——以广东省为例[J]. 地理研究,2021,40(12):3382-3398.

[12] 潘敏,刘红艳,程子帅. 极端气候对商业银行风险承担的影响——来自中国地方性商业银行的经验证据[J]. 金融研究,2022(10):39-57.

[13] 宋敏,刘欣雨. 中国新基建与经济韧性耦合协调度的时空演化及驱动因素[J]. 经济地理,2023,43(10):13-22.

[14] 孙久文,陈超君,孙铮. 黄河流域城市经济韧性研究和影响因素分析——基于不同城市类型的视角[J]. 经济地理,2022,42(5):1-10.

[15] 王遥,王文蔚. 环境灾害冲击对银行违约率的影响效应研究:理论与实证分析[J]. 金融研究,2021(12):38-56.

[16] 吴家臣,杜志章. 超大城市灾害韧性的生成机制及其治理转向——基于CAS理论视角的分析[J]. 城市问题,2025(6):87-94,103.

[17] 余清项,贾俊松,黄汉志,等. 新型城镇化与城镇居民生活能耗低碳化耦合协同的时空特征及障碍因子[J]. 环境科学,2025,46(04):2078-2088.

[18] 岳菊,戴湘毅. 区域文化遗产与旅游发展耦合机制及协调效应——基于京津冀地区的实证分析[J]. 经济地理,2024,44(1):230-240.

[19] 杨墨,董大勇,岳思诗. 企业战略中的自然气候因素:来自极端降雨影响中国上市公司战略调整的证据[J]. 系统工程,2023,41(5):84-103.

[20] 张辽,姚蕾. 数字技术创新对城市经济韧性的影响研究——来自中国278个地级及以上城市的经验证据[J]. 管理学报,2023,36(5):38-59.

[21] 张大永,陈映彤,姬强. 气候风险与外商直接投资:基于城市层面的实证研究[J]. 财贸研究,2023,34(12):1-13.

[22] 周亮,车磊,孙东琪. 中国城镇化与经济成长的耦合协调发展及影响因素[J]. 经济地理,2019,39(6):97-107.

[23] Anselin, L., A. Varga, Z. Acs. Local Geographic Spillovers Between University Research and High Technology Innovations[J]. Journal of Urban Economics, 1997, 42(3): 422-448.

- [24] Alejandro, L., D. Carolona. Socioeconomic Resilience During the COVID-19 Pandemic. The Role of Industrial Capabilities[J]. *Structural Change and Economic Dynamics*, 2023, 67: 44-57.
- [25] Auffhammer, M., E. Mansur. Measuring Climate Impacts on Energy Consumption: A Review of the Empirical Literature[J]. *Energy Economics*, 2014, 46: 522-530.
- [26] Choi, D., Z. Gao, W. Jiang. Attention to Global Warming[J]. *The Review of Financial Studies*, 2020, 33(3): 1112-1145.
- [27] Feng, Y., C. Lee, D. Peng. Does Regional Integration Improve Economic Resilience? Evidence from Urban Agglomerations in China[J]. *Sustainable Cities and Society*, 2023, 88: 104273.
- [28] Gupta, Y., Z. Liu, M. Ali. Examining Spatial and Socioeconomic Disparities in Internet Resilience During Extreme Weather Events: A Case Study of Hurricane Harvey and Winter Storm Uri[J]. *Urban Informatics*, 2024, 3: 19.
- [29] Hu, L., J. Meng, C. Xiong, et al. City-Level Resilience to Extreme Weather Shocks Revealed by Satellite Nighttime Lights in China[J]. *Sustainable Cities and Society*, 2024, 101: 105167.
- [30] He, F., D. Lin, Y. Cao, et al. Green Credit Policy and Corporate Climate Risk Exposure[J]. *Energy Economics*, 2024, 133: 107509.
- [31] Kumar, S., M. Khanna. Temperature and Production Efficiency Growth: Empirical Evidence[J]. *Climatic Change*, 2019, 156: 209-229.
- [32] Kuang, B., Y. Shi, Y. Hu, et al. Household Energy Resilience in Extreme Weather Events: An Investigation of Energy Service Importance, HVAC Usage Behaviors, and Willingness to Pay[J]. *Applied Energy*, 2024, 363: 123051.
- [33] Martin, R., P. Sunley, B. Gardiner, et al. How Regions React to Recessions: Resilience and the Role of Economic Structure[J]. *Regional Studies*, 2016, 50(4): 561-585.
- [34] Martin, R., B. Gardiner. The Resilience of Cities to Economic Shocks: A Tale of Four Recessions (and the Challenge of Brexit)[J]. *Papers in Regional Science*, 2019, 98(4): 1801-1832.
- [35] Peters, V., J. Wang, S. Mark. Resilience to Extreme Weather Events and Local Financial Structure of Prefecture-Level Cities in China[J]. *Climatic Change*, 2023, 176: 125.
- [36] Painter, M. An Inconvenient Cost: The Effects of Climate Change on Municipal Bonds[J]. *Journal of Financial Economics*, 2020, 135(2): 468-482.
- [37] Reggiani, A., T. D. Graaff, P. Nijkamp. Resilience: An Evolutionary Approach to Spatial Economic Systems [J]. *Networks and Spatial Economics*, 2002, 2(2): 211-229.
- [38] Rao, S., S. Koirala, C. Thapa, et al. When Rain Matters! Investments and Value Relevance[J]. *Journal of Corporate Finance*, 2022, 73: 101827.
- [39] Su, Y. The Drivers and Barriers of Energy Efficiency[J]. *Energy Policy*, 2023, 178: 113598.
- [40] Shen, C., W. Zhu, X. Tang, et al. Risk Assessment and Resilience Enhancement Strategies for Urban Power Supply-Demand Imbalance Affected by Extreme Weather: A Case Study of Beijing[J]. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 2024, 106: 104471.
- [41] Sun, C., Y. Tie, L. Yu. How to Achieve Both Environmental Protection and Firm Performance Improvement: Based on China's Carbon Emissions Trading (CET) Policy[J]. *Energy Economics*, 2024, 130: 107282.
- [42] Wang, L., H. Hu, X. Wang, et al. Synergistic Evolution of Resilience and Efficiency in the Real Estate Industry: Evidence from 35 Large and Medium-Sized Cities in China[J]. *Applied Economics Letters*, 2023, 30(19): 2702-2710.
- [43] Wang, J., X. Zhou. Measurement and Synergistic Evolution Analysis of Economic Resilience and Green Economic Efficiency: Evidence from Five Major Urban Agglomeration, China[J]. *Applied Geography*, 2024, 168: 103302.

# The Coordinated Relationship and Spatio-temporal Evolution Between Climate Risk and Economic Resilience from a Coupled Perspective

Xiao Liming<sup>a</sup>, Zhang Ying<sup>a</sup>, Li Xiuqing<sup>b</sup>, Xiao Qinlin<sup>a</sup>

(a: School of Economics and Management, Shanxi Normal University;

b: Northwest Institute of Historical Environment and Socio-Economic Development, Shaanxi Normal University)

**Abstract:** Aligning climate risks with economic resilience is an inherent requirement for achieving high-quality sustainable development. This paper adopts a coupled perspective and follows the research thinking of “pattern-process”. Based on deconstructing the coupling and coordination mechanism between climate risk and economic resilience, it employs the coupling coordination degree model, GIS spatial analysis tools, and exploratory spatial data analysis methods to examine the coordinated relationship and spatio-temporal evolution of climate risk and economic resilience in Chinese cities from 2011 to 2021. The study finds that: Firstly, during the observation period, the reduction in climate risk exhibited an inverted U-shaped temporal evolution pattern, while the economic resilience index maintained a consistent upward trend. Spatially, the two indicators demonstrated distinct distributions: climate risk showed a “high in the north, low in the south” pattern, whereas economic resilience displayed an “eastern dominance, western lag” characteristic. Secondly, the coupling coordination degree between climate risk and economic resilience has increased year by year, achieving a phased transition from “imbalance” to “coordination”. The types of coordinated development have also shifted from “unipolar dominance” to “diverse coexistence”, with significant synergistic development poles emerging in the Yangtze River Delta and Pearl River Delta urban agglomerations. Thirdly, the spatial pattern of the coupling coordination degree between climate risk and economic resilience displays a “core-periphery” structural characteristic, where high-value areas exhibit positive spatial spillover effects, while low-value depressions suffer from path-locking effects. Based on these findings, it is recommended to implement differentiated and coordinated governance policies. The eastern region should strengthen the spillover effects of technological innovation, while the central and western regions should establish a linkage mechanism between ecological compensation and industrial transfer. Additionally, by constructing cross-regional collaborative platforms, a “win-win” situation can be achieved in reducing climate risk and enhancing economic resilience.

**Keywords:** Climate Risk; Economic Resilience; Coupling and Coordination; Spatio-temporal Evolution

**JEL Classification:** O1, O13

(责任编辑:朱静静)