

DOI: 10.20103/j.stxb.202207282159

杨亮洁, 秦丽双, 杨永春, 潘竞虎. 城市群地区城市高质量发展与生态环境的交互协同作用——以成渝城市群为例. 生态学报, 2023, 43(17): 7035-7046.

Yang L J, Qin L S, Yang Y C, Pan J H. Interaction between high-quality of urban development and ecological environment in urban agglomeration areas: Taking the Chengdu-Chongqing urban agglomeration as an example. Acta Ecologica Sinica, 2023, 43(17): 7035-7046.

城市群地区城市高质量发展与生态环境的交互协同作用 ——以成渝城市群为例

杨亮洁^{1,2,*}, 秦丽双¹, 杨永春³, 潘竞虎¹

1 西北师范大学地理与环境科学学院, 兰州 730070

2 甘肃省绿洲资源环境与可持续发展重点实验室, 兰州 730070

3 兰州大学 西部环境教育部重点实验室, 兰州 730000

摘要: 高质量发展与生态环境交互作用的研究是实现可持续发展和建设美丽中国的关键议题。选取成渝地区 36 个市县为研究单元, 以 2005 年、2010 年、2015 年和 2018 年为主要研究时间节点。基于可持续发展和美丽中国理念构建成渝城市群高质量发展评价指标体系, 借鉴压力-状态-响应模型构建生态环境质量评价指标体系, 应用熵权法测度城市高质量发展水平和生态环境质量水平; 运用耦合协调度模型测度二者的耦合协调关系; 利用地理探测器和社会网络分析法分析各因子交互作用类型及强度。结果表明: (1) 成渝城市群城市高质量发展与生态环境耦合度高, 交互影响作用显著; 耦合协调水平较低, 以低水平耦合协调为主, 呈现明显的双核心空间结构。(2) 城镇化与生态环境两系统间的因子交互作用强于各系统内部因子交互作用, 系统间的因子交互作用呈现显著的非线性增强, 系统内因子以双因子增强为主, 系统间存在较强交互协同效应, 各子系统交互作用存在明显的“涌现现象”和“蝴蝶效应”。(3) 生态环境系统在与城镇系统的交互作用中发挥主导作用, 生态环境水平、生态环境压力为关键交互因子; 资源禀赋、生态保护、资源消耗、环境水平、创新力量、文化传承等为主要子因子。研究深刻解析成渝城市群城镇化与生态环境的交互协同模式, 以期成渝城市群的高质量发展提供科学参考。

关键词: 高质量发展; 生态环境质量; 耦合协调度; 交互协同; 成渝城市群

Interaction between high-quality of urban development and ecological environment in urban agglomeration areas: Taking the Chengdu-Chongqing urban agglomeration as an example

YANG Liangjie^{1,2,*}, QIN Lishuang¹, YANG Yongchun³, PAN Jinghu¹

1 College of Geography and Environmental Science, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China

2 Key Laboratory of Resource Environment and Sustainable Development of Oasis, Gansu Province, Lanzhou 730070, China

3 Key Laboratory of Western China's Environment Systems, Ministry of Education, Lanzhou 730000, China

Abstract: Research on the interaction between high-quality development and ecological environment is the key issue in realizing sustainable development and building a beautiful China. According to the development status of urbanization high-quality development and ecological environment in Chengdu-Chongqing urban agglomeration including 36 research units of cities and counties, as well as the research results of relevant scholars, the years 2005, 2010, 2015, and 2018 were selected as the primary years of analysis. This paper constructs an evaluation index system for the high-quality development of Chengdu-Chongqing urban agglomeration based on the concept of sustainable development and the conviction of beautiful

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41961030, 41501176)

收稿日期: 2022-07-28; 网络出版日期: 2023-04-28

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yangljm@163.com

China. Building an ecological environmental quality evaluation index system by drawing on the pressure-state-response model and applying the entropy weight method to measure the level of high-quality urban development and the level of ecological environmental quality. The coupling coordination degree model is used to measure the coupling coordination relationship between the urbanization high-quality development system and the ecological environment system; Furthermore, the geographic detector and social network analysis method are used to analyze the interaction type and interaction intensity of factors that consisting of three parts of research contents, which respectively are urbanization quality-ecological environment quality system and within their own system that they are urbanization high-quality development system and the ecological environment system. The results show that: (1) the highly coupled is proved in high-quality development and quality of ecological environment of Chengdu-Chongqing urban agglomeration and demonstrating significant interactive effects. At the same time, the coupling and coordination level between urban high-quality development and ecological environment quality is low, which is dominated by low-level coupling coordination, showing an obvious spatial development structure with Chengdu-Chongqing as the dual core. (2) During the study period, the factors interaction between urbanization high-quality development and ecological environment is stronger than that within each system. There is a strong interactive collaborative effect between the urbanization high-quality development and ecological environment. The internal factors of each system are mainly dual-factor enhancement. And the interaction of each subsystem has obvious “Emergence Phenomenon” and “Butterfly Effect”. (3) The ecological environment system plays a leading role in the interaction with urban development in the primary years of analysis including the years 2005, 2010, 2015, and 2018. The result of the interaction strength of criterion layer shows that factors Ecological environment level and ecological environment pressure are the key leading interaction factors; Furthermore, resource endowment, ecological protection, resource consumption, environmental level, innovation force and cultural inheritance are major sub-factors in the interaction strength of sub-criterion layer. This paper deeply dissects the interactive and cooperative mode of urbanization and ecological environment in Chengdu-Chongqing urban agglomeration. So as to provide a strong and sustainable scientific basis for Chengdu-Chongqing’s future high-quality development.

Key Words: high quality development; ecological environmental quality; coupling coordination degree; interactive collaborative effect; Chengdu-Chongqing urban agglomeration

生态环境是人类赖以生存的本底,是实现城市群高质量发展的基本保障。我国经济已经从高速发展阶段转向高质量发展阶段,城市群是国家新型城镇化的主体区和国家经济发展的重心区^[1]。但城市群的高密度集聚和高速度扩张带来了高度污染和高生态风险,协调城市群地区高质量发展与生态环境的关系,成为当前地理科学研究的前沿领域。

国内外对城镇发展水平的研究多集中在城市化与经济增长的关系^[2-3]、城市化格局、城市化与资源承载力、城市群发展^[4-6]等方面的研究,形成了系统的理论和方法体系。生态环境的研究由运用单一指标评价特定生态环境转向借助遥感技术评估遥感生态环境指数、运用谷歌地球引擎(GEE)生态环境质量等综合指标进行长时序综合评价^[7-9]。

社会经济高速发展带来严重的生态环境问题,越来越多的学者将研究重心转向城镇化与生态环境关系的研究,如匹配分析^[10]、协同发展研究^[11]、耦合分析^[12]等。国外对城镇化与生态环境之间的关系研究最早源于将“库兹涅茨曲线”引入到环境质量与国民经济发展相关关系的研究中。Grossman 和 Krueger 将库兹涅茨曲线引入生态环境领域,进行经济发展与环境污染之间内在关系的研究,创造性地提出了倒“U”形环境库兹涅茨曲线^[13];Henderson 分析了生态环境与城市规模之间的关系^[14],Burgi 等研究总结城镇化对生态格局的影响机制^[15]。近年来的研究主要集中在城市规模与生态环境的关系、绿色生态城市的动态演化^[16]和城镇化与经济规模耦合规律的研究。国内学者在对两者关系探究的基础上,致力于研究城镇化与生态环境的耦合协

同问题^[17]。研究方法包括耦合协调模型^[18]、系统动力学模型^[19]、向量自回归模型^[20]和回归分析^[21]等。国内对城市群地区城镇化与生态环境耦合关系研究已经形成基本研究范式^[22],包括城市群间的区际尺度的远程交互作用机理和城市群内部各城市间的区内尺度的近程交互作用机理的研究。目前研究内容多集中在新型城镇化与生态环境间的耦合协调机理和规律的研究,利用地理探测器和网络可视化方法探究两系统各因子间交互作用的研究比较鲜见。

成渝城市群作为中国五大国家级城市群之一,是引领西部发展的增长极,是一带一路、长江经济带战略实施的创新高地。本文以城镇化与生态环境各因子交互作用机制为切入点,以成渝城市群为例,测度城镇化与生态环境交互耦合协调关系,剖析城镇化系统和生态环境系统间及系统内各层次因子间的交互作用方式和强度,识别城镇化与生态环境各因子交互作用的主导因子,深刻认识成渝城市群城镇化与生态环境的交互协同模式,以为成渝城市群的高质量发展提供科学参考。

1 研究区概况及研究方法

1.1 研究区概况

成渝城市群是四川盆地的核心地区,总面积达 18.5 万 km²,占盆地面积的 86.7%,2018 年末成渝城市群常住人口 9349.75 万人,城镇化率达 59.43%,是我国西部地区城镇化水平最高和最具发展潜力地区^[23]。成渝城市群以成都和重庆两市为双核,具体包括重庆、成都等 36 个市县空间单元(图 1)。

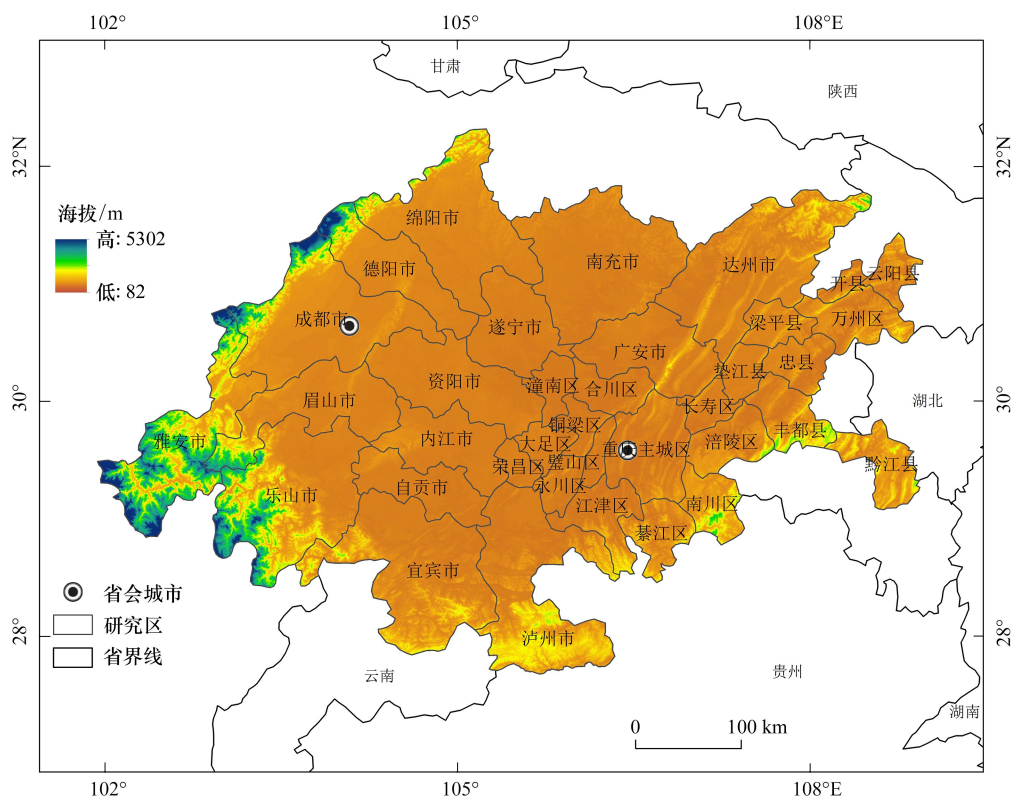


图 1 研究区概况图

Fig.1 Overview of the study area

1.2 数据来源及研究方法

1.2.1 数据来源

本文所用数据主要包括遥感影像数据和社会经济统计数据。遥感影像数据选取的土地利用类型数据和中国海拔高度(DEM)数据均来源于中国科学院资源环境科学数据中心。社会经济数据源自 2005—2018 年

《四川统计年鉴》《重庆统计年鉴》《中国城市统计年鉴》《四川省水资源公报》和《重庆市水资源公报》,部分环境数据来自各市区的环境质量状况公报和各区县生态文明建设规划。

1.2.2 指标体系构建

依据《国家新型城镇化规划(2014—2020年)》的新型城镇化评价框架,结合已有的对城镇化发展研究^[24],基于高质量发展理念从创新发展、协调发展、体制发展、开放发展、共享发展、文化发展6个维度构建城镇化质量指标体系(表1)。参照《中共中央国务院关于加快推进生态文明建设的意见》及《生态县、生态市、生态省建设规划编制导则》,结合成渝城市群生态环境现状,参考压力-状态-响应模型^[25]构建生态环境质量评价指标体系(表2)。

表1 城镇化质量指标体系
Table 1 Urbanization quality index system

目标层 Target layers	准则层 Criteria layers	次准则层 Sub-criteria layers	要素层 Element layers	属性 Attributes
高质量发展 High-quality development	创新发展	创新力量	X ₁ 科技活动人员数/人	正
			X ₂ 科研机构数/所	正
			X ₃ 专利授权量/项	正
			X ₄ 高等学校毕业生数/人	正
		创新投入	X ₅ 人均财政科技支出/(元/人)	正
			X ₆ R&D 投资占 GDP 比例/%	正
			X ₇ 城乡居民人均可支配收入比/%	正
			X ₈ 城乡居民恩格尔系数比/%	适中
			X ₉ NU 比(非农业劳动力/总劳动力)/%	适中
			X ₁₀ 常住人口城镇化率/%	正
	协调发展	城乡协调	X ₁₁ 第二、三产业产值比重/%	正
			X ₁₂ 第三产业增加值/%	正
			X ₁₃ 银行数量/家	正
			X ₁₄ 证券公司数量/家	正
		产业协调	X ₁₅ 实际利用外资总额占 GDP 比重/%	正
			X ₁₆ 进出口总额占 GDP 比重/%	正
			X ₁₇ 百人拥有国际互联网用户数/(户/100人)	正
			X ₁₈ 航空客运量占总人口比重/%	正
	开放发展	外资水平	X ₁₉ 万人卫生机构床位数/(张/万人)	正
			X ₂₀ 新型农村合作医疗参与率/%	正
		对外联系	X ₂₁ 城镇居民人均住房建筑面积/(m ² /人)	正
			X ₂₂ 人均城市道路面积/(m ² /人)	正
			X ₂₃ 天然气管道长度	正
			X ₂₄ 地方财政一般预算内收入	正
		基础设施	X ₂₅ 地方财政一般预算内支出	负
			X ₂₆ 刑事案件侦破数/件	负
			X ₂₇ 城镇登记失业率/%	负
			X ₂₈ 政府信息公开度	正
	共享发展	医疗水平	X ₂₉ 人均公共图书馆藏书量/(册/人)	正
			X ₃₀ 专科以上受教育程度人口所占的比例	正
		基础设施	X ₃₁ 世界文化遗产	正
			X ₃₂ 国家非遗数量	正
			X ₃₃ 国家文物单位	正
	体制发展	政府调控力		
		政府行政力		
	文化发展	文化素质		
		文化传承		

R&D:科学研究与试验发展 Research and development; GDP:国内生产总值 Gross domestic product; NU 比:非农业就业比 Employment ratio of non-agricultural industries

表 2 生态环境质量指标体系
Table 2 Eco-environmental quality index system

目标层 Target layers	准则层 Criteria layers	次准则层 Sub-criteria layers	要素层 Element layers	属性 Attributes
生态环境质量 Ecological environment quality	生态环境压力	资源消耗	X ₁ 人口密度/(人/km ²)	负
			X ₂ 万元 GDP 能耗/(吨标准煤/万元)	负
			X ₃ 万元 GDP 水耗/(m ³ /万元)	负
			X ₄ PM10 年均浓度/(μg/m ³)	负
			X ₅ 生态风险指数	负
		环境代价	X ₆ 人均工业废水排放量/万吨	负
			X ₇ 人均工业固体废物排放量/万吨	负
			X ₈ 人均水资源量/(m ³ /人)	正
			X ₉ 人均耕地面积/(m ² /人)	正
			X ₁₀ 人均林地面积/(m ² /人)	正
	生态环境状态	资源禀赋	X ₁₁ 生物丰度指数	正
			X ₁₂ 城市优良天数/d	正
			X ₁₃ 建成区绿化覆盖率/%	正
			X ₁₄ 地形位指数	负
			X ₁₅ 造林面积占辖区面积比重/%	正
		环境水平	X ₁₆ 自然保护区面积占比/%	正
			X ₁₇ 环保投资占 GDP 比例/%	正
			X ₁₈ 工业固废综合利用率/%	正
			X ₁₉ 工业废水利用率/%	正
			X ₂₀ 城市生活垃圾无害化处理率/%	正
	生态环境响应	生态保护		
		污染治理		

表 2 中,生态风险指数是指经济发展、区域建设和人类的生产生活活动所导致的生态系统的不利变化或对人类健康造成的不良影响的程度和可能性^[26]。公式如下:

$$C_f^i = \frac{C_{0-1}^i}{C_n^i} \quad (1)$$

$$E_{ri} = T_{ri} \times C_f^i \quad (2)$$

$$RI = \sum_{i=1}^n E_{ri} \quad (3)$$

式中, C_f^i 表示污染物 i 的污染系数; C_{0-1}^i 表示沉积物表层 (0—1 cm) 污染物 i 的平均含量; C_n^i 表示工业革命前沉积物中污染物 i 的含量; E_{ri} 表示污染物 i 的潜在生态风险系数; T_{ri} 表示污染物 i 的毒性响应系数; RI 表示水体多种污染物的综合潜在生态风险指数。

生物丰度指数指单位面积上不同生态系统类型在生物物种数量上的差异^[27]。公式如下:

$$\text{生物丰度指数} = A_{\text{bio}} \times (0.35 \times \text{林地} + 0.21 \times \text{草地} + 0.28 \times \text{水域湿地} + 0.11 \times \text{耕地} + 0.04 \times \text{建设用地} + 0.01 \times \text{未利用地}) / \text{区域面积} \quad (4)$$

$$A_{\text{bio}} = 100 / A_{\text{max}} \quad (5)$$

式中: A_{bio} 表示生物丰度归一化指数, A_{max} 表示生物丰度指数归一化处理前的最大值。

地形位指数是复合分析海拔和坡度属性信息的指标^[28]。计算公式如下:

$$T = \ln \left[\left(\frac{E}{E_0} + 1 \right) \times \left(\frac{S}{S_0} + 1 \right) \right] \quad (6)$$

式中, T 为地形位指数, E 及 E_0 分别为空间内任一栅格的高程和平均高程, S 和 S_0 分别为空间内任一栅格的坡度值和平均坡度值。一般地, 海拔低、坡度小的栅格地形位指数小, 反之越大; 海拔低坡度大或海拔高坡度小的栅格, 其地形位指数居中。

1.2.3 研究方法

(1) 熵权法

城镇化和生态环境质量评价指标权重应用熵权法来计算。熵权法客观地解释和表征各驱动因子在指标体系中的地位 and 作用^[29]。

(2) 耦合协调度模型

运用耦合协调度模型量化系统之间的相互作用及影响关系。公式如下^[30—33]：

$$C = 2 \times \left[\frac{U_1 \times U_2 \cdots U_3}{\prod_{i < j} (U_i + U_j)^{\frac{2}{n-1}}} \right]^{\frac{1}{n}} \tag{7}$$

$$D = \sqrt{C \times T} \qquad T = \alpha \times f(x) + \beta \times g(x) \tag{8}$$

式中： C 表示耦合度； U 表示指标体系各指标值。 C 值属于 $[0, 1]$ ， C 值越接近 1，系统间的耦合度越强。 D 为协调度， $D \in [0, 1]$ ， D 越大，协调度越高。 $f(x)$ 为城镇化质量函数； $g(x)$ 为生态环境质量函数； T 为协调指数，表征城镇化质量与生态环境质量对协调度的贡献； α 、 β 为待定系数，取 $\alpha = \beta = 0.5$ 。

借鉴黄金川、方创琳和颜姜慧等关于城镇化与生态环境的耦合协调关系的研究^[34—35]，结合成渝城市群城镇化与生态环境耦合协调关系特征，进行耦合度及耦合协调度类型划分（表 3）：

表 3 耦合协调度划分标准
Table 3 Classification standard of coupling coordination degree

耦合类别 Category of coupling	耦合度 Coupling degree	协调类别 Category of coordination	协调子类别 Sub-category of coordination	耦合协调度 Coupling coordination degree
高度耦合 Highly coupled	$0.9 \leq C < 1$	协调发展	高级协调	$0.8 \leq D < 1$
良性耦合 Benign coupling	$0.7 \leq C < 0.9$		中级协调	$0.5 \leq D < 0.8$
中度耦合 Moderately coupling	$0.5 \leq C < 0.7$	转型发展	基本协调	$0.4 \leq D < 0.5$
低度耦合 Low coupling	$0.2 \leq C < 0.5$		低水平协调	$0.3 \leq D < 0.4$
极低耦合 Seriously low coupling	$0 < C < 0.2$	不协调发展	严重不协调	$0 < D < 0.3$

(3) 地理探测器

地理探测器用以识别两个系统之间及内部不同驱动因子之间的交互作用，评估任意两个驱动因子共同作用时是否会增强或减弱对交互耦合作用的解释力^[36]。先计算两种因子的 q 值： $q(X_1)$ 和 $q(X_2)$ ，再计算交互时的 q 值： $q(X_1 \cap X_2)$ ，并对 $q(X_1)$ 、 $q(X_2)$ 和 $q(X_1 \cap X_2)$ 的值进行比较。依据 q 值将因子间的交互作用关系分为非线性减弱、单因子非线性减弱、双因子增强、独立和非线性增强五种类型（表 4）。

表 4 交互作用类型
Table 4 Interaction type

判据 Evidence	交互作用 Interaction	判据 Evidence	交互作用 Interaction
$q(X_1 \cap X_2) < \min(q(X_1), q(X_2))$	非线性减弱	$q(X_1 \cap X_2) = q(X_1) + q(X_2)$	独立
$\min(q(X_1), q(X_2)) < q(X_1 \cap X_2) < \max(q(X_1), q(X_2))$	单因子非线性减弱	$q(X_1 \cap X_2) > q(X_1) + q(X_2)$	非线性增强
$q(X_1 \cap X_2) > \max(q(X_1), q(X_2))$	双因子增强		

q ：系统中任意两个不同驱动因子之间的交互作用对系统的解释力； X_1 ：系统中的一个驱动因子； X_2 ：系统中另外一个驱动因子

2 结果分析

2.1 高质量发展与生态环境质量间关系的动态演化

城市高质量发展指数和生态环境质量指数测度结果表明（图 2）：成渝地区各城市生态环境压力小，环境本底相对较好，生态环境对城镇化的约束效应较弱。成都市和重庆市城镇化和生态环境质量水平相当，其余

34 个市县的生态环境质量较好,城镇化水平相对较低,城镇化对生态环境的胁迫效应较弱,城镇化与生态环境处于交互胁迫的初级共生阶段^[37]。

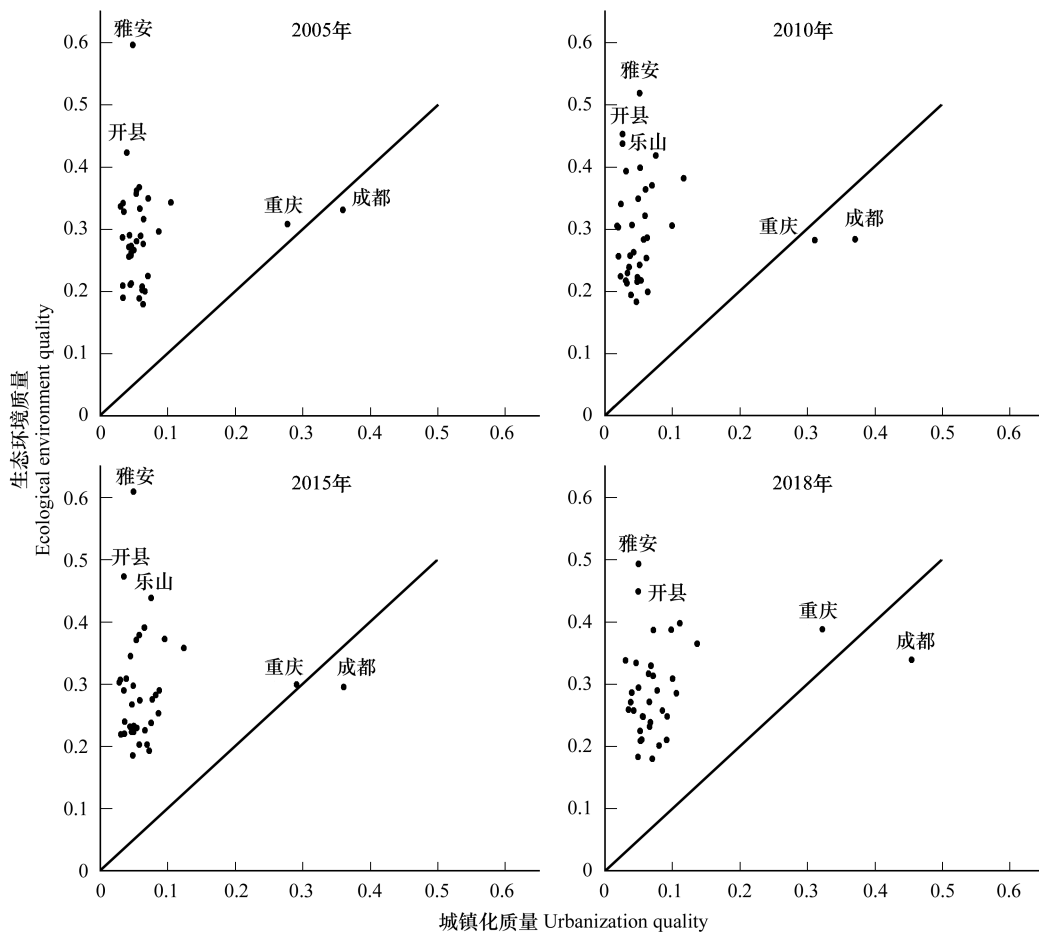


图 2 高质量发展与生态环境质量动态演化关系

Fig.2 The dynamic evolutionary between high-quality development and ecological quality

2.2 高质量发展与生态环境质量的耦合协调关系

成渝城市群城镇化与生态环境交互作用显著,大部分城市的耦合度高于 0.7,处于高度耦合和良好耦合阶段,少数城市(19.4%)处于中度耦合向良好耦合跃迁阶段。成都市、重庆市耦合度高于 0.9,处于高度耦合阶段,其余城市处于累积耦合效能阶段(图 3)。

成渝城市群城镇化与生态环境耦合协调水平整体较低,呈波动上升趋势,空间差异显著,成都和重庆市区协调度较高,双核心空间结构显著(图 4)。依据 2005—2018 年耦合协调度值将成渝城市群城市分为四类:

同步发展型城市:此类城市城镇化水平与生态环境质量同步发展,包括成都和重庆两市,耦合协调度相对较高(0.5—0.627)且呈缓慢升高趋势,处于中级协同发展阶段。

生态环境引领型城市:该类城市生态环境本底好,城镇化发展水平较低,包括雅安、绵阳、德阳、乐山和永川区 5 个市区,耦合协调度在 0.4—0.473 之间,为基本协调类型。该类城市生态环境质量良好,应适当提高城市社会经济发展水平。

低水平协调型城市:该类城市协调发展水平较低(0.301—0.399),城镇化通过人口增长、资源消耗及交通扩张等对生态环境产生胁迫,生态环境又通过人口驱逐、政策干预等制约城镇化发展^[38]。这类城市在成渝城市群中占比最高,2005、2010、2015 和 2018 年占比分别为 80.6%、58.3%、77.8% 和 75%,成渝城市群大部分地区城镇化与生态环境交互协调水平低,未形成良好的系统发展模式。

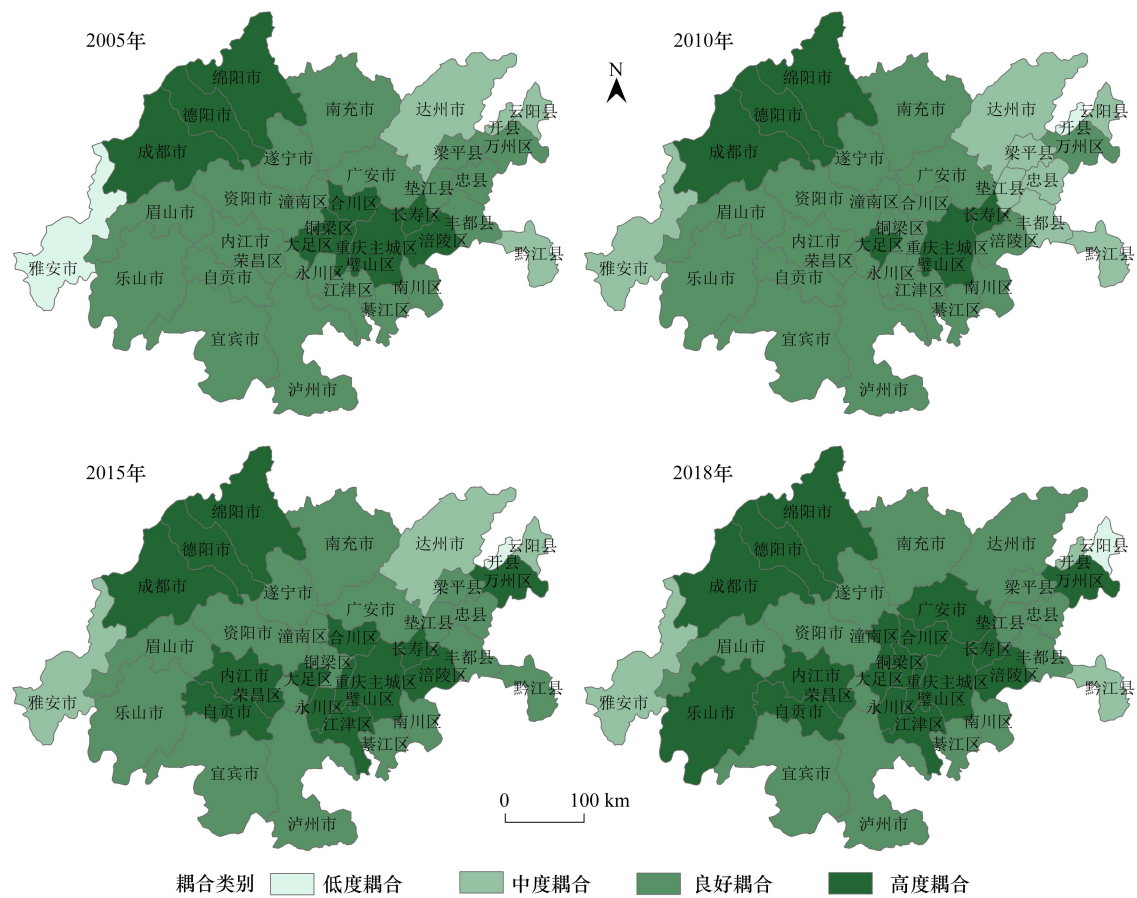


图 3 城镇化质量与生态环境质量耦合度时空格局

Fig.3 Spatial-temporal pattern of coupling degree between urbanization quality and ecological environment quality

严重失调型城市:此类城市耦合协调度低于 0.3,包括内江、资阳市两市,城镇发展对生态环境具有较强的胁迫作用,应加强生态环境治理和保护。

2.3 高质量发展与生态环境质量的因子交互作用

运用地理探测器对城镇化与生态环境间、城镇化系统内部、生态环境系统内部两两因子交互作用分别进行探测(表 5,表 6)。城镇化与生态环境系统间各因子交互作用呈现显著的非线性增强和双因子增强,两系统内部因子交互作用类型呈现双因子增强和非线增强效应,且以双因子增强为主要交互作用类型。整体上,系统间和系统内各因子交互协同效应显著,存在明显的“涌现现象”和“蝴蝶效应”。

表 5 准则层上城镇化与生态环境因子交互作用结果

Table 5 The result of interaction between urbanization and ecological environment in criterion layer

探测空间 Exploration Space	交互作用强度 Interaction Intensity	2005 年	2010 年	2015 年	2018 年
系统间 Between systems	非线性增强	22	27	25	28
	双因子增强	14	9	10	8
	单因子非线性减弱			1	
城镇化内部 Within the Quality of Urbanization	非线性增强	3	6	4	8
	双因子增强	12	8	11	7
	非线性减弱		1		
生态环境内部 Eco-environmental Quality Inside	非线性增强	1	1	1	1
	双因子增强	2	2	2	2

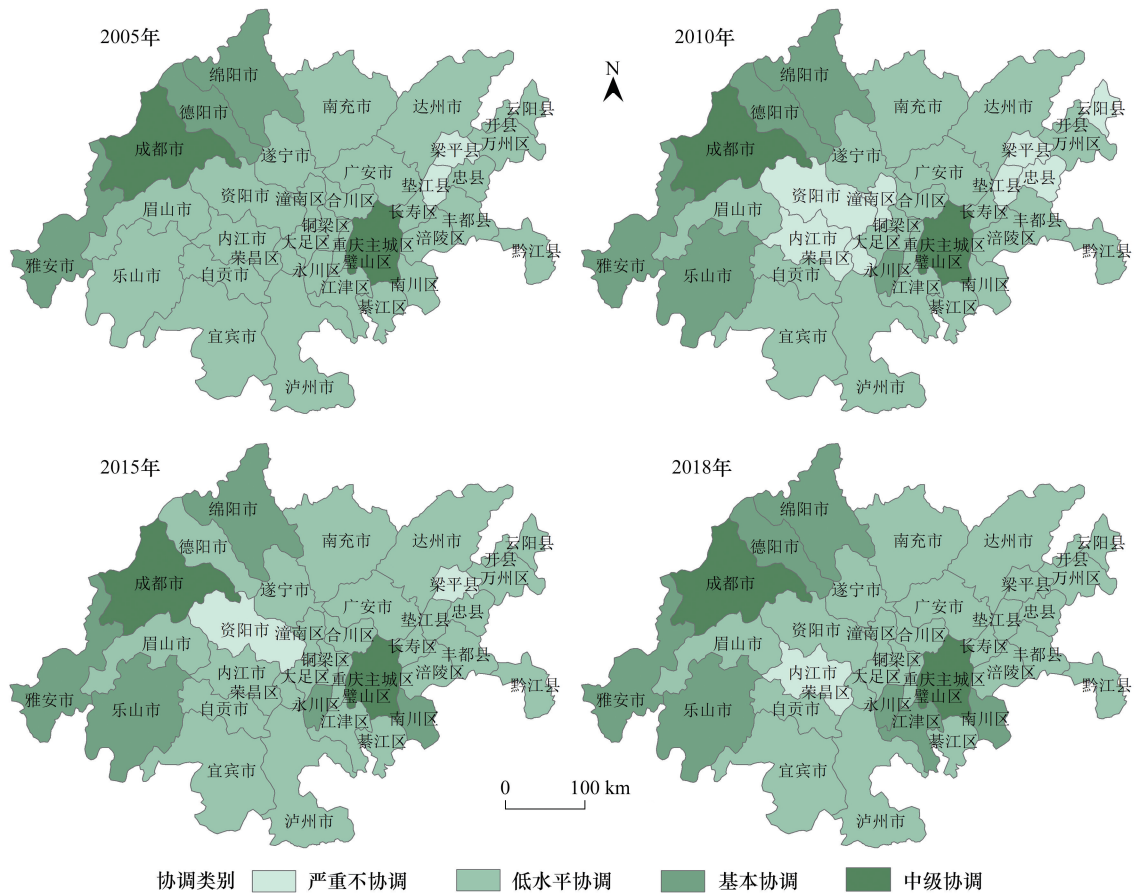


图 4 城镇化质量与生态环境质量耦合协调度时空格局

Fig.4 Spatial-temporal pattern of coupling coordination degree between urbanization quality and ecological environment quality

表 6 次准则层上城镇化与生态环境因子交互作用

Table 6 The result of interaction between urbanization and ecological environment in sub-criterion layer

探测空间 Exploration Space	交互作用强度 Interaction Intensity	2005 年	2010 年	2015 年	2018 年
系统间 Between systems	非线性增强	92	113	109	107
	双因子增强	61	40	43	46
	单因子非线性减弱			1	
城镇化内部 Within the Quality of Urbanization	非线性增强	13	24	18	35
	双因子增强	53	41	48	31
	非线性减弱		1		
生态环境内部 Eco-environmental Quality Inside	非线性增强	5	5	5	5
	双因子增强	10	10	10	10

准则层上,任意两因子交互后的作用均大于单个驱动因子,生态环境因子是促进协调发展的主导因子。资源环境水平与生态环境治理、生态环境治理与生态环境压力、协调发展与文化发展、共享发展与创新发展的交互协同作用,共同作用促进城市高质量发展。2005 年,生态环境系统中资源环境水平与其他因子的交互作用最强(21.411),为推动协调发展的关键因子。2010 年,资源环境水平(23.194)和资源环境治理(20.919)与其他因子交互作用较强,为城镇化与生态环境协调发展的主导因子。2015 年,生态环境水平为一级因子(21.487),生态环境治理为二级因子(16.698),生态环境质量因子仍为区域协同发展的关键驱动因素,城镇化因子贡献率有所提升。2018 年,资源环境水平为一级因子(21.499),生态环境治理为二级因子

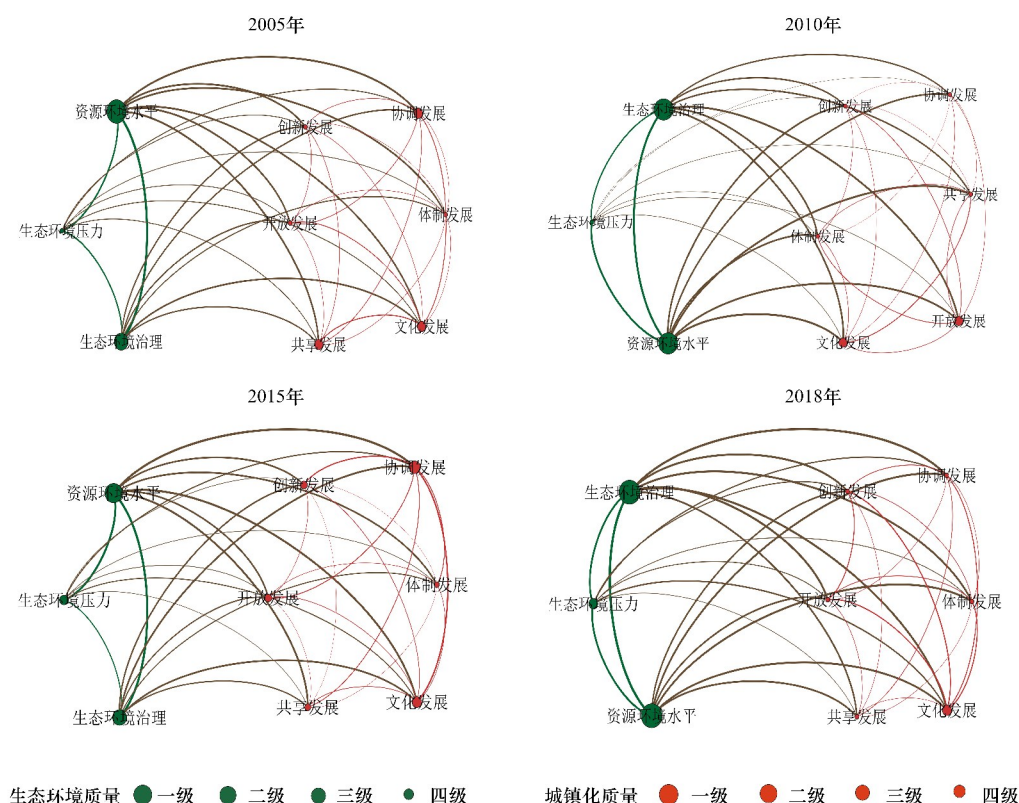


图5 准则层因子交互作用强度

Fig.5 Interaction strength of criterion layer factors

弧线表示因子交互关系,弧线越粗,因子交互作用越强;绿色弧线代表生态环境质量因子交互作用,红色弧线代表城镇化质量因子交互作用,棕色弧线代表生态环境质量—城镇化质量交互作用

(19.537),生态环境压力和文化发展为三级因子,生态环境因子仍为区域协同发展的关键驱动因素(图5)。

次准则层上,生态环境系统各子因子在交互作用中占据主导地位,其中资源禀赋与生态环境保护因子强度最大,良好的生态环境是高质量协同发展的基本保障;创新力量、文化传承、产业协调、公共设施等因子对城镇化和生态环境耦合协调发展的贡献率不断增强。2005年资源禀赋与其他子因子交互作用强,为一级因子;2010年资源禀赋和生态保护因子与其他子因子交互作用强度大,为一级因子,环境水平、资源消耗和污染治理为二级因子;2015年资源禀赋为一级因子;2018年资源禀赋和生态保护为主导因子(图6)。

3 结论

本文基于地理探测器和社会网络分析方法探析城镇化和生态环境两个系统影响因素“一对多”“多对多”的复杂交互关系,从不同层次上识别影响城市高质量发展与生态环境质量交互作用的主导因子,关注因子交互作用强度和交互作用类型,解构两系统交互作用的主导因子及时空特征,主要结论如下:

(1)成渝城市群城镇化水平与生态环境耦合度较高,交互协调水平较低,空间上呈现“成都-重庆”双核心空间结构。成渝城市群生态环境本底较好,城镇化发展较缓慢,城镇化与生态环境处于交互胁迫的初级共生发展阶段。依据耦合协调水平将成渝城市群城市分为同步发展型、生态环境引领型、低水平协调型和严重失调型四类,并根据各类城市特征提出环境治理建议。

(2)城镇化与生态环境两系统间的因子交互作用强于各系统内部因子交互作用,系统间的交互作用以非线性增强为主,各内部系统以双因子增强为主,系统间存在较强的交互协同效应,各子系统交互作用存在明显的“涌现现象”和“蝴蝶效应”。

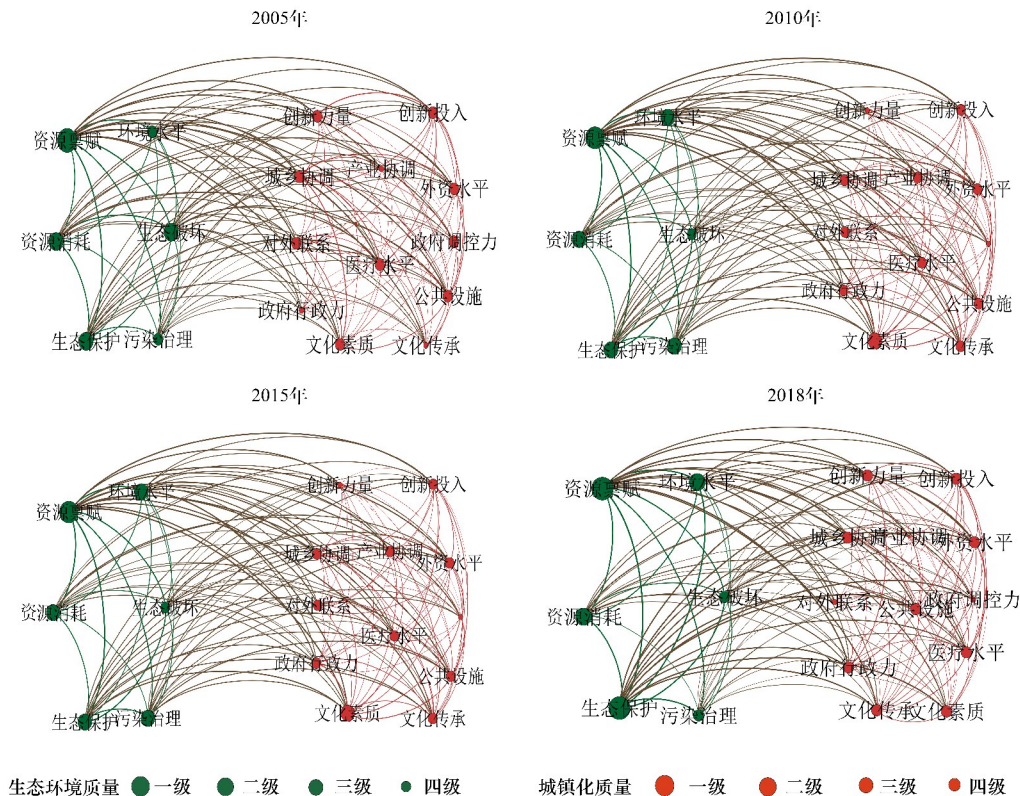


图6 次准则层因子交互作用强度

Fig.6 Interaction strength of sub-criteria factors

(3)生态环境质量是城市高质量发展的本底。生态环境水平、生态环境压力是城镇发展与生态环境的关键交互因子,其中资源禀赋、生态保护、资源消耗和环境水平为主导因子,城市发展因子中创新力量、文化传承、产业协调、公共设施为主导交互因子。

生态环境质量是城市高质量发展的本底,在推进城市高质量发展的同时,需进一步加强生态文明建设,用生态文明理念引领城镇产业结构调整,淘汰高强度污染、高能源消耗、低效率产业,发展绿色制造业、节能环保产业等推动城市群地区高质量发展。

参考文献 (References):

- [1] 杜霞, 孟彦如, 方创琳, 李聪. 山东半岛城市群城镇化与生态环境耦合协调发展的时空格局. 生态学报, 2020, 40(16): 5546-5559.
- [2] Yang W Y, Wang X L, Zhang K K, Ke Z K. COVID-19, urbanization pattern and economic recovery: an analysis of Hubei, China. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2020, 17(24): 9577.
- [3] 陈明星, 唐志鹏, 白永平. 城市化与经济发展的关系模式——对钱纳里模型的参数重估. 地理学报, 2013, 68(6): 739-749.
- [4] 李坤, 殷朝华. 高质量发展对产业生态化水平及地区差异的影响——基于动态空间面板杜宾模型. 生态经济, 2021, 37(11): 40-45.
- [5] 杨振龙, 左其亭, 姜龙, 张志卓, 邱梦. 黄河流域九省区城镇化与生态安全交互作用机制. 南水北调与水利科技: 中英文, 2022, 20(1): 191-200.
- [6] 方创琳. 中国城市群研究取得的重要进展与未来发展方向. 地理学报, 2014, 69(8): 1130-1144.
- [7] 宋运良, 韩国才, 王翠华, 澈丽木格, 钟细雄, 赵明. 基于一定经济发展水平的水资源承载能力量化法探讨——以迁安市为例. 南水北调与水利科技, 2009, 7(5): 118-120.
- [8] 温家华, 徐征和, 武玮, 祁泽慧. 大汶河流域水生态系统健康评价研究. 南水北调与水利科技, 2018, 16(3): 118-124.
- [9] Huang H P, Chen W, Zhang Y, Qiao L, Du Y Y. Analysis of ecological quality in Lhasa Metropolitan Area during 1990—2017 based on remote sensing and Google Earth Engine platform. Journal of Geographical Sciences, 2021, 31(2): 265-280.

- [10] 荣慧芳, 方斌. 基于重心模型的安徽省城镇化与生态环境匹配度分析. 中国土地科学, 2017, 31(6): 34-41.
- [11] 曹玉华, 夏永祥, 毛广雄, 蔡安宁, 刘传明. 淮河生态经济带区域发展差异及协同发展策略. 经济地理, 2019, 39(9): 213-221.
- [12] 刁艺璇, 左其亭, 马军霞. 黄河流域城镇化与水资源利用水平及其耦合协调分析. 北京师范大学学报: 自然科学版, 2020, 56(3): 326-333.
- [13] Grossman G M, Krueger A B. Environmental impacts of a North American Free Trade Agreement. Social Science Electronic Publishing, 1991, 11(2): 223-250.
- [14] Henderson V. The urbanization process and economic growth: the so-what question. Journal of Economic Growth, 2003, 8(1): 47-71.
- [15] Bürgi M, Hersperger A M, Schneeberger N. Driving forces of landscape change—current and new directions. Landscape Ecology, 2004, 19(8): 857-868.
- [16] Meng J, Fang H, Scavia D. Application of ecosystem stability and regime shift theories in ecosystem assessment—calculation variable and practical performance. Ecological Indicators, 2021, 125(1): 107-529.
- [17] 马艳. 长江经济带城镇化与生态环境耦合协调效应测度与交互胁迫关系验证. 长江流域资源与环境, 2020, 29(2): 275-286.
- [18] 周正柱, 王俊龙. 长江经济带生态环境压力、状态及响应耦合协调发展研究. 科技管理研究, 2019, 39(17): 234-240.
- [19] 金悦, 陆兆华, 檀菲菲, 张萌, 张红玉. 典型资源型城市生态承载力评价——以唐山市为例. 生态学报, 2015, 35(14): 4852-4859.
- [20] 王晓鹏, 丁生喜. 三江源地区人口资源环境承载力动态评价研究——以青海省果洛州为例. 生态经济, 2015, 31(11): 149-152.
- [21] 付丽娜, 彭真善, 张爱群. 新型城镇化与产业结构的交互影响——以环长株潭城市群为例. 经济地理, 2020, 40(11): 95-104.
- [22] 方创琳. 城市群地区城镇化与生态环境耦合机理及规律. 北京: 科学出版社, 2021, 68(8): 1-32.
- [23] 涂建军, 况人瑞, 毛凯, 李南羲. 成渝城市群高质量发展水平评价. 经济地理, 2021, 41(7): 50-60.
- [24] 张发明, 叶金平, 完颜晓盼. 新型城镇化质量与生态环境承载力耦合协调分析——以中部地区为例. 生态经济, 2021, 37(4): 63-69.
- [25] 王亮, 刘慧. 基于 PS-DR-DP 理论模型的区域资源环境承载力综合评价. 地理学报, 2019, 74(2): 340-352.
- [26] 刘长峰, 侯鹰, 陈卫平, 崔昊天. 基于生态系统服务的城市化区域生态风险表征方法研究. 生态学报, 2021, 41(9): 3343-3353.
- [27] 郭春霞, 诸云强, 孙伟, 宋佳. 中国 1km 生物丰度指数数据集. 全球变化数据学报: 中英文, 2017, 1(1): 60-65, 183.
- [28] 曹梦琪, 蔡英楠, 张丽, 徐建英. 卧龙自然保护区典型生态系统服务时空变化研究. 生态学报, 2021, 41(23): 9341-9353.
- [29] Mahmood H, Alkhateeb T T Y, Furqan M. Industrialization, urbanization and CO₂ emissions in Saudi Arabia: Asymmetry analysis. Energy Reports, 2020, 125(6): 1553-1560.
- [30] 乔标, 方创琳. 城市化与生态环境协调发展的动态耦合模型及其在干旱区的应用. 生态学报, 2005, 25(11): 3003-3009.
- [31] 刘耀彬. 中国城市化与生态环境耦合规律与实证分析. 生态经济, 2007, 23(10): 122-126.
- [32] 马海涛, 卢硕, 张文忠. 京津冀城市群城镇化与创新的耦合过程与机理. 地理研究, 2020, 39(2): 303-318.
- [33] Fang C L, Ren Y F. Analysis of emergy-based metabolic efficiency and environmental pressure on the local coupling and telecoupling between urbanization and the eco-environment in the Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration. Science China Earth Sciences, 2017, 60(6): 1083-1097.
- [34] 黄金川, 方创琳. 城市化与生态环境交互耦合机制与规律性分析. 地理研究, 2003, 22(2): 211-220.
- [35] 颜姜慧, 刘金平. 基于自组织系统的智慧城市评价体系框架构建. 宏观经济研究, 2018, 21(1): 121-128.
- [36] 王劲峰, 徐成东. 地理探测器: 原理与展望. 地理学报, 2017, 72(1): 116-134.
- [37] Fang C L, Wang J. A theoretical analysis of interactive coercing effects between urbanization and eco-environment. Chinese Geographical Science, 2013, 23(2): 147-162.
- [38] 刘耀彬, 李仁东, 宋学锋. 中国城市化与生态环境耦合度分析. 自然资源学报, 2005, 20(1): 105-112.