

中国陆地边境地区经济发展质量与生态韧性的耦合测度及交互响应

黄学艺¹, 陆汝成¹, 叶宗达²

(1. 南宁师范大学 自然资源与测绘学院, 广西 南宁 530001;

2. 广西壮族自治区自然资源生态修复中心, 广西 南宁 530001)

摘要: [目的] 探究经济发展质量与生态韧性的耦合协调关系及其动态演化形态过程, 厘清经济发展与生态保护的协调作用与响应机制, 旨在为陆地边境地区资源高效配置与城乡融合发展提供理论参考。[方法] 运用耦合协调模型、核密度估计测算并刻画出经济发展质量与生态韧性耦合关系及其分布形态, 最后采用 P-VAR 模型对两系统的交互响应关系进行阐述和验证。[结果] ①2000—2020 年边境地区经济发展质量与生态韧性间的耦合协调度介于 0.183 4~0.272 8 之间, 并呈“先降后升”的演化特点, 各边境地区耦合协调度以单峰形态逐渐推演至双峰显化。②北部、西北及西藏边境经济发展质量对生态韧性的脉冲响应表现为负向影响, 而东北、西北、西南边境生态韧性对经济发展质量的脉冲响应表现为正向影响。③边境地区经济发展质量对生态韧性的贡献率逐渐升高, 生态韧性对经济发展质量的贡献率逐渐降低, 西北边境两系统交互响应的贡献率高于其余边境地区。[结论] 中国陆地边境地区经济发展质量与生态韧性耦合协调与交互响应区域差异较为显著, 因此提出差异化政策建议有利于促进中国陆地边境经济要素可持续利用与保障国土空间生态安全。

关键词: 经济发展质量; 生态韧性; 耦合测度; 交互响应; 中国陆地边境地区

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2024)06-0256-13

中图分类号: F301.2

文献参数: 黄学艺, 陆汝成, 叶宗达. 中国陆地边境地区经济发展质量与生态韧性的耦合测度及交互响应 [J]. 水土保持通报, 2024, 44 (6): 256-268. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.20240829.001; Huang Xueyi, Lu Rucheng, Ye Zongda. Coupling measurement and interactive response of economic development quality and ecological resilience in China's land border areas [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2024, 44 (6): 256-268.

Coupling Measurement and Interactive Response of Economic Development Quality and Ecological Resilience in China's Land Border Areas

Huang Xueyi¹, Lu Rucheng¹, Ye Zongda²

(1. School of Natural Resources and Surveying and Mapping,

Nanning Normal University, Nanning, Guangxi 530001, China; 2. Guangxi Zhuang

Autonomous Region Natural Resources Ecological Restoration Center, Nanning, Guangxi 530001, China)

Abstract: [Objective] The coupling coordination relationship between economic development quality and ecological resilience, and its dynamic evolution form process were explored, and the coordination role and response mechanism of economic development and ecological protection were clarified, so as to provide theoretical reference for efficient resource allocation and urban-rural integrated development in land border areas. [Methods] The coupled coordination model and kernel density estimation were used to measure and depict the coupling relationship and distribution pattern between economic development quality and ecological resilience. Finally, the P-VAR model was employed to elaborate and verify the interactive response

收稿日期: 2024-06-28

修回日期: 2024-08-06

资助项目: 国家自然科学基金项目“基于‘四维度’的边境耕地多功能利用与国家战略农田划定研究: 以广西边境地区为例”(42061043), “中越河口三角洲国土形态的冲淤演变与疆土安全研究”(42261043); 中央引导地方科技发展资金项目“中越河口三角洲疆土流失的显/隐性过程及其驱动机理研究”(桂科 ZY23055016)

第一作者: 黄学艺(1997—), 女(瑶族), 广西壮族自治区龙胜县人, 硕士研究生, 研究方向为边境经济与城市发展。Email: xxy9982024@163.com.

通信作者: 陆汝成(1972—), 男(壮族), 广西壮族自治区桂林市人, 博士, 教授, 研究生导师, 主要从事土地利用管理与评价方面的研究。

Email: rclu72@nnu.edu.cn.

relationship between the two systems. [Results] ① From 2000 to 2020, the coupling coordination degree between economic development quality and ecological resilience in border areas ranged from 0.183 4 to 0.272 8, showing an “initial decline followed by an increase” evolutionary characteristic. The coupling coordination degree of each border area gradually evolved from a unimodal shape to a bimodal manifestation. ② The pulse response of ecological resilience to the quality of economic development in the northern, northwestern of China, and Xizang border areas was negatively impacted, while the pulse response of ecological resilience to the quality of economic development in the northeast, northwest, and southwest border areas of China was positively impacted. ③ The contribution rate of the quality of economic development to ecological resilience in border areas is gradually increasing, while the contribution rate of ecological resilience to the quality of economic development was gradually decreasing. The contribution rate of the interactive response between the two systems in the northwest border area was higher than that in other border areas of China. [Conclusion] There are significant regional differences in the coupling, coordination and interaction of economic development quality and ecological resilience in China’s land border areas, so it is beneficial to promote the sustainable use of economic elements and ensure the ecological security of land space in China’s land border areas.

Keywords: quality of economic development; ecological resilience; coupling measure; interactive response; China’s land border areas

经济发展质量与生态韧性是经济社会向高可持续性发展的关键要素^[1],中国“十四五”规划和2035年远景目标纲要明确了绿色发展与韧性城市建设两大顶层设计,生态韧性作为其关键一环,因发挥着贯穿“顶层—基层”的重要作用而备受关注。中国陆地边境城市因受经济长期高速增长的习惯趋势影响,正处于经济增长、资源约束收紧和环境保护三者间的两难境地^[1],结构失调、产能过剩、环境污染、经济复苏乏力等现实堵点难保经济可持续发展动能。鉴于此,平衡环境、经济、资源三者关系以协调发展天—地—人系统,系统探究经济发展质量与生态韧性间的耦合关系,科学研判两者间的交互响应机制并提出差异化对策建议,对推动经济可持续增长、生态文明建设改革具有重要的现实意义。

经济发展与生态韧性的测度及其关系问题作为中国可持续发展战略研究的时代命题之一,逐渐成为国内外诸多学者研究的前沿热点。但当前针对经济发展质量与生态韧性的耦合协调与交互响应研究尚少,可利用韧性结构、经济效率等相关研究提供参考。视角尺度上,部分学者以演化韧性、绿色发展效率为视角^[2],融合适应性循环理论与DPSIR模型搭建起理论研究框架,从韧性发生学、循环经济的理论探索逐步实践应用到宏观省市区域、中观行业、微观企业及产品等多尺度的韧性评价或经济发展绩效测度研究^[3]。测度方法上,部分研究以全要素生产率为基准,通过构建生产率模型测度区域经济发展质量^[4-5];而另有学者认为构建起经济、创新、绿色、发展等多维度指标体系方能凸显出经济质量的高低^[6-7],通过熵权法、综合评价法测算经济发展质量水平更为合

理^[8-9]。生态韧性研究方面,Holling C. S.在1973年首次将“韧性”思想应用于生态学科^[10],经历了由单一平衡至多重互馈与循环适应的演化过程^[10],后被学者广泛沿用至生态系统安全^[11]、城市韧性^[12]等方面的研究,因此学者们将生态韧性理解为生态系统在面临外源环境压力胁迫时,系统内生的抵御、缓冲外界障碍因子并保有生态保障、结构调整能力^[13]。在此基础上,搭建起“压力—状态—响应—创新”“基底—压力—功能—潜力”等生态韧性评估模型^[14-15],并采用综合指数法、情景分析法、阈值法测度区域生态韧性^[16-17]。经济发展与生态环境协同关系源自生态经济系统理念^[18],以环境库兹涅茨曲线(EKC)为切入点^[19],大部分学者利用耦合协调模型、灰色关联模型等方法对经济与生态系统的耦合关系进行测度^[20-21],同时借助Dagum基尼系数、空间收敛模型、VAR模型等方法有效探究两大系统的横向对比差异、空间作用关系及其机制分析^[22-23]。综上所述,关于经济发展与生态环境耦合关系测度与交互响应的内在理论探索日臻完善,研究方法也从定性诠释转向量化分析,但以下方面仍待扩展和深化:①视角思路,经济发展质量与生态韧性两者间的融合性研究较为匮乏,从“内涵层—指标层—响应层”的思路出发,亟待交互作用机理上说明协同发展重要性和耦合协同性分析可行性,提炼出科学的边境地区城乡融合发展提升对策。②指标方法上,指标体系需进一步深化“质量”“韧性”的选取标准,且经济发展质量仅以单一经济指标衡量尚有偏颇,在社会民生方面的体现亟需补充完善,同时利用时空演化和P-VAR模型研

究工具探究二者协同发展关系的研究较少,经济发展质量与生态韧性协同关系研究尚属起步阶段,仍需深化生态经济协同动态性、地缘发展敏感性的中国陆地边境地区研究。

中国陆地边境地区作为中国对外开放的前沿,是生态安全的重要屏障,自兴边富民行动提出以来,陆地边境地区经济社会状况向好发展,但也因双边地缘政治经济与疆土流失影响,极易造成经济发展不稳定、生态资源退化、区域发展失衡等问题集中激化,加之口岸建设与人类活动加大了生态韧性的负荷,生态本底遭受破坏,经济与生态系统的耦合受阻。因此选取中国陆地边境地区为研究对象,厘清经济发展质量与生态韧性间的耦合交互机制,探究经济发展质量与生态韧性的耦合协调关系及其动态演化形态过程,并对两系统的交互响应机制进行梳理和阐释,据此提出差异化分区对策,以期实现经济增长与生态保护协同可持续发展的双赢局面,为陆地边境地区资源高效配置与城乡融合发展提供理论参考。

1 耦合交互机理

经济发展质量是用以描述一个特定区域或整体在某个时期内经济增长水平、速率及其对社会、生态的正向或负向影响效应^[11]。经济发展质量本质上是

经济系统的属性特征,是由国家经济发展阶段性模式转型的意识导向,有别于利用全要素生产效率衡量的经济发展效益,其更侧重强调经济发展的持续性与稳定性^[24]。“经济”“质”“量”的有机结合决定了其不仅是表征全要素生产率或产能这一“量”的体现,还需集合有经济结构、规模、弹性等“质”的维度,从而进行整体性的经济发展质量评估判断^[24]。韧性是生态系统内生具备的本质特征,经历了由工程韧性到生态韧性再到适应韧性的发展脉络,生态韧性作为“韧性”概念演化的中间环节,摒弃了恢复原单一稳态的追求,更多强调的是特定生态系统在受到外部胁迫压力时,系统实现由冲击动荡恢复到多重均衡稳态的适应变化能力的过程或性能。“质量”与“韧性”是基于固定资源效率的前提下,用以分析在特定时期经济发展与生态保护所产出增加的外部效益,是衡量区域国土空间可持续发展、均衡配置成效的重要指标^[25]。以质量为导向的经济发展和多重稳态下的生态可持续作为经济系统和生态系统的目标状态,与社会系统构成了一个完整的“经济—社会—生态”复合人类系统,经济发展质量与生态韧性交互响应的实质内核是两大系统间的冲击负馈转化为协同发展关系的过程,注重于统筹考虑区域经济发展与生态保护的并轨运行效率与耦合协调水平问题(见图 1)。

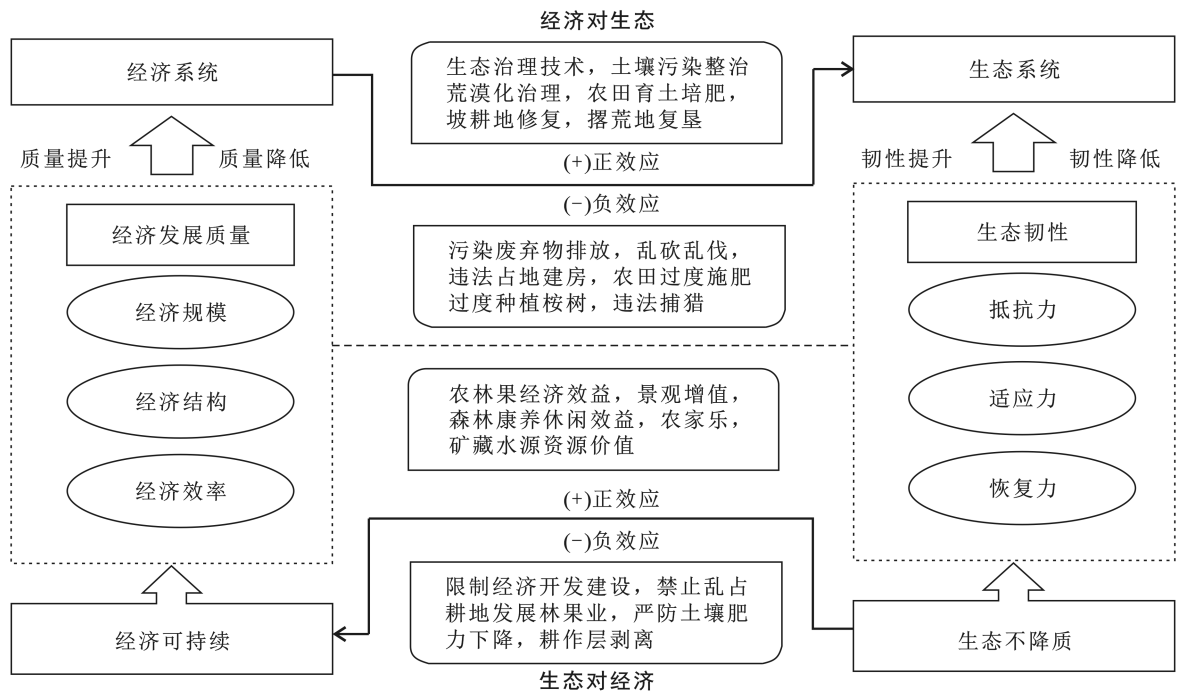


图 1 经济发展质量与生态韧性耦合交互机理

Fig. 1 Coupling interaction mechanism between economic development quality and ecological resilience

两大系统的交互机理具体表现为:生态系统的物质要素保障了经济系统的运行,并为经济系统提供生产资源要素,可直接影响经济生产要素的增效过程;

而经济的发展必然导致人类向生态系统索取需求物质资源,低效经济利用发展忽略了资源合理配置与环境保护问题从而胁迫生态系统的韧性水平。经济系

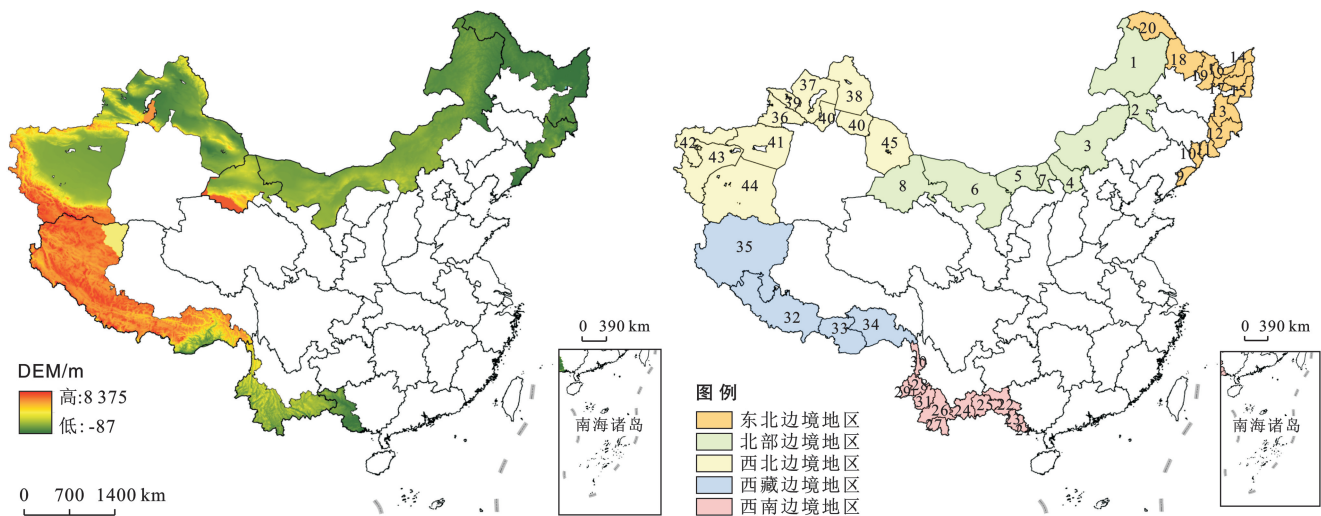
统对生态系统的胁迫效应具有正向或负向之分,在经济高质量发展背景下,保持适当经济规模,提高经济效率,优化经济结构可发挥正向作用并弱化负向作用,以此提高生态韧性的抵抗力、适应力和恢复力,经济系统正负效应的叠加表现为正值时,生态系统韧性提高,反之为负值,系统韧性下降。而生态系统对经济系统也会产生响应作用,生态韧性水平变化反映出生态系统的稳定性和适应恢复力,生态系统的健康与否直接影响提供自然资源要素的能力大小,并以生态承载力上限约束经济发展过程对自然资源要素的消耗强度,这一消耗行为所产生的负面影响将向外扩散和转移,进而阻碍经济高质量发展,生态韧性的提升有助于消解经济发展过程中的负面影响。经济发展质量高低直接关系到经济系统正负效应的叠加表现,从而影响生态系统韧性变化水平,韧性失调状态下导致生态系统结构错配又最终反向阻碍经济系统的可持续发展,二者形成双向协同互馈关系。

2 研究方法 with 数据来源

2.1 研究区域概况

中国陆地边境线长达 2.28×10^4 km, 占陆地国土面积的 20.78%, 分别与 14 个国家接壤, 跨越 9 个省

(区), 共包含 45 个地级行政区(见图 1)。根据地缘环境、自然区位、经济水平和邻国差异等情况, 以东北三省、内蒙古、新疆边境市为界划分东北边境、北部边境、西北边境; 由于西藏地理位置特殊且地缘关系相对紧张, 将西藏各边境市划分为西藏边境; 同时从地缘关系相似性与地理区位整体性出发, 将甘肃酒泉市划入西北边境, 而中国的云南、广西与越南、老挝、缅甸接壤的 11 个地市整体位于中国西南区域且该部分地市与东南亚越南、老挝和缅甸的地缘经济、双边人口往来等情况基本相似, 因此云南与广西的边境市划分为西南边境。2000—2022 年, 陆地边境地区生产总值从不足 9.00×10^{10} 元突破至 1.00×10^{12} 元, 人均地区生产总值由不足 4 400 元增加到超过 40 000 元, 人口城镇化率为 59.33%, 低于全国人口城镇化率 4.56%。陆地边境区地貌地形、气候水文与植被等自然条件极为复杂, 区域分散性、破碎性特征较为明显, 面临着“老、少、边、穷、困、弱”的 6 大现实窘境。2022 年陆地边境森林覆盖率约为 33.03%, 较 20 a 前增长了 1.86%, 但随着边境口岸互贸建设与经济往来日益密切, 土壤肥力退化现象愈加严峻, 加之对生态环境保护与治理重视程度偏低, 导致生态环境质量遭受破坏, 生态韧性日趋恶化。



注: ①1 呼伦贝尔市; 2 兴安盟; 3 锡林郭勒盟; 4 乌兰察布市; 5 巴彦淖尔市; 6 阿拉善盟; 7 包头市; 8 酒泉市; 9 丹东市; 10 通化市; 11 白山市; 12 延边朝鲜族自治州; 13 牡丹江市; 14 佳木斯市; 15 鸡西市; 16 鹤岗市; 17 双鸭山市; 18 黑河市; 19 伊春市; 20 大兴安岭地区; 21 防城港市; 22 百色市; 23 崇左市; 24 红河哈尼族彝族自治州; 25 文山壮族苗族自治州; 26 普洱市; 27 西双版纳傣族自治州; 28 保山市; 29 德宏傣族景颇族自治州; 30 怒江傈僳族自治州; 31 临沧市; 32 日喀则市; 33 山南市; 34 林芝市; 35 阿里地区; 36 伊犁哈萨克自治州; 37 塔城地区; 38 阿勒泰地区; 39 博尔塔拉蒙古自治州; 40 昌吉回族自治州; 41 阿克苏地区; 42 克孜勒苏柯尔克孜自治州; 43 喀什地区; 44 和田地区; 45 哈密市。

②本图基于自然资源部标准地图服务网站下载的审图号为 GS(2024)0650 标准地图制作, 底图无修改。

图 2 中国陆地边境地区地形及区划图

Fig.2 Topography and zoning map of China's land border areas

2.2 研究方法

2.2.1 综合评价模型

(1) 指标体系构建及权重确定。经济发展质量

与生态韧性的响应实质是在经济盲目增速、生态污染排放双重约束下经济系统与生态系统的协同互馈过程, 基于概念释义与耦合交互机理, 以“经济—环境—

社会”复合生态系统理论和联合国可持续发展目标 (SDGs) 为依据, 遵循科学性、系统性、有效性和数据可获性等原则, 参考文献 [26-27] 分别将经济发展质量、生态韧性指标设定出规模、结构、效率以及抵抗、适应、恢复的一级指标维度。经济发展质量方面, 其中经济规模用以衡量边境地区经济发展宏观水平及其经济活跃强度, 经济结构侧重于反映边境地区三次产业的布局情况以及生产就业的基本概况, 经济效率则是表征边境地区经济发展所产生的社会效益及其对边民生活收入的影响程度。借鉴文献 [28], 二级指标的选取是以“十四五”时期经济社会经济发展主要指标为基础, 并结合边境地区的经济发展特点, 选取 GDP、外贸产值、就业收入、医教情况等共 17 个二级指标可衡量经济活力、经济稳定以及经济效益的程度高低。生态韧性方面, 抵抗力表明生态系统对于外部冲击压力的抵抗性能大小, 其中包括了人口压力与环境污染压力两大类型, 而适应力是凸显系统在面临外源胁迫或内生冲突所具备的调整弹性或协调适应能力的大小, 恢复力针对生态系统自身存在或直接作用于系统内部的环境恢复因子, 具体表现为系统遭受冲击后恢复为原先或更高水平的性能。韧性二级指标的选取着重参考了城市韧性、耕地韧性等的相关文献 [27、29], 设定了人口、污染排放、绿色减排、自然禀赋等共 12 项可体现生态压力、生态优化以及生态本底的指标。

(2) 熵权法确定指标权重。综合考虑 2000—2020 年的指标值, 利用熵权法分别计算出 2000、2005、2010、2015、2020 年的指标权重值, 各年的指标权重变化波动较小, 且为避免评价结果的冗余度过高, 对这 5 个时间节点下的权重进行均值化处理后得到综合指标的权重。熵权法求权重 W_j [30], 公式为:

$$W_j = \frac{1 - \frac{1}{\ln m} \times \sum_{i=1}^m \left[\frac{P_{ij}}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^k P_{ij}} \times \ln \left(\frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^k P_{ij}}{P_{ij}} \right) \right]}{\sum_{j=1}^k \left\{ 1 - \frac{1}{\ln m} \times \sum_{i=1}^m \left[\frac{P_{ij}}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^k P_{ij}} \times \ln \left(\frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^k P_{ij}}{P_{ij}} \right) \right] \right\}} \quad (1)$$

式中: m 为研究区数量; k 为样本数量; P_{ij} 为第 i 年第 j 项指标的标准值; W_j 为权重; n 为指标数量。

经济发展质量与生态韧性评价指标体系搭建和权重均按上述方法进行, 其结果详见表 1。

(3) 综合评价法。为体现边境地区经济发展质量和生态韧性两项指数的状态, 选取综合评价法进行定量评估 [30], 公式为:

$$f_j = \sum_{j=1}^n W_{ij} P_{ij} \quad (2)$$

式中: f_j 为各项功能指数, f_j 介于 0~1 之间, 值越大代表相应功能越强; W_{ij} 为第 i 项功能第 j 项指标的权重; P_{ij} 为第 i 项功能第 j 项指标的标准化值。

2.2.2 耦合协调模型 耦合协调度模型是衡量两个及以上系统的耦合度与协调度有机结合的数理模型, 可反映边境地区城市经济发展质量和生态韧性的协同作用关系 [31], 见式 (3)~(5):

$$C = \frac{U_1 \times U_2}{[(U_1 + U_2) / 2]^2} \quad (3)$$

$$T = \beta_1 U_1 + \beta_2 U_2 \quad (4)$$

$$D = \sqrt{C \times T} \quad (5)$$

式中: U_1 和 U_2 表示经济发展质量指数与生态韧性指数; C 、 T 分别为两项指数间的耦合度和协调度; 由于经济发展质量与生态韧性作为单一的经济系统与生态系统, 对城市高质量发展均具有重要作用, 且两大系统间的平衡稳定是确保经济可持续、生态不降质的前提, 因此两项指数的重要性系数均等, $\beta_1 = \beta_2 = 0.5$; D 为耦合协调度, D 值介于 0~1 间, D 越大表示两指标之间的协调发展水平趋好, 反之则越差, 参考相关研究按照 0.1 等间距将耦合协调等级划分为 10 级 (详见表 2) [31]。

2.2.3 核密度估计 核密度估计是一种非参数统计方法, 用于估计数据样本背后的概率密度函数。核密度估计曲线是依据已有的数据信息, 以非参数方法拟合密度函数分布曲线, 可描绘出经济发展治理与生态韧性两大变量的时序演化形态和分布特征, 体现时间维度要素分布情况的方法 [32]。核密度估计公式为:

$$f(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n k \left(\frac{x - x_i}{h} \right) \quad (6)$$

式中: $f(x)$ 为核密度函数; h 为带宽; n 为已知变量数据的数量; $k \left(\frac{x - x_i}{h} \right)$ 为核函数。

2.2.4 P-VAR 脉冲响应模型 P-VAR (panel vector auto regression) 模型在保留传统 VAR 模型基础上融合了面板数据优势, 利用经济发展质量与生态韧性的脉冲响应测度内生变量间的动态关系 [33], 并客观呈现经济发展质量与生态韧性交互作用的贡献大小。公式为:

$$PV_{it} = a_0 + \sum_{j=1}^k a_j PV_{it-j} + \alpha_i + \beta_i + \varepsilon_{it} \quad (7)$$

式中: PV_{it} 表示包含经济发展质量与生态韧性两个变量的向量; i 和 t 分别代表地市和年份; j 代表滞后阶数; a_j 代表滞后 j 阶的系数矩阵; PV_{it-j} 表示 j 阶滞后项; a_0 为截距项; α_i 和 β_i 分别表示个体固定效应和时间效应向量; ε_{it} 为随机误差项。

表 1 研究区经济发展质量与生态韧性评价指标体系及权重结果

Table 1 Evaluation index system and weight of economic development quality and ecological resilience in study area

准则层	一级指标	二级指标	单位	指标说明	属性	权重
经济发展质量	经济规模 (0.401 1)	GDP 增长率	%	现期年与上一年的 GDP 差值/现期年的 GDP	+	0.015 4
		人均固定资产投资额	元/人	固定资产投资额/人口数量	+	0.063 6
		人均社会消费品零售总额	元/人	社会消费品零售总额/人口数量	+	0.035 5
		进出口额占 GDP 比例	%	进出口额/GDP	+	0.145 2
		国际旅游外汇收入	10 ⁴ 元	出入境旅客的旅游外汇支出	+	0.141 3
	经济结构 (0.100 0)	第二产业产值占比	%	第二产业产值/GDP	+	0.024 0
		第三产业产值占比	%	第三产业产值/GDP	+	0.023 8
		城镇化率	%	城镇人口/总人口	+	0.034 7
		城市登记失业率	%	期末从业人员与实有登记失业人数之和的比	-	0.017 4
	经济效率 (0.498 9)	边民人均 GDP	元	边境地区 GDP/边境人口数量	+	0.041 7
		边境农民人均纯收入	元	(工资性收入+生产经营性收入+财产性收入+转移性收入-生产经营性支出)/家庭人口数	+	0.023 6
		城镇居民人均可支配收入	元	衡量城镇居民收入水平、生活水平	+	0.020 7
		人均边境贸易额	元	边境贸易总额/边境人口数量	+	0.144 9
		普通高等学校在校生数	10 ⁴ 人	职业、本科院校的学生数量	+	0.077 5
		万人拥有卫生机构床位数	张/10 ⁴ 人	医院卫生机构床位数/边境人口数量	+	0.023 8
		公共图书馆数	个	所在地市的图书馆数量(POI 数据)	+	0.030 7
		人均公路里程	km/10 ⁴ 人	公路里程/边境人口数量	+	0.136 1
		生态韧性	适应力 (0.254 7)	人口密度	人/km ²	边境人口总数/边境地区国土总面积
单位工业产值废水排放量	t/10 ⁴ 元			废水排放量/工业产值	-	0.151 5
单位工业产值 SO ₂ 排放量	t/10 ⁴ 元			SO ₂ 排放量/工业产值	-	0.118 4
单位工业产值废气排放量	t/10 ⁴ 元			废气排放量/工业产值	-	0.136 6
适应力 (0.254 7)	万人绿色专利数		件/10 ⁴ 人	绿色专利数/人口数量	+	0.167 7
	生活垃圾无害化处理率		%	反映区域生活垃圾转化为无害垃圾的效率	+	0.014 4
	城镇生活污水处理率		%	反映区域生活污水转化为无害废水的效率	+	0.033 2
	人均农林牧渔产值		元/人	农林牧渔产值/边境人口数量	+	0.039 4
恢复力 (0.257 1)	人均耕地面积		10 ³ hm ² /10 ⁴ 人	耕地面积/边境人口数量	+	0.068 4
	森林覆盖率		%	森林面积/国土总面积×100%	+	0.087 3
	年平均降水量	mm	月降水量之和求平均	+	0.070 1	
	年平均气温	℃	月气温之和求平均	+	0.031 3	

表 2 研究区经济发展质量与生态韧性交互响应等级划分标准

Table 2 Division standard of interactive response between economic development quality and ecological resilience in study area

D 值区间	等级	D 值区间	等级
[0.0,0.1)	极度失调	[0.5,0.6)	勉强协调
[0.1,0.2)	严重失调	[0.6,0.7)	初级协调
[0.2,0.3)	中度失调	[0.7,0.8)	中级协调
[0.3,0.4)	轻度失调	[0.8,0.9)	良好协调
[0.4,0.5)	濒临失调	[0.9,1.0]	优质协调

2.3 数据来源

以中国陆地边境地区 45 个地市为研究单元,选取 2000—2020 年以 5 a 的时间间隔点作为研究时点。经济发展质量的相关指标主要来源于《中国城市统计年鉴》、各市《统计年鉴》及政府部门公告;生态韧性的指标源自各市《统计年鉴》与生态环境统计公报,通过中国气象数据网(<https://data.cma.cn/metadata>)统

计获取年均气温与降水数据。对于部分地市的个别年份数据缺失值进行关联插值处理^[34],插值处理后对该项指标数及全文数据分别进行 ADF 平稳性检验与函数拟合趋势验证,结果显示经过插值处理后的个别数据仍符合指标数据的变化趋势特征,且 ADF 平稳性检验 P 值均小于 0.05,表明插值所获取的个别数据较为科学合理,整体数据的代表性和完整性相对良好,对评价结果的准确性影响较小。

3 结果分析

3.1 经济发展质量与生态韧性的耦合协调

3.1.1 耦合协调时序变化特征 通过综合评价法分别测算中国陆地边境地区经济发展质量与生态韧性的指数值,为耦合协调测度与交互响应关系解析奠定基础。但考虑到本文主体内容聚焦于耦合关系与交互响应研究,且文章篇幅限制,利用综合评价模型所

得的经济发展质量与生态韧性评价结果不作详细分析。因此,基于综合评价结果采用耦合协调模型开展经济发展质量与生态韧性耦合协调研究。

由表3可知,2000—2020年中国陆地边境地区经济发展质量与生态韧性间的耦合协调度集中于0.183 4~0.272 8内,除2005,2015年西藏边境与2005年西北边境呈现严重失调的状态,其余时期各边境地区整体处于中度失调等别,最根本的原因是陆地边境地区经济发展属于“粗放型”扩张经济,加之生态环境管制保护尚不周全,导致经济与生态间的协同关系并不显著。分区域分析可知,2000—2020年耦合协调

度变化趋势主要表现为:陆地边境地区呈现“先降后升”的趋势、北部边境呈“曲折上升”趋势、东北边境呈逐渐下降趋势、西南边境地区呈逐渐上升趋势;西藏边境呈“M”型演化、西北边境呈“V”型演化。尤其是西藏边境地区2005,2015年耦合协调度处于严重失调阶段,西北边境于2005年处在严重失调阶段,原因可能是2005年西藏边境、西北边境不断加大基础设施、大兴水利、交通、农房建造,2015年西藏边境受地缘政治安全影响,对外出口贸易骤降71.9%,且生态环境投入资金规模收缩,因此出现了经济发展质量与生态韧性严重失调的突变现象。

表3 2000—2020年中国陆地边境地区耦合协调度的时序演变

Table 3 Time series evolution of coupling coordination in China's land border areas from 2000 to 2020

年份	耦合协调度					
	北部边境	东北边境	西南边境	西藏边境	西北边境	中国陆地边境
2000	0.263 2	0.270 8	0.207 4	0.245 1	0.217 4	0.239 8
2005	0.272 8	0.245 3	0.201 3	0.183 4	0.195 1	0.222 8
2010	0.267 4	0.257 4	0.203 8	0.208 1	0.205 7	0.230 2
2015	0.270 9	0.248 1	0.257 5	0.193 9	0.218 2	0.243 0
2020	0.268 9	0.252 2	0.227 3	0.200 1	0.210 7	0.235 2

根据图3核密度动态演化特征可知,中国陆地边境地区的密度分布曲线中心总体逐渐向左偏移,波峰对应的协调度先增后减,说明陆地边境地区经济发展质量与生态韧性协调水平先增后减;左拖尾逐渐消

失,右拖尾厚度逐渐变短,曲线分布延展性存在缩小趋势,表明中国陆地边境地区城市协同发展度差距逐渐缩小,经济发展质量与生态韧性轻度失调的城市数量增多。

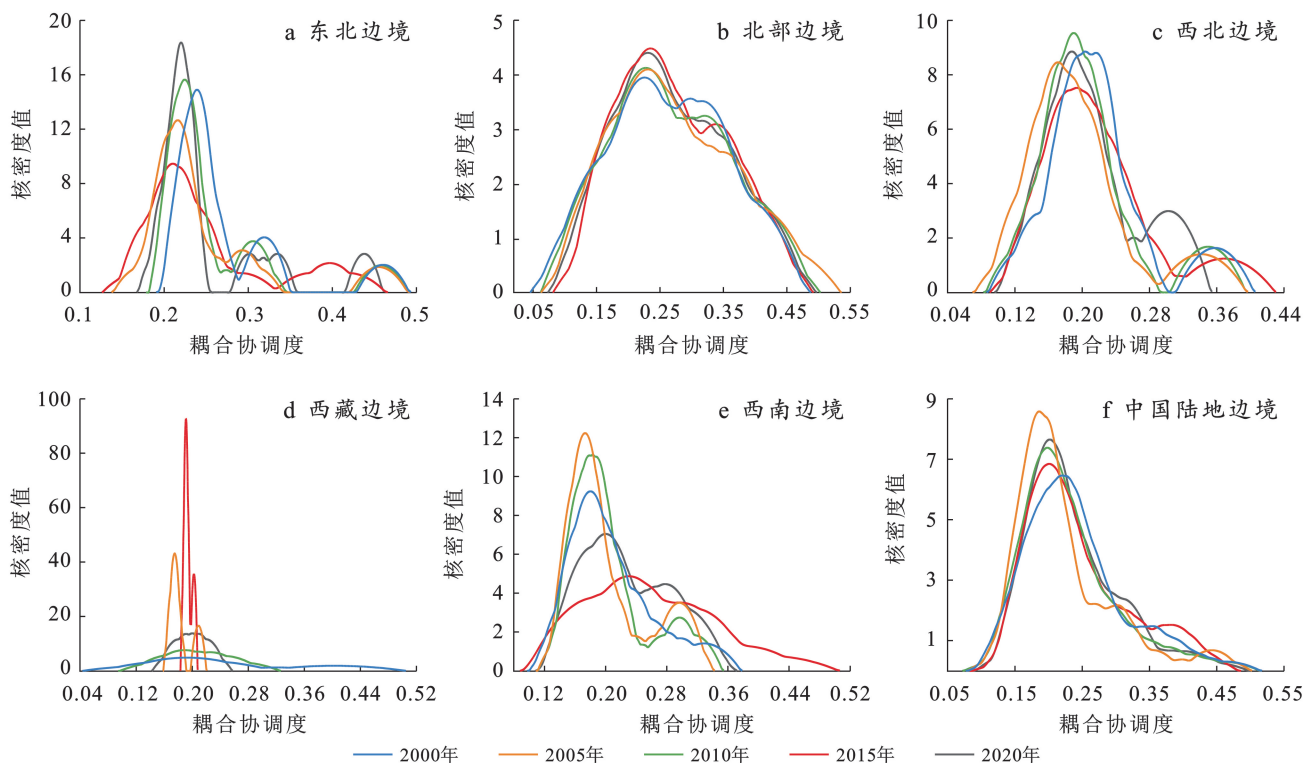


图3 2000—2020年中国陆地边境地区耦合协调度核密度动态演化

Fig.3 Dynamic evolution of coupling coordination degree kernel density of China's land border areas from 2000 to 2020

另一方面,各边境地区协同发展度主要以单峰形态演化,但随着时间的推移,双峰趋势逐渐显现,西藏边境耦合协调度出现较为明显的极化现象。由图 3a 和 3c 可知,东北边境地区和西北边境地区的密度分布大致呈“高波峰—低波宽—多波峰”的形态,其曲线中心经历两次先左后右的偏移,表明耦合协调度先降后升;图 3b 北部边境地区核密度曲线呈“低波峰—高波宽”分布,中心曲线经历了由右转左的偏移过程,表明耦合协调度总体先升后降;由图 3d 知,西藏边境地区 2005,2015 年核密度曲线出现了骤增现象,且为单峰状态,相较于 2000,2005,2015 年的耦合协调度差异逐渐变小,但存在极为明显的极化现象;由图 3e 可知,西南边境地区分布曲线由“高波峰—低波宽”向“低波峰—高波宽”演化,表明该区域耦合协调度差异逐渐扩大,极化现象逐渐消释。

3.1.2 耦合协调空间格局特征 边境不同区域的经济发展质量与生态韧性水平由于存在环境本底、资源

要素配置差异的影响,系统耦合协调的空间失衡现象较为凸显。由图 4 可知,2000—2020 年中国陆地边境地区耦合协调度的空间格局表现为“东高西低,北高南低”,耦合协调度重心呈现出自东向西,自南向北的变化态势,产生差异的主要原因是西部地区随着西部大开发战略的实施,人均 GDP 虽有所增加,但高耗能产业“东减西增”现象突出,绿色技术欠缺导致经济对生态效益的转换能力较弱于东北地区;而南部地区整体自然资源禀赋条件较北部平原区差,山地丘陵多的地貌类型导致产业结构单一、产业发展受限,需依托于东部发达的广东地区的产业转移和技术引进支撑区域发展,经济发展方式较为粗放,忽视了经济发展的质量和环境效益,同时受营商环境差、人口流失等因素的影响,南部地区产业转型升级较慢,生态管制与保护在粗放式经济发展模式下受到较严重的阻碍,经济动能与生态支撑间难以实现互馈协同导致南部地区耦合协调度低。

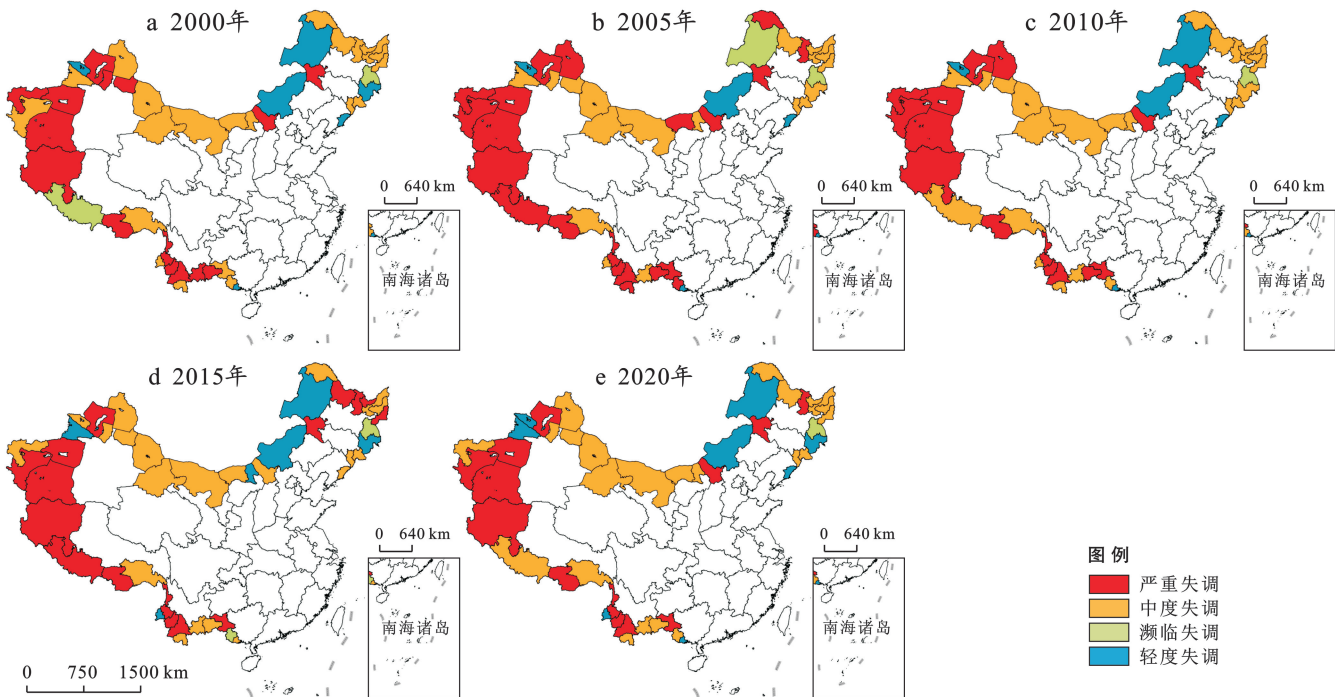


图 4 2000—2020 年中国陆地边境地区经济发展质量与生态韧性耦合协调空间演化
Fig.4 Spatial evolution of coupling coordination between economic development quality and ecological resilience of China's land border areas during 2000—2020

分区而言,严重失调等别区集中分布于西北边境地区和西南边境地区,主要原因在于西北边境生态本底资源较为紧缺,西南边境岩溶山区面积较广,生态系统脆弱性较高,西北边境区沙漠化现象较为严重,区域经济发展所需的生态基础较为薄弱加之缺乏科学系统的生态保护,导致经济建设发展极易对生态系统造成不可逆的影响,而西南边境地区虽得益于近年来兴边富民战略、中国—东盟经济合作等诸多振兴政策加持,经济发展质量取得较高成效,但西南边境

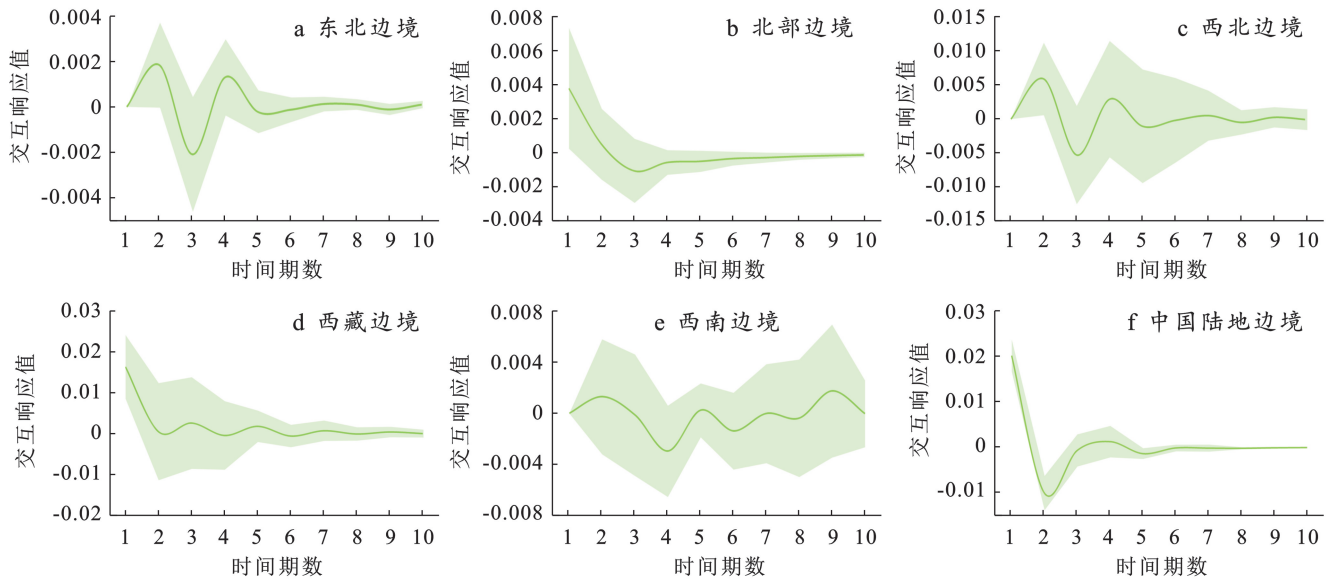
地区的非粮化、非农化、土地低效利用、耕地数量下降等现实窘况导致其生态韧性居低,经济发展质量与生态韧性的耦合协调关系整体处于严重失调的水平;北部边境地区主要以中度失调与轻度失调为主,轻度失调的城市集中于北部边境地区的东北城市群,原因可能是该区域地形起伏较低,易于开展生态整治修复工程,加之该区域产业结构绿色转型取得一定成效,有利于增加对生态保护的资金投入;而主要受到用地结构紧张、生态污染治理不周以及产业升级不全等

因素影响,东北边境北侧与北部边境南侧整体处于中度失调水平;西藏边境地区在高海拔自然生态条件下难以全面发展高新绿色产业,且极易受地缘政治因素的影响,经济发展动能较低。加之当前青藏高原地区生态管制与保护较严,使得该区经济发展质量与生态韧性间的耦合协调处于中度失调、严重失调等别。

3.2 脉冲交互响应结果分析

3.2.1 脉冲响应关系 陆地边境区的经济发展质量与生态韧性均在一阶差分后存在平稳的均衡序列。经济发展质量对生态韧性的响应,即生态韧性对经济发展质量冲击的影响(图 5);中国陆地边境地区经济发展质量在受到生态韧性冲击后,会产生正向影响且

影响程度达到最大,但随着期数的推移,影响逐渐变小。这表明在短期内生态韧性对经济高质量发展起正向作用,后逐渐趋于平稳(图 6)。北部、西北、西藏边境地区经济高质量发展在受生态韧性冲击之后,产生短期滞后的负向影响,且在第一期后做出负向反应,达到最高后则开始趋向正向反应。这表明在生态韧性短期内的冲击下,经济发展质量水平有不同程度下降。但长期看,生态韧性对经济发展质量保持正向作用且趋于平稳。而东北边境地区、西南边境地区生态韧性存在一定的滞后性,第一期后做出正向反应,达到最高后开始正向递减并趋于平稳状态,说明长期内生态韧性对经济发展质量起正向促进作用。



注:趋势线两侧区域为 95%的置信区间。下同。

图 5 中国陆地边境地区经济发展质量对生态韧性的响应关系

Fig.5 Response relationship of economic development quality to ecological resilience in China's land border areas

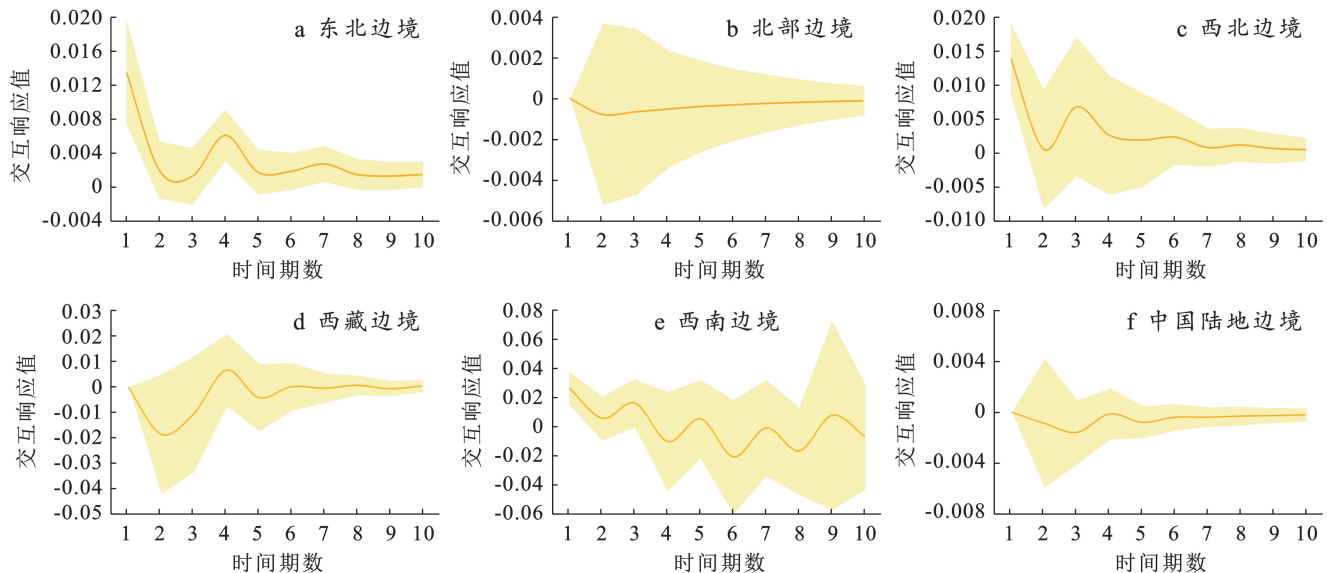


图 6 中国陆地边境地区生态韧性对经济发展质量的响应关系

Fig.6 Response relationship of economic development quality to ecological resilience in China's land border areas

生态韧性对经济发展质量的响应,即经济发展质量对生态韧性冲击的影响:陆地边境地区生态韧性受到经济发展质量冲击后,先做出正向反应至峰值后,逐渐递减衰退至负向反应,且趋于平稳,表明短期内经济发展质量对生态韧性起到促进作用,长期来看反而衍生出负向效应。其中东北、西北、西南边境地区受到经济发展质量冲击后,产生正向影响,而后正向递减趋势显化,说明经济发展质量对生态仍起到正向作用。北部、西藏边境地区受到冲击后立即做出正向反应,并由正向逐渐递减至负向反应,其中北部边境地区递减至负向反应达到最高点后,逐渐趋于正向反应,西藏边境地区响应值则在正负间呈现波动趋势。

3.2.2 方差分解结果 从生态韧性方差分解结果上看(表4),中国边境地区经济发展质量对生态韧性的贡献率随时间期数推移而逐渐升高。其中,北部、东北、西南边境区经济发展质量对生态韧性的贡献率偏小,均在35.000%以下,反观西藏、西北、陆地边境区经济发展质量对生态韧性的贡献率均大于50.000%,远高于其余三个边境区域,表明北部、东北、西南三大边境区经济发展质量受生态韧性影响较小,可能还受到社会条件、自然本底等其他变量的冲击和影响,而西北边境区经济发展质量对生态韧性的贡献程度最大,原因在于该地区旅游潜力较强,经济发展建设较为缓慢,旅游经济的发展进一步推动生态旅游业态的成熟,为生态韧性的提升提供了经济保障。

表4 中国陆地边境地区生态韧性方差分解

Table 4 Variance decomposition of ecological resilience at China's land border areas

滞后期	生态韧性方差/%					
	北部边境区	东北边境区	西南边境区	西藏边境区	西北边境区	陆地边境区
1	11.224	2.689	9.806	24.894	60.610	45.783
2	13.031	8.470	15.664	28.648	68.931	48.468
3	14.847	16.274	17.588	44.328	70.043	50.712
4	17.642	17.683	18.327	47.253	71.281	52.489
5	21.794	19.942	19.256	48.598	72.353	54.608
6	23.104	21.846	21.301	49.603	73.420	56.890
7	26.012	22.785	22.100	50.523	74.440	58.105
8	30.243	24.081	23.507	51.476	75.278	60.774
9	31.898	25.226	24.106	52.477	76.107	64.382

从经济发展质量方差分解结果上看(表5),中国边境地区生态韧性对经济发展质量的贡献程度随时间发展而逐渐下降,不同边境区的贡献程度大小排序为:西北边境区(86.735%)>东北边境区(78.619%)>陆地边境区(78.421%)>西南边境区(77.498%)>北部边境区(76.285%)>西藏边境区(74.983%)。具体来看,西藏边境区生态韧性对经济发展质量的贡献

程度最小,主要原因是该地区受限于自然地形地势起伏大、交通区位条件较差,虽然具备较优的生态条件,但难以支撑起经济发展;而西北边境区依托于草地资源优势与人文风光,为经济发展与规划孕育了生态旅游资源本底,因而该地区的生态韧性对经济发展质量的贡献程度最大,发挥生态环境优势助推旅游经济发展。

表5 中国陆地边境地区经济发展质量方差分解

Table 5 Variance decomposition of economic development quality at China's land border areas

滞后期	经济发展质量方差/%					
	北部边境区	东北边境区	西南边境区	西藏边境区	西北边境区	陆地边境区
1	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.000
2	93.898	97.463	90.193	96.606	96.605	94.752
3	90.660	90.339	86.867	84.106	94.686	91.219
4	87.452	86.280	84.601	81.110	92.598	89.653
5	85.768	84.111	82.895	79.652	91.443	88.194
6	83.119	82.072	81.744	78.441	90.876	86.441
7	81.797	81.876	80.493	77.845	89.108	84.026
8	79.484	80.018	79.651	76.551	88.550	81.503
9	77.171	79.347	78.137	75.480	87.097	79.836
10	76.285	78.619	77.498	74.983	86.735	78.421

4 结论

本文立足于中国边境地区经济发展与生态保护的现实矛盾,测度经济发展质量与生态韧性的耦合协调度,并刻画出两大系统间耦合协调的分布形态及其空间差异特征,最后采用P-VAR模型对两者的响应路径加以剖析和验证。

(1) 时空格局方面,2000—2020年经济发展质量形成“北部边境区高,西部边境区低”的空间分布格局,且高等经济发展质量区呈现出向西南转移的趋势;生态韧性的空间分布与经济发展质量空间格局存在一定的空间关联性,表现出“两端高,中间低”条带式分布格局。

(2) 耦合协调方面,研究区经济发展质量与生态韧性间的耦合协调总体处于中度失调。陆地边境地区呈现“先降后升”的趋势、北部边境呈“曲折上升”趋势、东北边境呈逐渐下降趋势、西南边境呈逐渐上升趋势;西藏边境呈“M”型演化、西北边境呈“V”型演化。

(3) 动态演化特征方面,中国陆地边境地区的密度分布曲线中心总体逐渐向左偏移,波峰对应的协调度先增后减,各边境区耦合协调度随着时间推移双峰趋势逐渐显现。泰尔指数整体呈现波动变化,上升趋势较明显,区内差异变化趋势与泰尔总指数的变化趋势相似。

(4) 脉冲响应方面,中国陆地边境区、东北边境、西北边境、西南边境经济发展质量与生态韧性脉冲响应前期表现正向反应,而后响应效应逐渐减小并趋于平稳,而北部、西北、西藏边境在系统作用下产生负向影响并存在滞后过程,负向反应达到最高后趋向正向反应。

5 建议

在经济、生态高质量发展的背景下,中国陆地边境地区应理清与调整经济发展质量与生态韧性间的关系,充当好经济对外开放、生态文明建设的重要“窗口角色”。本文提出以下建议:①中国陆地边境地区经济发展质量与周边邻国经济往来十分密切,应借助口岸优势与航运平台,制定利于两国间的经济密切往来条例,同时加大落实边境地区森林防护、风沙治理、水源补给等一系列整治提升工程,强化陆地边境的生态安全屏障功能,以确保国土安全长期稳定。②西南、东北、北部边境区应积极借鉴西北边境地区的经济发展道路与模式,强化生态文明建设格局,减少高耗能产业建设,创新绿色低碳能源技术,科学节约集

约用地,整治耕地“双非”现象,不断推进工业绿色转型升级,提升污染治理能效,以此提升区域生态韧性。

③西藏边境区应最大程度地利用其已有的生态资源本底,强化优势资源的开发利用,积极构建起科学系统的生态保护工程体系,同时加强藏文化的宣传推广带动经济发展,同时参考较发达地区的经验做法,发挥财政杠杆作用,积极对边境区域旅游经济、农副产品经济进行挖掘与提质,促进区域经济规模体量扩大、经济效率提高。④西北边境区应破除因经济发展质量对生态韧性的单一支撑作用,以全要素流动视角发挥边境城市的资源要素流通效率,强化生态文明建设格局,逐渐破解中国陆地边境中心城市的“虹吸效应”,并注重区域差异化生态建设和经济发展政策,科学配置布局土地利用结构,落实生态污染治理,强化产业结构升级,增强制造业、加工业等业态的经济动能,同时加大绿色产业生产力度,对标环保高新制造企业,构建起生态文明网络提升治理体系。

参考文献 (References)

- [1] 李小娟, 王大娟. 湘西地区经济发展水平与生态环境保护耦合协调性研究:以湖南省怀化市为例[J]. 经济地理, 2023, 43(11): 1-12.
A study on the coupling coordination between economic development level and eco-environmental protection in the Western Hunan Province: A case study of Huaihua City [J]. Economic Geography, 2023, 43(11): 1-12.
- [2] 王学义, 熊升银. 中国经济发展方式转变综合评价及时空演化特征研究[J]. 地理科学, 2020, 40(2): 220-228.
Wang Xueyi, Xiong Shengyin. Characteristics of comprehensive evaluation of time and space in the transformation of China's economic development mode [J]. Scientia Geographica Sinica, 2020, 40(2): 220-228.
- [3] Ruan Jieer, Chen Yingbiao, Yang Zhiwei. Assessment of temporal and spatial progress of urban resilience in Guangzhou under rainstorm scenarios [J]. International Journal of Disaster Risk Reduction, 2021, 66: 102578.
- [4] 王松茂, 牛金兰. 黄河流域城市生态韧性时空演变及其影响因素[J]. 生态学报, 2023, 43(20): 8309-8320.
Wang Songmao, Niu Jinlan. Spatio-temporal evolution and influencing factors of urban ecological resilience in the Yellow River basin [J]. Acta Ecologica Sinica, 2023, 43(20): 8309-8320.
- [5] 刘志彪, 凌永辉. 结构转换、全要素生产率与高质量发展[J]. 管理世界, 2020, 36(7): 15-29.
Liu Zhibiao, Ling Yonghui. Structural transformation, TFP and high-quality development [J]. Management World, 2020, 36(7): 15-29.
- [6] 王松茂, 褚玉静, 郭安禧, 等. “一带一路”沿线重点省份

- 旅游经济高质量发展研究:基于旅游资源转换效率的测度[J].地理科学,2020,40(9):1505-1512.
- Wang Songmao, Chu Yujing, Guo Anxi, et al. Study on high quality development of tourism economy in 18 key provinces along the one belt and one road initiative: Based on the measurement of tourism resource conversion efficiency [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2020, 40 (9): 1505-1512.
- [7] Ru Shaofeng, Liu Jiaqi, Wang Tonghui, et al. Provincial quality of economic growth: Measurements and influencing factors for China [J]. *Sustainability*, 2020, 12(4): 1354.
- [8] 李国平,朱婷,孙瑀.高质量区域空间格局构建下中国经济区划调整研究[J].地理科学,2024,44(1):20-29.
- Li Guoping, Zhu Ting, Sun Yu. Adjusting territorial and economic zoning of China to build a high-quality regional spatial pattern [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2024, 44(1): 20-29.
- [9] 杨耀武,张平.中国经济高质量发展的逻辑、测度与治理[J].经济研究,2021,56(1):26-42.
- Yang Yaowu, Zhang Ping. Logic, measurement and governance in China's high-quality economic development [J]. *Economic Research Journal*, 2021, 56 (1): 26-42.
- [10] Holling C S. Resilience and stability of ecological systems [J]. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 1973, 4: 1-23.
- [11] Linkov I, Bridges T, Creutzig F, et al. Changing the resilience paradigm [J]. *Nature Climate Change*, 2014, 4: 407-409.
- [12] Stuart-Haëntjens E, De Boeck H J, Lemoine N P, et al. Mean annual precipitation predicts primary production resistance and resilience to extreme drought [J]. *Science of the Total Environment*, 2018, 636: 360-366.
- [13] 张国俊,王运喆,王珏哈,等.中国城市群经济增长质量与数量协调关系的时空演化与机理[J].地理科学,2021,41(12):2075-2086.
- Zhang Guojun, Wang Yunzhe, Wang Juehan, et al. The spatio-temporal evolution and mechanism of the coordination between quality and quantity of economic growth in Chinese urban agglomerations [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2021, 41(12): 2075-2086.
- [14] Bush J, Doyon A. Building urban resilience with nature-based solutions: How can urban planning contribute? [J]. *Cities*, 2019, 95: 102483.
- [15] Cui Honglei, Liu Mei, Chen Chen. Ecological restoration strategies for the topography of Loess Plateau based on adaptive ecological sensitivity evaluation: A case study in Lanzhou, China [J]. *Sustainability*, 2022, 14(5): 2858.
- [16] 王文慧,钟业喜,马宏智,等.鄱阳湖水陆交错带生态韧性时空变化及影响因素[J].生态学报,2023,43(22):9514-9526.
- Wang Wenhui, Zhong Yexi, Ma Hongzhi, et al. Spatio-temporal variations and influencing factors of ecological resilience in the Aquatic-Terrestrial Ecotone of Poyang Lake [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2023, 43 (22): 9514-9526.
- [17] 赵领娣,孙兆旭.海岸带城市经济发展质量与生态韧性协同发展演化及空间收敛特征[J].经济地理,2023,43(7):119-129.
- Zhao Lingdi, Sun Zhaoxu. Evolution of coordinated development between economic development quality and ecological resilience in coastal cities and its spatial convergence features [J]. *Economic Geography*, 2023, 43(7): 119-129.
- [18] 朱媛媛,汪紫薇,乔花芳,等.大别山革命老区旅游地“乡土—生态”系统韧性演化规律及影响机制[J].自然资源学报,2022,37(7):1748-1765.
- Zhu Yuanyuan, Wang Ziwei, Qiao Huafang, et al. The resilience evolution and influencing mechanisms of the “ruralism-ecology” system of tourist destinations in Dabie Mountains old revolutionary base area [J]. *Journal of Natural Resources*, 2022, 37(7): 1748-1765.
- [19] Wang Jiankang, Han Qian, Wu Kexin, et al. Spatial-temporal patterns and evolution characteristics of the coordinated development of industrial economy, natural resources and environment in China [J]. *Resources Policy*, 2022, 75: 102463.
- [20] 张荣天,焦华富.泛长江三角洲地区经济发展与生态环境耦合协调关系分析[J].长江流域资源与环境,2015,24(5):719-727.
- Zhang Rongtian, Jiao Huafu. Coupling and coordinating between economic development and ecological environment in the pan Yangtze River delta [J]. *Resources and Environment in the Yangtze basin*, 2015, 24 (5): 719-727.
- [21] Germani A R, Ker A P, Castaldo A. On the existence and shape of an environmental crime Kuznets curve: A case study of Italian provinces [J]. *Ecological Indicators*, 2020, 108: 105685.
- [22] 孔凡斌,杨文才,徐彩瑶.环杭州湾城市群生态环境与社会经济耦合协调关系及其影响因素[J].生态学报,2023,43(6):2287-2297.
- Kong Fanbin, Yang Wencai, Xu Caiyao. Coordinated relationship and influencing factors of ecological environment and socio-economic coupling of urban agglomeration around Hangzhou Bay in China [J]. *Acta*

- Ecologica Sinica, 2023,43(6): 2287-2297.
- [23] Xiao Yi, Wang Rui, Wang Fan, et al. Investigation on spatial and temporal variation of coupling coordination between socioeconomic and ecological environment: A case study of the Loess Plateau, China [J]. Ecological Indicators, 2022,136: 108667.
- [24] Larraz B. Decomposing the Gini inequality index: An expanded solution with survey data applied to analyze gender income inequality [J]. Sociological Methods and Research, 2015,44(3): 508-533.
- [25] 金贵,郭柏枢,成金华,等.基于资源效率的国土空间布局及支撑体系框架[J].地理学报,2022,77(3): 534-546.
- Jin Gui, Guo Baishu, Cheng Jinhua, et al. Layout optimization and support system of territorial space: An analysis framework based on resource efficiency [J]. Acta Geographica Sinica, 2022,77(3): 534-546.
- [26] 李培庆,赵新正,姜永青,等.中国都市圈功能分工水平的时空特征及其对经济发展效率的影响[J].地理科学进展,2024,43(4): 644-656.
- Li Peiqing, Zhao Xinzhen, Jiang Yongqing, et al. Spatiotemporal characteristics and the impact on economic development efficiency of the functional division of urban agglomerations in China [J]. Progress in Geography, 2024,43(4): 644-656.
- [27] 李志远,冯学钢,何静,等.中国旅游生态韧性空间关联网络结构及其驱动因素[J].地理研究,2024,43(5): 1146-1165.
- Li Zhiyuan, Feng Xuegang, He Jing, et al. Spatial correlation network structure and driving factors of tourism ecological resilience in China [J]. Geographical Research, 2024,43(5): 1146-1165.
- [28] 王小华,杨玉琪,罗新雨,等.中国经济高质量发展的空间关联网络及其作用机制[J].地理学报,2022,77(8): 1920-1936.
- Wang Xiaohua, Yang Yuqi, Luo Xinyu, et al. The spatial correlation network and formation mechanism of China's high-quality economic development [J]. Acta Geographica Sinica, 2022,77(8): 1920-1936.
- [29] 汪侠,徐晓红.长江经济带经济高质量发展的时空演变与区域差距[J].经济地理,2020,40(3): 5-15.
- Wang Xia, Xu Xiaohong. Spatial-temporal evolution and regional disparity of economic high-quality development in the Yangtze River economic belt [J]. Economic Geography, 2020,40(3): 5-15.
- [30] Cariolet J M, Vuillet M, Diab Y. Mapping urban resilience to disasters: A review [J]. Sustainable Cities and Society, 2019,51: 101746.
- [31] 高军波,孙健武,喻超,等.县域协同发展能力的理论内涵及定量测度[J].地理研究,2023,42(6): 1465-1479.
- Gao Junbo, Sun Jianwu, Yu Chao, et al. Theoretical connotation and quantitative measurement of county synergy development capability [J]. Geographical Research, 2023,42(6): 1465-1479.
- [32] Chen Shiyin, Wu Xuebiao, Ma Zhiyu, et al. Analysis of the spatio-temporal differentiation of cultivated land pressure in the Pearl River-Xijiang economic zone and its influencing factors [J]. Journal of Resources and Ecology, 2022,13(3):407-416.
- [33] 杨喜,卢新海,侯娇.长江经济带城市土地开发强度时空格局特征及溢出效应研究[J].长江流域资源与环境,2021,30(4): 771-781.
- Yang Xi, Lu Xinhai, Hou Jiao. Research on temporal-spatial pattern characteristics and spillover effects of urban land development intensity in the Yangtze River economic belt [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2021,30(4): 771-781.
- [34] 王凯,谭佳欣,甘畅.湘西地区旅游发展与城乡融合协同演化及影响因素研究[J].地理科学进展,2023,42(8): 1468-1485.
- Wang Kai, Tan Jiixin, Gan Chang. Degree of synergy of regional tourism development and urban-rural integration and influencing factors in the Western Hunan region [J]. Progress in Geography, 2023,42(8): 1468-1485.