

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

马艳¹

【摘要】 基于长江经济带9省2市2000~2017年数据,建立长江经济带城镇化与生态环境交互耦合协调发展评价体系,运用耦合协调模型和交互胁迫模型,探究二者的动态关系。结果表明:在时间序列上,2000~2017年,长江经济带的城镇化与生态环境之间的协调性呈现稳步上升态势,整体处于良好耦合协调阶段。研究期初,生态环境综合指数高于城镇化综合指数;研究期末,城镇化综合指数高于生态环境综合指数。在空间格局上,二者的协调发展态势存在由东部区域沿中西部区域下降的空间差异特征。长江经济带的城镇化与生态环境之间存在交互胁迫关系,演变状态符合双指数函数特征。长江经济带区域内各省市存在城镇化与生态环境动态耦合关系的空间分布不均衡,经济较发达地区城镇化水平较高,经济欠发达地区生态环境受恶化风险较大。

【关键词】 长江经济带 城镇化 生态环境 动态耦合 耦合协调

【中图分类号】:K901.3 **【文献标识码】**:A **【文章编号】**:1004-8227(2020)02-0275-12

当前,我国正处于城镇化的快速发展阶段,城镇化率由1978年的17.92%增加到2017年的58.52%。根据全世界各国城镇化发展的一般规律,当一国城镇化水平达到40%~60%时,即认为该国城镇化发展进入经济的黄金期,也面临“城市病”困扰的多发期。参照该规律,我国城镇化正处在这一水平区间。审视我国城镇化发展过程中由于忽略“外部经济性”造成的环境污染和生态破坏,出现的水土污染、土地质量下降等问题无不与生态环境息息相关。随着长江经济带战略实施的不断深化,区域间的相互联系不断增强,如何在跨区域过程中既能实现城镇化与生态环境的协调发展,又能保持生态环境的改善,促进两者的耦合协调、互利共生,已成为国家社会发展的重要议题之一。因此,探究长江经济带及流域内各省市城镇化与生态环境的耦合作用机理与运行规律,是响应“共抓大保护、不搞大开发”的指示精神,推动流域生态环境可持续发展的关键所在。

国外对城镇化与生态环境关系具有代表性的研究,当属以下3个标志性成果,(1)20世纪80年代末,由联合国经济合作开发署提出的PSR模型,为测度世界环境状况与人类活动提供了概念性框架和新的评价思路。(2)1995年,Grossman等^[1]对42个发达国家的环境质量和人均收入关系展开定量实证研究,发现区域经济发展与环境污染程度总体上呈现出先增长后降低的倒“U”型曲线波动形态,即著名的环境库兹涅茨曲线(EKC)假说。此外,美国系统动力学创始人Forrester^[2],系统生态学家Odum等^[3]和德国科学家Vester等^[4]利用系统动力学和生态经济学原理,对部分国家和地区的城镇化和生态系统进行分析,研究发现城市发展与环境变化存在交互作用机理,进一步丰富和发展了城镇化与生态环境科学的研究。(3)2002年OECD提出了脱钩理论(decoupling theory),旨在探讨阻断环境质量损害与经济发展关联性的可能,认为经济发展到一定程度时,环境压力达到最大值后开始下降,通过制定相应的对策与措施,可以实现经济增长对资源环境的掠夺,从而实现脱钩发展^[5]。上述成果逐步由描述性分析向定量研究转化,为我国学者从多学科视角研究城镇化与生态环境关系的深层次原因奠定了理论和实践基础^[6]。

国内对城镇化与生态环境的相关研究主要涉及以下3个方面:

作者简介: 马艳(1984-),女,博士后,研究方向为区域经济与生态环境保护.E-mail:mayan1126@hotmail.com

基金项目: 教育部人文社会科学研究青年基金项目(17YJCZH126);国家留学基金委项目(201806775042);中央高校基本科研业务费专项资金(2722020PY056)。

(1) 针对城镇化进程中生态环境保护与治理的单一维度研究, 主要涉及生态环境中的土地利用、水资源利用、环境污染等问题与城镇化发展的关系研究。如, 郑华伟等^[7]运用动态计量模型测度发现城镇化与土地集约利用在短期内存在失衡现象, 在长期内存在动态均衡关系。唐志强等^[8]通过建立动态耦合模型, 以生态敏感脆弱地区的水资源为例, 研究黑河流域中水资源对城市化格局和过程的响应关系, 揭示干旱区城市化过程与区域水资源配置的内在反馈机制, 并对二者的响应关系进行了量化研究。姚小薇等^[9]利用双变量空间自相关方法, 研究发现武汉城市圈城镇化水平与生态系统服务价值存在负相关关系, 为研究区土地利用决策、城镇化建设和生态环境维护提供了依据。

(2) 针对城镇化与生态环境耦合的理论研究, 包含基本定律、耦合机理及演变规律等^[10], 形成了较为成熟的理论体系。1984 年, 马世骏等^[11]构建了“社会-经济-自然”复合生态系统的理论框架, 提出了复合生态系统的研究方向和具体决策步骤, 为我国城市生态环境的研究奠定了理论基础。以方创琳团队为代表的学者, 着力探寻城镇化与生态环境的作用机理及演变规律, 研究发现: 二者之间存在交互耦合关系^[12], 在其演化周期内呈现双指数函数变化规律, 经历了低级协调共生、协调发展、极限发展和螺旋式上升 4 个阶段^[13, 14], 且整个交互耦合过程遵循六大基本定律^[15]。近年来该团队适应国家经济发展战略核心区建设的需要, 构建了特大城市群地区城镇化与生态环境耦合效应解析的理论框架及技术路径^[16], 为区域可持续发展提供了理论指导和方法支撑。

(3) 采取实证分析与研究区域相结合, 对城镇化与生态环境耦合规律揭示、协调关系评价、模拟预测分析等展开研究。如, 孙平军等^[17]基于熵变视角, 构建 PSE 模型, 揭示了吉林省城镇化与生态环境协调与非协调的交互关系, 发现两者耦合关系演化过程具有阶段性特征。刘耀彬和宋学锋^[18~20]利用协同论和系统论观点, 分别对徐州市和江苏省城镇化与生态环境交互作用机理进行了分析, 并以此建立了系统动力学模型, 预测研究区耦合度变化情况。张乐勤等^[21]采用主成分分析法对安徽省城镇化与生态环境质量进行了综合评价, 并借鉴 STIRPAT 模型, 采用偏最小二乘回归方法对城镇化演进的边际生态环境效应进行了测度。研究范围涉及省域^[22]、市域^[23]、长三角^[24]、珠三角^[25]、京津冀^[25]、沿海等^[26]发达省份或地区。对于长江经济带的研究成果近年来也颇为丰富, 内容涉及长江经济带人口、经济、城镇化等诸多单一要素发展时空格局, 区域内城市群时空耦合特征, 生态环境效率及生态承载力等等^[27~32]。综合近年来的研究发现, 目前针对长江经济带城镇化与生态环境交互作用关系的研究, 多侧重于城市耦合协调度在时间维度上的排序, 对时序特征把握不够, 对动态化观念引入不足, 缺乏验证城镇化与生态环境是否存在交互胁迫关系的部分。基于此, 本文采用系统分析思路, 选择长江经济带作为典型区域, 以流域内 9 省 2 市共计 11 个省级行政区域为基本单元, 从时空两个维度分析城镇化与生态环境的动态耦合关系并划分其耦合协调程度, 力求验证两者存在交互胁迫关系的可能性, 填补现阶段相关研究的不足。

1 耦合协调模型与交互胁迫模型构建

1.1 城镇化与生态环境动态关系分析

长江经济带城镇化生态环境系统是一个由城镇化系统、生态环境系统构成的相互作用、交织、渗透的复合系统, 二者间存在着极其复杂的动态关系。人口、空间、经济、社会等多种因素构成了城市综合体, 城镇化的实质是以内向式集聚为主和外向式推延为辅的综合作用的过程。生态环境系统与城镇化系统互为依赖, 共同发展。一方面, 由于城镇化进程的推进, 人口增长、地域扩张、资源、能源消耗需求水平的增加、经济社会发展等因素的推动, 城镇自身所具有的功能正在对生态环境的平衡产生胁迫效应^[5]; 另一方面, 生态环境在为城镇化发展提供大量的资源环境要素的同时, 又要消解容纳经济社会发展过程中排放的各种废弃物, 通过其内部包含的各种子环境对城镇化过程的每个方面都有一定的促进和约束作用, 推动或迫使城镇化在发展中获得的收益转移用来改善生态环境质量, 使得城镇化的发展保持在生态环境承载范围之内, 如图 1 所示。

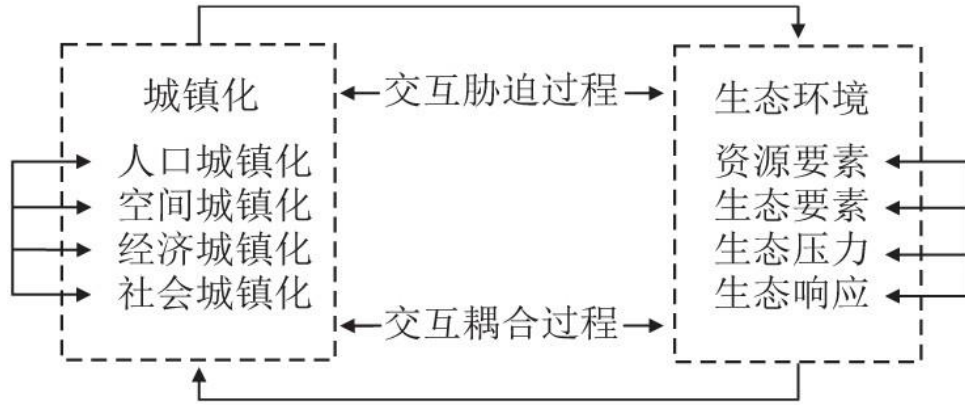


图1 城镇化与生态环境的动态关系图

刘耀彬等^[33]利用经济学中的 logistic 过程推导出城镇化与生态环境的动态耦合关系,发现二者的相互作用效应存在着阶段性变化特征。在城镇化发展初始阶段,经济发展仍较缓慢,城市发展还处于一个低水平的阶段时,生态环境压力会随城镇化的进程出现直线或近似直线上升的过程,在这一阶段城镇化和生态环境的相互作用是停留在表面上,并没有产生深远的影响;在城镇化发展进入成熟阶段,生态环境与城镇化会不断地相互磨合、相互作用,也会随城镇化进程的推进而恶化,使城市发展受到瓶颈制约,而接近某一饱和水平。一旦约束因素发生变化,原来的瓶颈消失,城市又会呈现新的“S”型增长,生态环境会随城镇化的提高而变好,城市也会在这样的循环往复中不断发展变化,实现动态平衡。

1.2 城镇化与生态环境交互耦合模型构建

耦合是物理学中的一个概念,是指两个(或以上)系统在本系统内部和其他外部系统的多重作用下彼此相互影响的现象。而耦合度是对模块间关联程度的度量,用来描述系统或者要素之间作用影响程度^[34]。由于系统之间的交互耦合关系具有较为显著的相似性,耦合度模型已经被广泛地应用于揭示城镇化与生态环境系统之间复杂的交互耦合机理,其计算步骤为:

$$C = \{ (F(U), F(E) / (F(U) + F(E))) \}^2 \}^k \quad (1)$$

式中:C 表示城镇化与生态环境复合系统的耦合度, $C \in [0, 1]$; $F(U)$ 为城镇化系统综合评价指数值; $F(E)$ 为生态环境系统综合评价指数值, k 为模型调节系数, 式中 $k \geq 2$, 一般取 2。

$$T = \alpha U + \beta E \quad (2)$$

式中:T 反映的是城镇化与生态环境之间的综合协调指数; α 、 β 为待定系数, 本文各自取值 0.5。

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

式中:D 为城镇化与生态环境之间的耦合协调度, 该值用以反映两者之间的协调程度。借鉴张雅杰等^[27]、王宾等^[30]学者的研究成果, 根据耦合协调度大小划分其协调类型, 如表 1 所示。

表 1 耦合协调程度的划分标准

综合类别	耦合协调				过渡发展		不协调发展		
协调度水平	(0.9~1.0)	(0.8~0.89)	(0.7~0.79)	(0.6~0.69)	(0.5~0.59)	(0.4~0.49)	(0.3~0.39)	(0.2~0.29)	(0, 0.19)
阶段	优质协调	良好协调	中级协调	初级协调	勉强协调	濒临失调	轻度失调	中度失调	严重失调

1.3 城镇化与生态环境交互胁迫模型构建

根据系统动力学理论, 本文将城镇化生态环境系统内的 2 个子系统进行组合研究, 分析其内部的胁迫关系。基于前文文献梳理已证实经济发展水平与生态环境状况之间存在倒“U”形曲线的变化关系^[1,6], 公式为:

$$z = m - n(x - p)^2 \quad (4)$$

国内学者周一星研究发现城镇化水平与经济发展水平之间存在着对数曲线的关系^[26], 其表达式为:

$$y = a \lg x + b \quad (5)$$

式中: z 代表生态环境恶化程度; x, y 分别代表人均国民生产总值和城镇化水平; m, n, p, a, b 为非负待定参数^[5]。

结合倒“U”型曲线方程和对数曲线方程两组公式, 可以进一步推导出城镇化与生态环境之间的交互胁迫关系的双指数函数:

$$z = m - n \left[10^{\frac{y-b}{a}} - p \right]^2 \quad (6)$$

式中: 当 $10^{\frac{y-b}{a}} < p$ 时, 生态环境随城镇化的提高而逐渐恶化; 当 $10^{\frac{y-b}{a}} = p$ 时, 生态环境的恶化程度达到最大值 m ; 当 $10^{\frac{y-b}{a}} > p$ 时, 生态环境随城镇化的提高逐渐转好^[5, 22, 26, 35, 36]。

2 研究区概况、指标体系与数据来源

2.1 研究区概况

改革开放以来, 长江经济带已发展成为我国综合实力最强、战略支撑作用最大的区域之一。本文研究的长江经济带是在长江流域基础上考虑行政区划完整性而确定的区域, 包括沪、苏、浙、皖、赣、鄂、湘、渝、川、滇、贵 9 省 2 市, 总面积 $2.06 \times 10^6 \text{ km}^2$ 。长江经济带土地资源占国土面积的 21.27%, 2017 年地区生产总值和城镇化率分别达到全国的 45.1% 和 57.71%, 承载了全国近一半的人口与经济占比, 是中国最重要的经济廊道和绿色生态廊道。但与此同时, 长江经济带又是全国主要的环境负载与资源消耗区域之一, 生态环境受大规模城镇化和工业化的破坏和威胁十分严重, 区域发展与环境保护的矛盾日渐突出。

2.2 指标体系构建与数据来源

为准确评价城镇化系统与生态环境系统的综合值,参照已有的研究成果^[6,22,26~32],同时考虑数据指标的可获得性,根据长江经济带城镇化和生态环境的特点,经共线性分析剔除了多重变量的相似性信息,分别从2个系统、8个状态层、26项基础指标,构建长江经济带城镇化生态环境综合评价指标体系,具体如表2所示。

表2 长江经济带城镇化生态环境综合评价指标

系统层	一级指标	权重	二级指标	单位	权重	方向
城镇化系统	人口城镇化	0.112	非农人口占总人口比重	%	0.572	正向
			二、三产业就业人员比重	%	0.428	正向
	空间城镇化	0.284	每万人拥有建成区面积	km ²	0.269	负向
			人均城市道路面积	人/km ²	0.242	正向
			人口密度	人/hm ²	0.488	负向
	经济城镇化	0.248	人均 GDP	元/人	0.285	正向
			二、三产业增加值占 GDP 比重	%	0.157	正向
			人均工业总产值	元/人	0.240	正向
			人均地方财政收入	元/人	0.317	正向
	社会城镇化	0.346	社会消费品零售总额	亿元	0.227	正向
			城镇居民人均可支配收入	元	0.197	正向
			万人拥有医生数	人	0.198	正向
			每十万人人口高等学校平均在校学生数	人	0.256	正向
			万人拥有公共汽车数量	台	0.122	正向
生态环境系统	资源条件	0.179	人均水资源量	人/m ³	0.484	正向
			人均耕地面积	人/hm ²	0.270	正向
			人均粮食总产量	kg	0.247	正向
	生态保障	0.242	森林覆盖率	%	0.469	正向
			人均拥有绿地面积	人/m ²	0.280	正向
			建成区绿化覆盖率	%	0.251	正向

	生态压力	0.345	人均工业二氧化硫排放量	t	0.395	负向
			人均工业烟尘排放量	t	0.393	负向
			人均废水排放总量	10 ⁴ t	0.212	负向
	生态响应条件	0.233	生活垃圾无害化处理率	%	0.260	正向
			城市污水日处理能力	10 ⁴ m ³	0.218	正向
			工业污染治理完成投资额	万元	0.522	正向

表 2 中包含两个子系统。其中, 长江经济带城镇化发展子系统将从人口、空间、经济和社会城镇化 4 个方面选择指标, 反映其综合发展程度, 其值越高表明城镇化发展水平及质量越好, 反之则亦然。生态环境子系统涉及到资源条件、生态保障、生态压力、生态响应 4 个方面, 反映了区域资源环境的承载能力, 其值越高表明城镇化发展对生态环境水平的影响越大, 反之亦成立。文中指标数据来源于 2001~2018 年《中国统计年鉴》和《中国城市统计年鉴》, 生态压力和生态响应类数据来源于各省市统计年鉴和国土资源统计公报。为避免指标体系中不同量纲无法直接汇总的问题, 文章采用无量纲化方法对正向、负向指标数据进行标准化处理:

$$\text{正向指标: } X'_{ij} = (X_{ij} - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) \quad (7)$$

$$\text{负向指标: } X'_{ij} = (X_{\max} - X_{ij}) / (X_{\max} - X_{\min}) \quad (8)$$

式中: X'_{ij} 为标准化后值; X_{ij} 为实际计算值; i 为指标序号; j 为年份。

由于本文研究区域涉及多地域、跨年度的城镇化和生态环境综合指数测算, 考虑到指标间的相互关联性, 为消除权重确定的主观因素, 采用熵值法测算指标权重。

3 结果分析

3.1 城镇化与生态环境耦合协调度时序分析

如图 2 所示, 图中曲线由上至下分别代表长江经济带城镇化与生态环境耦合协调度值、生态环境综合值和城镇化综合值。研究期内, 3 条曲线均呈稳步上升趋势。其中, 最上方的耦合协调度曲线, 在 2000~2004 年经历了小幅波动, 耦合协调度值处在 [0.4~0.49] 区间, 属于濒临失调状态; 2005~2006 年处于勉强协调状态, 分别为 0.53 和 0.56; 从 2007 年开始, 耦合协调度已由过渡发展类转为耦合协调类, 此类型包括初级协调、中级协调、良好协调和优质协调 4 个阶段。2007~2008 年处于初级协调阶段, 为 0.615 和 0.67; 2009~2011 年进入中级协调状态, 此后耦合协调度逐年优化, 目前已进入良好协调发展阶段。

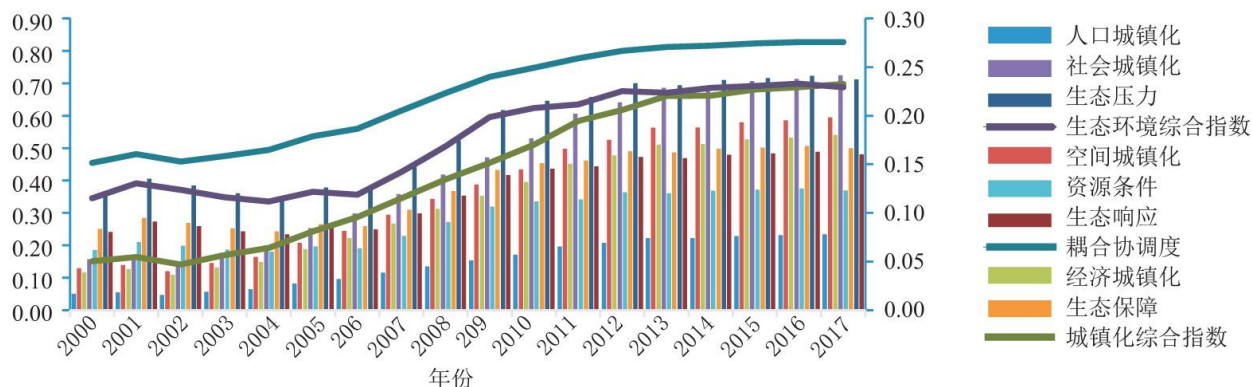


图2 长江经济带城镇化与生态环境耦合协调关系

其余两条曲线整体呈波动增长趋势,且生态环境综合指数总体高于城镇化综合指数。2000年,长江经济带生态环境综合指数为0.345,2017年已增长到0.688,18年间年增长率为3.9%。在11个省份中,贵州、四川、云南、湖北、江西的增长率在6%~7%之间,其余省份增长率在3%~4%之间。虽然城镇化综合指数初期较低,但后期增长较快,上升趋势尤其显著。2000年,长江经济带城镇化综合指数为0.151,2017年增长至0.698,增长率为8.9%。在11个省份中,贵州省城镇化增长率最高,年均增幅为5.21%,其次为江西省和安徽省,分别为4.84%和4.14%,上海市的城镇化增长率最低,仅为2.72%。在研究期末,二条曲线增幅差距逐渐缩小,到2017年城镇化指数已略高于生态环境指数,基本扭转了城镇化滞后发展的状况,说明长江经济带的提出,加速了城镇化的发展,促进了两个子系统之间的协调性。

结合图2柱状指标进一步探究发现,在长江经济带城镇化各子系统指数值中,社会城镇化>空间城镇化>经济城镇化>人口城镇化。人口城镇化的发展已成为制约长江经济带城镇化发展的瓶颈。2017年上海市城镇化率达到了87.7%,而处在长江经济带西部地区的云南省、贵州省城镇化率仅为46.69%和46.02%。究其原因在于:长江经济带沿线城市中,除拥有良好区位条件、雄厚经济基础的上海市、江苏省、浙江省以外,多数省份仍地处中西部地区。这些省份虽然拥有良好的自然资源条件,但城镇化进程缓慢、基础设施建设投入力度不足,导致人口向东部地区集中流动,造成区域之间城镇化水平不均衡。以在二、三产业就业人口比率为例,上海、江苏、浙江3省平均值高达80%以上,而贵州、云南两省仅为41.24%和43%,东部地区城市人口密度过高导致资源环境约束趋紧,而中西部资源环境承载力较强的地区城市人口聚集不足,难以形成规模经济效应,制约了长江经济带城镇化整体的发展。

在生态环境系统中,生态压力子系统指数最高,资源条件子系统值最低。在研究初期,生态压力子系统值为0.12,在研究期末已达到0.24,其二级指标中包含了人均二氧化硫排放量、人均工业烟尘、废水排放量,这3个指标均为负指标,其值越大,说明生态环境所承受的压力也越大。值得注意的是,近年来长江经济带城镇化发展指数与生态环境综合指数的差距在不断缩小,各子系统的发展趋势在经历短暂波动后,增速逐渐平稳。特别是2017年,城镇化综合指数首次超过生态环境发展指数,说明长江经济带城镇化发展滞后的现状正在逐渐得到改善,但未来仍需进一步协调有限的资源条件与持续的生态压力的矛盾。

3.2 城镇化与生态环境耦合协调度空间分析

本文选取2000、2010和2017年长江经济带城镇化与生态环境协调度作为代表年份,进行空间格局演变分析。

如图3所示,在2000年,浙江省耦合协调度为0.613,属于初级耦合协调型,是唯一处于耦合协调发展类别的省份。过渡发展类的省市共有7个,其中:上海、江苏、湖北3省市耦合协调度处于0.5~0.59区间,属于勉强协调型;而濒临失调型省市共4个,分别为安徽、江西、湖南、重庆,耦合协调度处于0.4~0.49区间。剩下的四川、云南、贵州3省属于不协调发展类型,属于轻

度失调型范围。2010 年,各省份的城镇化与生态环境耦合协调度都不同程度地得到了提高,所有省市都进入了耦合协调发展类别。其中,良好协调型的省份仅浙江省 1 个;中级协调型的省份数量最多,达到 7 个,为上海、江苏、安徽、湖北、湖南、重庆、四川;初级协调型为江西、贵州、云南。2017 年,浙江省耦合协调度依然保持在首位,属于优质协调型;上海、江苏、湖北、湖南、重庆进入到良好协调型;安徽、江西、四川、云南为中级协调型;贵州省虽然耦合度相较于 7 年前有所提升,但仍处于初级协调型阶段。

整体上看,长江经济带城镇化与生态环境耦合协调发展水平在空间上呈现“东北高、西南低”的衰减格局,具有明显的地域特征。与 2000 年相比长江经济带城镇化与生态环境耦合协调性正逐渐优化,各省市协调状态显著提升。2017 年,各省市协调度最高的为浙江省,处于优质协调状态,最低的为贵州省,协调度为 0.688,为初级协调阶段。从代表年份协调度的变化趋势来看,浙江省始终处于耦合协调类别中,且状态不断优化。与之相随的是上海市和江苏省,在代表年份中,始终处于 11 省市的前列,这与 3 省市的经济基础、地理位置、产业结构息息相关;而云南、贵州、四川 3 省在研究初期协调度垫底,属于轻度失调型,其生态环境综合指数远高于城镇化综合指数,两者之间的悬殊明显。

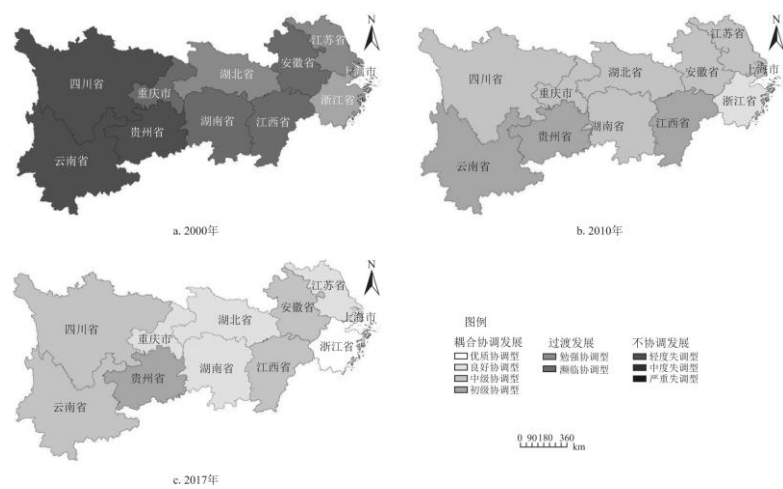


图 3 长江经济带城镇化与生态环境耦合协调发展类型

由于长江经济带独特的地域性,根据自然地理位置和行政区划及经济发展水平,本文将长江经济带 9 省 2 市划分为上游(重庆、四川、贵州、云南)、中游(湖北、湖南、江西、安徽)和下游(上海、浙江、江苏)3 大区域进行分析(图 4)。从区域视角来看,2000~2017 年长江经济带上游、中游、下游 3 大区域城镇化与生态环境的耦合协调度具有以下特征。

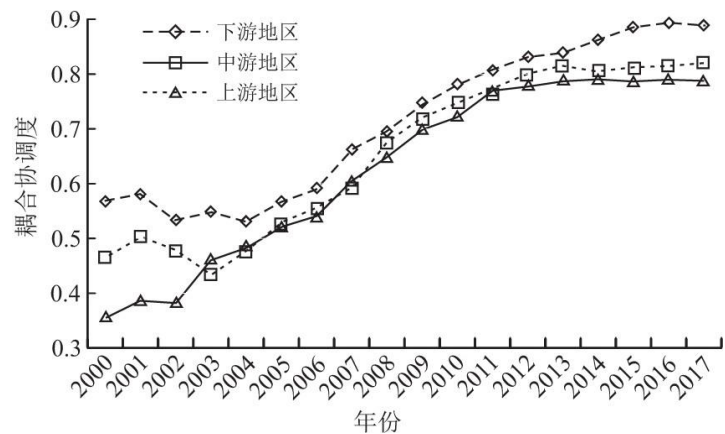


图 4 2000~2017 年上中下游地区城镇化与生态环境耦合协调度发展趋势

三大区域的耦合协调度总体呈现持续上升趋势。18 年来,上、中、下游地区的耦合协调发展水平有一定幅度的提升,特别是上游地区在经济发展和环境保护的表现最为强劲。2000 年,下游地区耦合协调度与上游地区差距明显,两地耦合度相差 0.21。经济基础薄弱、人口外流等因素严重阻碍了上游地区城镇化的发展。从 2004 年开始,上游地区的协调度提升到 0.462,首次超过中游 0.434,此后中游与上游地区耦合协调度差距逐渐缩小,演变趋势基本上呈交错上升发展。从 2009 年开始,流域内所有省份均进入耦合协调发展类别。其中,贵州省首次进入初级耦合协调发展阶段,且在这一年其城镇化指数与生态环境指数的差距进一步缩小,与云南省、江西省同处于初级协调发展阶段。这主要得益于,以云南、贵州为代表的上游省份,一方面充分利用自“十一五”期间国家给予西部地区的扶持政策,转变传统经济增长模式,积极进行基础设施建设,大力发展第三产业,吸引居住在生态极度脆弱地区的农村居民就近或到中下游城市从事二、三产业发展,推进人口城镇化的建设。另一方面结合自身自然资源禀赋和旅游资源的优势,以川渝为先行示范区,以重庆为西部大开发战略支撑和长江经济带西部中心枢纽,稳中推进生态环境保护与治理,使得四省份近年来经济发展成绩显著,与中、下游地区的差距正逐渐缩小。

三大区域的耦合协调度与长江流域呈反梯度关系,即存在“下游地区>中游地区>上游地区”的特征,且这一特征与经济发展格局相近。文章利用熵权法进行城镇化综合指数评价时发现,长江经济带经济城镇化的权重为 0.248,社会城镇化的权重为 0.346,二者权重占城镇化系统 6 成的比例,直接影响城镇化的总体评价。位于长江经济带下游的上海、江苏、浙江 3 省市,拥有良好的区位条件,经济基础雄厚,整体竞争力居于全国前列,其地区协调度相对较高。反之,经济不发达、城市基础设施水平较低的上游地区,其耦合协调度相对较低。

3.3 城镇化与生态环境交互胁迫关系验证

利用 Matlab 软件,结合 1.3 交互胁迫模型的构建方法,对 2000~2017 年间长江经济带 11 省市的城镇化与生态环境两子系统进行曲线拟合求解(表 3),推导并绘制出 11 省市的双指数函数拟合图(图 5)。

从方差(SSE)、校正后的决定系数 R^2 检验来看,长江经济带全流域及 11 省市对数曲线方程拟合效果良好。如表 3 所示,m 表示曲线拐点出现时生态环境的恶化程度,其值由大到小依次为:上海、江苏、安徽、湖北、湖南、江西、浙江、重庆、四川、云南、贵州。表明长江经济带城镇化与生态环境双指数曲线出现拐点时,位居前列的省市所承载的生态压力要高于位居末位的省市。从地理位置分析,位居前列的省市主要集中在长江中下游地区,属于经济社会发展相对发达的地区,位居末位的省市多分布在自然资源较为丰富的长江上游地区。n 值表示生态环境随城镇化运行状态变化的速率有关。从 n 的取值来看,11 个省市从大到小依次为上海市、湖北省、浙江省、江苏省、重庆市、江西省、湖南省、安徽省、贵州省、四川省、云南省,表明各省市生态环境压力与城镇化规模扩张速率有关,城镇化系统变化速率越快,生态环境恶化越迅速。b 值的大小反应了双指数曲线拐点的早晚。b 值越大,说明拐点出现时城镇化系统发展水平越高。如表 3 所示,较早出现生态拐点的省份为云南、安徽、贵州、江西、云南等省,主要集中于长江经济带的中上游区域;拐点值较小且较晚出现的省份是浙江、上海、重庆、湖北等地。说明长江经济带城镇化水平越高区域的拐点晚出现于水平较低区域,而且较高区域拐点出现时城镇化水平较高,这一结论在上海最为典型。

表 3 长江经济带城镇化系统与生态环境系统动态耦合的双指数函数方程

省/市	双指数关系方程式	m 值	n 值	a 值	b 值	p 值
上海市	$Z=0.9190-0.8698(10^{(Y-1.2580)/1.8920}-1.0280)^2$	0.9190	0.8698	1.8920	1.2580	1.0280
江苏省	$Z=0.8932-0.6219(10^{(Y-0.8092)/0.7531}-1.2790)^2$	0.8932	0.6219	0.7531	0.8092	1.2790
浙江省	$Z=0.7930-0.6680(10^{(Y-0.8459)/0.8799}-0.9512)^2$	0.7930	0.6680	0.8799	0.8459	0.9512

安徽省	$Z=0.8738-0.4917(10^{(Y-0.7209)/0.5020}-1.0280)^2$	0.8738	0.4917	0.5020	0.7209	1.0280
江西省	$Z=0.8376-0.5479(10^{(Y-0.6533)/0.6467}-1.0150)^2$	0.8376	0.5479	0.6467	0.6533	1.0150
湖北省	$Z=0.8712-0.6894(10^{(Y-0.7707)/2.0400}-1.4480)^2$	0.8712	0.6894	2.0400	0.7707	1.4480
湖南省	$Z=0.8595-0.5263(10^{(Y-0.7406)/0.6491}-1.2380)^2$	0.8595	0.5263	0.6491	0.7406	1.2380
四川省	$Z=0.7330-0.3862(10^{(Y-0.7564)/0.9712}-1.0250)^2$	0.7330	0.3862	0.9712	0.7564	1.0250
贵州省	$Z=0.5482-0.4299(10^{(Y-0.6511)/0.4713}-1.1270)^2$	0.5482	0.4299	0.4713	0.6511	1.1270
云南省	$Z=0.6818-0.2785(10^{(Y-0.4203)/0.8005}-0.8532)^2$	0.6818	0.2785	0.8005	0.4203	0.8532
重庆市	$Z=0.7367-0.6156(10^{(Y-0.8053)/1.0510}-1.2870)^2$	0.7367	0.6156	1.0510	0.8053	1.2870
合计	$Z=0.8575-0.6163(10^{(Y-0.9616)/0.8463}-1.1410)^2$	0.8575	0.6163	0.8463	0.9616	1.1410

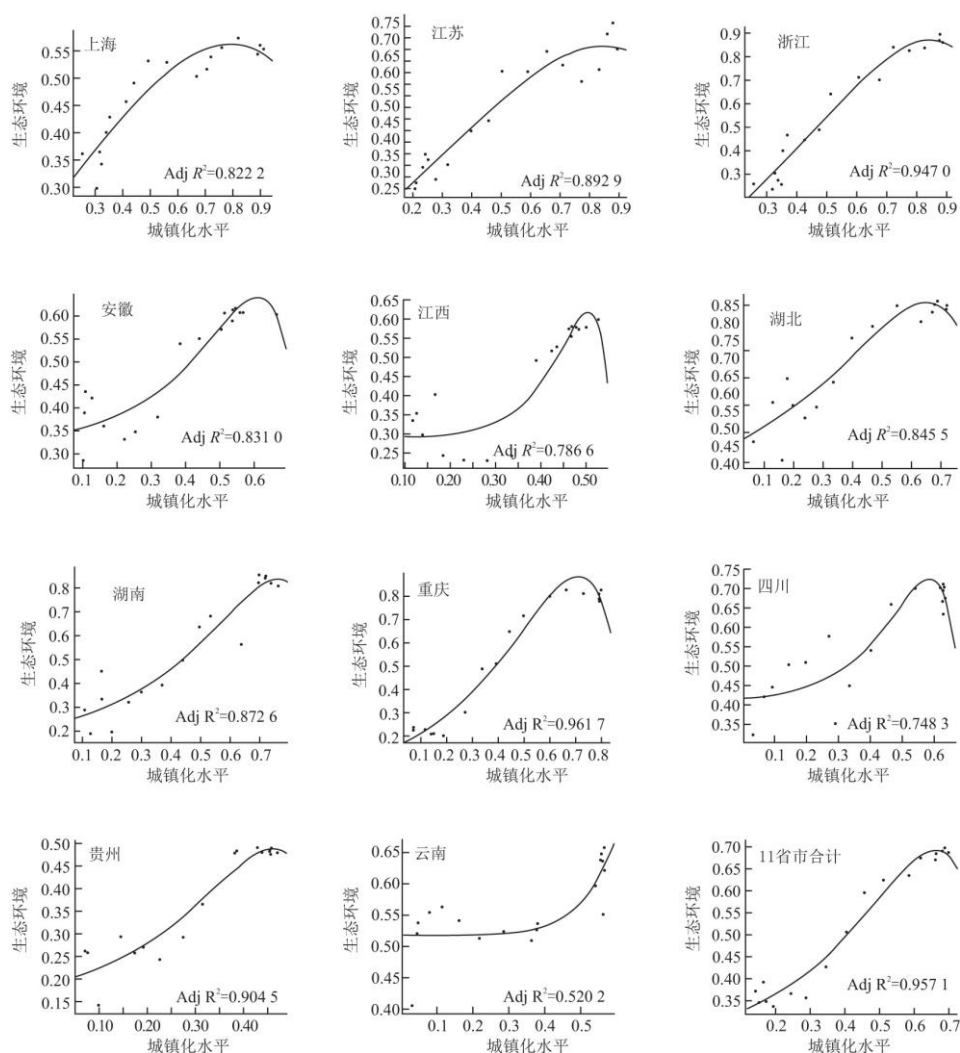


图5 长江经济带11省市城镇化系统与生态环境系统动态关系双指数曲线

结合拟合图 5 所示,长江经济带全流域及 11 省市城镇化与生态环境演变轨迹存在阶段性和空间发展不均衡性,具体表现为:经济发展速率较快的省市主要集中在长三角地区,当拐点出现时,其城镇化水平较高;经济欠发达的城市主要分布在长江中上游,其承受的生态环境压力较高;在拐点出现前,城镇化与生态环境的演进轨迹呈同向增长趋势,即城镇化水平提升,生态环境受影响程度增加;在拐点出现后,二者呈反向变动趋势,即城镇化水平提升、生态环境受影响程度降低。这一过程的演进,说明所求的双指数曲线方程和拟合图符合非线性曲线演变的轨迹,即城镇化发展对生态环境表现出明显的胁迫作用,而生态环境对城镇化发展也具有较强的约束作用^[6]。

4 结论与建议

长江经济带是我国最重要的经济廊道和绿色生态廊道,近年来,我国政府高度重视长江经济带沿线省市社会经济可持续发展和生态环境的保护工作,如何协调好该地区城镇化进程的推进与生态环境的有序利用也成为国家、地方和学界高度关注的热点问题。基于此,本文利用省级层面的数据测度了长江经济带 9 省 2 市 2000~2017 年城镇化与生态环境的耦合协调关系,在此基础上,通过对两子系统演变轨迹进行时空动态关系曲线拟合,验证了城镇化与生态环境交互胁迫的关系,研究结论表明:

(1)从时间维度上看,研究期内,长江经济带城镇化与生态环境耦合协调度呈持续上升态势,总体处于良好协调阶段。18 年间,区域整体上经历了由过渡发展类型向良好耦合协调发展类型的转化。在研究期初,长江经济带生态环境综合指数整体高于城镇化综合指数,在研究期末,二者差距已明显缩小,且出现城镇化指数超过生态环境发展指数的现象。

(2)从空间格局上看,长江经济带城镇化与生态环境耦合协调发展水平呈现“东北高、西南低”的衰减格局;三大区域的耦合协调度具有“下游地区>中游地区>上游地区”的反地势阶梯特征,且这一特征与经济发展格局相一致。

(3)基于系统论和非线性回归模型,证实长江经济带城镇化生态环境系统内部存在交互胁迫关系,二个子系统的演变轨迹符合双指数函数的运行规律。长江经济带沿江各省市城镇化发展与生态环境水平交互作用的耦合协调度均符合“S”型曲线变化;从拐点出现时长江经济带各省市生态环境恶化程度与演变速率来看,长江中上游地区出现生态环境恶化状况要早于经济发展水平较高的长江下游地区,即经济较发达地区城镇化水平较高,经济欠发达地区生态环境受恶化风险较大。

基于以上结论,提出如下针对性的政策建议:(1)加快推进人口、空间、社会、经济城镇化进程,缩小各子系统之间的差距。以人口城镇化为突破点,积极推进农业转移人口市民化,以提高城市承载力为支撑,协调好城镇发展与资源环境承载力的关系。以空间城镇化为考量,合理进行产业选择和布局,倡导以高生态效率的产业替代传统的低生态效率的产业和生产方式,加快经济发展方式转变。以社会城镇化和经济城镇化为重点,实施差别化的协调发展战略,明确上中下游产业分工,发挥沿江三大城市群的辐射带动作用,形成分工协作、协调发展、合作共赢的新格局,推动下游带动中上游的发展,缩小区域发展差距。(2)以绿色发展作为优先任务,加快改善长江经济带生态环境。一方面,要着力降低能源资源消耗和废弃物排放强度,努力构建资源高效利用、人与自然和谐相处的绿色城市。另一方面,需从国家层面进行立法保障,对长江全流域实施生态补偿机制;制定科学合理的城市规划,加大环境联防联控工作力度,确保城镇的发展与环境保护正向同步发展。

参考文献:

- [1]GROSSMAN G, KRUEGER A. Economic growth and the environment[J]. Quarterly Journal of Economics, 1995, 2(2):25-30.
- [2]FORRESTER J W. Urban Dynamics[M]. Cambridge, Mass: The MIT Press, 1971.
- [3]ODUM H T, ELISABETH C. Modeling for all scales: An introduction to system simulation [J]. San Diego: Academic Press, 2000. 772.

-
- [4] VESTER F, HESLER V A. Ecology and planning in metropolitan areas sensitivity model [M]. Berlin: Federal environmental agency, 1980.
- [5] 刘艳艳, 王少剑. 珠三角地区城市化与生态环境的交互胁迫关系及耦合协调度[J]. 人文地理, 2015, 3(143): 64-71.
- [6] 郑华伟, 刘友兆, 王希睿. 中国城镇化与土地集约利用关系的动态计量分析[J]. 长江流域资源与环境, 2011, 20(9): 1029-1034.
- [7] 唐志强, 曹瑾, 党婕. 水资源约束下西北干旱区生态环境与城市化的响应关系研究——以张掖市为例[J]. 干旱区地理, 2015, 37(3): 520-531.
- [8] 姚小微, 曾杰, 李旺君. 武汉城市圈城镇化与土地生态系统服务价值空间相关特征[J]. 农业工程学报, 2015, 31(9): 249-256.
- [9] 李为, 伍世代. 绿色化与城镇化动态耦合探析——以福建省为例 [J]. 福建师范大学学报(哲学社会科学版), 2016, 4(199): 1-8.
- [10] 马世骏, 王如松. 社会-经济-自然复合生态系统[J]. 生态学报, 1984, 4(1): 1-9.
- [11] 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[J]. 地理研究, 2003, 22(2): 211-220.
- [12] 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[J]. 生态学报, 2005, 25(11): 3003-3009.
- [13] 乔标, 方创琳, 黄金川. 干旱区城市化与生态环境交互耦合的规律性及其验证[J]. 生态学报, 2006, 26(7): 2183-2190.
- [14] 方创琳, 杨玉梅. 城市化与生态环境交互耦合系统的基本定律[J]. 干旱区地理, 2006, 29(1): 1-8.
- [15] 方创琳, 周成虎, 顾朝林, 等. 特大城市群地区城镇化与生态环境交互耦合效应解析的理论框架及技术路径[J]. 地理学报, 2016, 71(4): 531-550.
- [16] 孙平军, 修春亮, 张天娇. 熵变视角的吉林省城市化与生态环境的耦合关系判别[J]. 应用生态学报, 2014, 25(3): 875-882.
- [17] 孙平军. 1994-2011 年江苏省城市化与生态环境非协调性耦合关系的判别[J]. 长江流域资源与环境, 2014, 23(8): 1051-1056.
- [18] 刘耀彬, 宋学锋. 城市化与生态环境的耦合度及其预测模型研究[J]. 中国矿业大学学报, 2015, 34(1): 91-96.
- [19] 宋学锋, 刘耀彬. 基于 SD 的江苏省城市化与生态环境耦合发展情景分析[J]. 系统工程理论与实践, 2006(3): 124-130.
- [20] 刘耀彬, 陈斐, 李仁东. 区域城市化与生态环境耦合发展模拟及调控策略——以江苏省为例[J]. 地理研究, 2007, 26(1): 187-196.

-
- [21] 张乐勤, 张勇. 安徽省城镇化演进边际生态环境效应的测度与分析[J]. 水土保持通报, 2014, 34(4): 208-214.
- [22] 吕越, 陈忠清. 浙江省城市化与生态环境协调度及其胁迫关系探讨[J]. 地域研究与开发, 2017, 6(3): 160-164.
- [23] 路春燕, 卫海燕, 白俊燕. 基于 BP 神经网络的城市化发展生态环境压力响应研究——以延安市为例[J]. 干旱区资源与环境, 2012, 26(4): 61-66.
- [24] 孙黄平, 黄震方, 徐冬冬, 等. 泛长三角城市群城镇化与生态环境耦合的空间特征与驱动机制[J]. 经济地理, 2017, 37(2): 163-186.
- [25] 王少剑, 方创琳, 王洋. 京津冀地区城市化与生态环境交互耦合关系定量测度[J]. 生态学报, 2015, 35(7): 2244-2254.
- [26] 高乐华, 高强. 海洋生态经济系统交互胁迫关系验证及其协调度测算[J]. 资源科学, 2012, 34(1): 173-184.
- [27] 张雅杰, 刘辉智. 长江经济带城镇化与生态环境耦合协调关系的时空分析[J]. 水土保持通报, 2017, 37(6): 334-340.
- [28] 张宇, 曹卫东, 梁双波, 等. 长江经济带城镇化协同演化时空格局研究[J]. 长江流域资源与环境, 2016, 25(5): 715-724.
- [29] 郝国彩, 徐银良, 张晓萌, 等. 长江经济带城市绿色经济绩效的溢出效应及其分解[J]. 中国人口·资源与环境, 2018, 28(5): 75-83.
- [30] 王宾, 于法稳. 长江经济带城镇化与生态环境的耦合协调及时空格局研究[J]. 华东经济管理, 2019, 33(3): 58-63.
- [31] 江孝君, 杨青山, 耿清格, 等. 长江经济带生态—经济—社会系统协调发展时空分异及驱动机制[J]. 长江流域资源与环境, 2019, 28(3): 493-504.
- [32] 任亚文, 曹卫东, 张宇, 等. 长江经济带三大城市群城镇化与生态环境时空耦合特征[J]. 长江流域资源与环境, 2019, 28(11): 2586-2600.
- [33] 刘耀彬, 李仁东, 宋学锋. 中国城市化与生态环境耦合度分析[J]. 自然资源学报, 2005, 20(1): 105-112.
- [34] 马艳. 武汉市土地利用与生态环境协调度评价[J]. 统计与决策, 2015(6): 120-123.
- [35] 王振波, 梁龙武, 褚昕阳, 等. 青藏高原旅游经济与生态环境协调效应测度及交互胁迫关系验证[J]. 地球信息科学学报, 2019, 21(9): 1352-1366.
- [36] 李崇明, 丁烈云. 生态环境与社会协调发展评价模型及其应用研究[J]. 系统工程理论与实践, 2004, 24(11): 134-139.