

长江经济带城镇化与绿色化耦合协调的时空 演化特征及驱动因素¹

徐维祥 1, 2, 王敏吉 1 * , 郑金辉 1, 刘程军 3

(1. 浙江工业大学经济学院 , 浙江 杭州 310023; 2. 浙江工业大学现代化产业体系研究院 , 浙江 杭州 310023;
3. 浙江工业大学之江学院 , 浙江 绍兴 312030)

【摘 要】：基于城镇化以及绿色化内涵，构建城镇化与绿色化评价指标体系，使用耦合协调模型、探索性空间数据挖掘分析法刻画了 2005 ~ 2019 年长江经济带 108 个城市城镇化与绿色化耦合协调度的时空演化特征，并运用空间杜宾模型探究其驱动因素。结果表明：（1）长江经济带城镇化与绿色化耦合协调水平逐年增强，但绿色化滞后于城镇化，两者的协调发展水平较低，空间上呈现“东高西低”的空间分布特征；（2）长江经济带城镇化与绿色化耦合协调度呈现空间集聚态势，长江下游城市为热点区域，具有空间锁定特征，而冷点区域则发生空间迁移，最终形成“热点大、冷点小”的空间格局；（3）长江经济带城镇化与绿色化耦合协调度的影响因素按驱动力由大到小依次为经济发展水平、产业结构、教育投入、固定资产投资、政府管理、信息化程度，且各因素驱动性呈现空间异质特征。

【关键词】：城镇化； 绿色化； 耦合协调度； 空间杜宾模型； 长江经济带

【中图分类号】：F299. 27 **【文献标识码】**：A **【文章编号】**： 1004- 8227(2023) 08- 1561- 12

DOI: 10. 11870/cjlyzyyhj202308001

2015 年 3 月 24 日召开的中央政治局会议指出，必须在“新型工业化、城镇化、信息化、农业现代化”基础上，再加入“绿色化”，将其提高到与其他“四化”相同的战略高度，标志着“四化”同步向“五化”协同推进的战略转变。城镇化与绿色化的协调发展是实现“五化”协同的重要环节。传统发展道路下“冒进式”的快速城镇化、粗放型城镇化[1,2]，以资源高消耗、污染高排放、环境高投入为代价，引发人口拥挤、交通拥堵、环境污染等问题[3]。由此，2021 年 10 月 21 日，中共中央办公厅、国务院办公厅印发了《关于推动城乡建设绿色发展的意见》，进一步强调城乡建设是推动绿色发展、建设美丽中国的重要载体。绿色化是绿色发展的实践路径，意味着摒弃“高消耗、高污染、高投入”的传统城镇化模式，转向注重质量和效率的资源节约、环境友好的新型城镇化。探究当前城镇化与绿色化的协调发展时空格局的演变规律，分析背后的驱动机制，对助力城镇化绿色转型，绿色化融入城乡发展具有重要意义。

¹ 收稿日期： 2022- 10- 09; 修回日期： 2022- 11 - 16

基金项目： 国家社会科学基金重大项目(18ZDA045); 浙江省大学生科技创新活动计划暨新苗人才计划(2022R403B066)

作者简介： 徐维祥(1963 ~)，男，教授，主要研究方向为产业经济与城镇化 .E - mail : xwq02@163. com

* 通讯作者 E- mail : wmj - 1996@qq. com

关于城镇化与绿色化的研究主要集中在“五化”的协同发展，将城镇化与绿色化作为“五化”内部的重要构成进行研究。其中有定性考量的，以系统论的观点来审视“五化”协同，“五化”构成了一个完整且复杂的系统，子系统间的协同性无效会造成耦合不足等问题[4]。而更多学者是通过定量评估结合空间分析方法对“五化”协同展开研究[5,6,7]。近年来，随着研究方向的不断拓展，“五化”各子系统间协调发展情况逐渐引起重视。城镇化与绿色化作为“五化”协同的重要组成部分，其相关的研究正在逐渐增加。一是，研究城镇化对绿色化单向的作用关系：例如，城镇化对农业绿色生产效率[8]和城市土地绿色利用效率[9]具有显著正向影响，具有溢出效应和政策效果异质性。二是，探究城镇化与绿色化的耦合协调关系：定量研究表明全国各省市的耦合协调发展水平差距逐渐缩小，符合收敛趋势[10]；在定量评价的基础上，刻画其时空格局变化特征[11]，辨识出耦合协调的影响因素[12]，是进一步深化研究的方向。

总体而言，内容上，当前对城镇化与绿色化协调关系的研究大多仍停留在时空特征分析、单向影响上，两者协调发展背后驱动因素有待进一步探明；尺度上，选定全国及省级行政区域作为研究对象，区域层面及市级样本研究较少，无法展现更微观的格局演变。方法上，采用线性回归模型，忽略了地理背景的影响，无法准确反映客观现实。鉴于此，本文在城镇化与绿色化内涵的基础上，以2005~2019年长江经济带108个城市为研究样本，构建城镇化与绿色化综合评价指标体系，运用耦合协调模型测度两者的耦合协调度，在分析其时空演化特征的基础上，运用空间计量模型对长江经济带城镇化与绿色化耦合协调的驱动因素进行研究。以期为破解长江经济带城镇化、绿色化协调发展困局，优化长江经济带发展模式提供依据与参考。

1 指标体系与研究方法

1.1 城镇化与绿色化的内涵

1.1.1 城镇化内涵

城镇化涉及人口学、经济学、社会学、地理学等多学科，体现了人口、经济、社会、土地等多层次的演变过程[13]。归纳来讲，城镇化是二三产业向城镇集聚，从而农村人口向二三产业和城镇转移、农村地域向城镇地域转化、城镇数量增加和规模不断扩大、城镇景观城镇生产生活方式和城镇文明不断向农村传播扩散的历史过程[14]。城镇化的理念上发生了从“人口城镇化”到“人的城镇化”的转变，“人本性、协同性、包容性和可持续性”是其内涵[15]。而人口、经济、社会、土地等要素协调演进是解决传统城镇化突出问题的关键所在。

以往关于城镇化协调水平的研究已经较为丰富，且形成了一定的共识。人口城镇化是城镇化的核心，而土地城镇化则是城镇化的载体[16]，因此诸多学者基于人口与土地两个维度开展城镇化水平的研究[17,18,19,20]。在此基础上随着城镇化内涵的丰富，城镇化的指标体系也趋向更多维度。有学者扩展了第三个维度，构建“人口—土地—经济”城镇化水平指标体系[21]。其他学者均有不同方向的拓展，如樊鹏飞等在系统耦合视域下从“经济—土地—人口—生态”4个维度解构城镇化内部协调发展机理[22]；张筱娟等[23]构建“经济—土地—人口—社会”城镇化评价指标体系，分析研究了粤港澳城镇化耦合协调的时空分异特征及其影响因素。

1.1.2 绿色化内涵

学者们对绿色化水平的评价处于快速发展阶段。比较主流的是，包涵“绿色增长、绿色财富、绿色福利、绿色治理”4个维度的绿色化水平评价指标体系[24,25,26,27]；还有学者将“三生空间”与绿色化结合，从“绿色生态、绿色生活、绿色生产”3个层面构建长江中游城市群绿色化发展水平的测度指标体系[28]，并对其空间差异和影响因素展开了实证。史敦友等[29]则从工业绿色化作为切入点以“资源消耗、废物排放、工业转型”三方面构建评价指标体系，对其空间差异性进行测算与分解。

绿色化是绿色发展理念的实现途径，包涵“经济—社会—生态”等多维度发展模式的转变：在经济层面实现生产、产业的绿色化[30]；在社会层面实现生活、消费的绿色化[31]；在生态层面实现保护、治理的绿色化。绿色化目的在于减小经济社会发展对

生态环境的压力实现高效产出，倡导绿色健康生活模式和消费习惯，施行良好的环境治理措施，促进人与自然和谐统一。而绿色化的实现需要企业、居民、政府三个主体对绿色发展理念的践行。企业是绿色生产的执行者，是产业的组成单元，企业在绿色化进程中实现资源利用效率提高、污染排放减少等绿色转型；居民是绿色生活的参与者，是社会的有机构成，随着居民绿色发展理念的提高，奉行节俭，绿色出行、绿色消费等深入居民生活的方方面面；政府是绿色治理的决策者与监督者，一方面建立健全法律法规，倡导生产方式的绿色化转型与生活方式的绿色化转变，另一方面监督绿色化执行过程，使用“看得见的手”治理绿色化过程中市场失灵之处。

1.2 指标体系构建与数据来源

在选取 I 级指标上，根据城镇化与绿色化内涵，构建“人口城镇化、经济城镇化、社会城镇化、土地城镇化”4个维度的城镇化指标体系以及“绿色生产、绿色生活、绿色治理”3个层面的绿色化指标体系。

在选取 II 级指标上，检索上述相关研究的指标体系，通过对比分析提取出现频率高的，受认可度高的指标作为 II 级指标，并根据数据的科学性、可获得性剔除数据严重缺失的指标。此外，尽量采用人均、地均、万元 GDP 等指标，以消除不同城市在体量上的差距。

本文选取 2005~2019 年长江经济带 108 个地级以上城市的面板数据为样本，根据自然地理位置与行政区划将长江经济带划分为上、中、下游(图 1)，便于进一步显示区域间发展差异，分析其背后驱动因素的异质性。数据来源有《中国城市统计年鉴》《中国城市建设统计年鉴》、各省(市)统计年鉴等，个别数据如有缺失，则根据相邻年份数据采用插值法或外延法进行补齐。

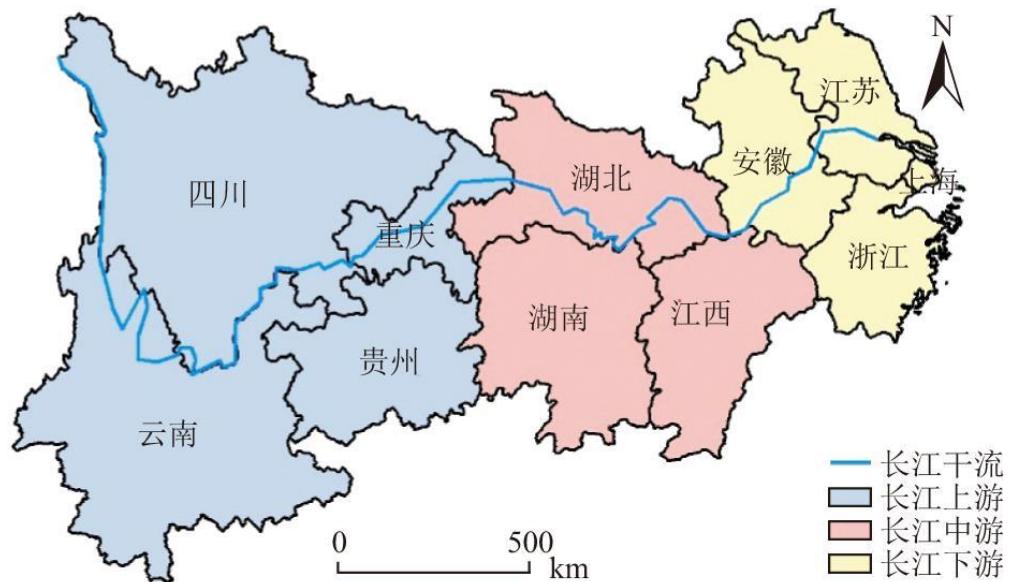


图 1 长江经济带区域划分

1.3 研究方法

本文先通过构建城镇化与绿色化评价指标体系，计算两者的综合水平及耦合协调度，然后归纳耦合协调度的空间异质特征，并采用探索性空间数据分析方法，进一步刻画城镇化与绿色化耦合协调度的时空演化特征，最后使用空间计量模型对两者耦合协调的驱动因素进行分析。

1.3.1 耦合协调度模型

城镇化与绿色化作为两个系统既存在一定的独立性，又能够相互影响，因而使用耦合协调度模型来测度两者交互作用关系。先通过熵值法分别计算城镇化与绿色化的综合水平，具体公式见文献[32]，再根据下列公式计算耦合协调度 D 来体现城镇化与绿色化相互协调发展的程度。

表 1 城镇化与绿色化的综合评价指标体系

系统层	I 级指标	II 级指标	单位	指标 属性
人口城镇化		市区人口占比	%	+/-
		市区人口密度	人/km ²	
		第三产业从业人员 比重	%	
经济城镇化		二、三产业产值占比 人均社会消费品零售额		
		售额	%	
		人均可支配收入	元/人	
城镇化		建成区经济密度		
		每万人医疗卫生机构床位数	元/人	
		每万人在校大学生数 居民人均储蓄	亿 元 / km ²	
社会城镇化		科学事业费支出 比重 恩格尔系数	张/万人	
			人	
			元/人	
土地城镇化			%	
		建成区占比 人均铺设道路面积	%	
		人均建设用地面积	m ² / 人 m ² / 万人	
绿色生产		每单位工业废水排放量产出	万元/t	
		每单位工业二氧化硫排放量产出	万元/t	
		每单位工业用电量 产出		
绿色化		每单位用水量产出	万元/kW · h	
		居民人均生活用电量	万元/t kW · h/人	+/-
		人均公园绿地面积 建成区绿地覆盖率 每万人公共汽车拥有量	m ² / 人	
绿色生活		每百人公共图书馆藏书	%	
		互联网普及度	辆/万人	
		年平均PM _{2.5} 指数 固体废弃物综合利用率为	册/百人	+/-
绿色治理		污水集中处理率 生活垃圾无害化处理率	户/人	+/-
		人均财政支出	ug/m ³	
			%	
			%	
			元/人	+/-
				+/-

注：建成区经济密度=(第二产业产值+第三产业产值)/建成区面积，互联网普及度=互联网用户数/地区总人口。

$$C = \left\{ \frac{U \times G}{\left(\frac{U+G}{2} \right)^2} \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

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

式中：U 为城镇化水平；G 为绿色化水平；C 为耦合度；T 为耦合协调发展水平指数； α 、 β 为待定系数，考虑到城镇化与绿色化处于同等重要地位，故取 $\alpha = \beta = 0.5$ ；D 为耦合协调度。学术界在耦合协调度划分上存在着许多分歧，目前还没有统一的标准，根据已有的研究成果[33]，结合实际结果，将耦合协调度分为 4 种类型：[0,0.3] 为濒临失调，(0.3,0.45] 为初级协调，(0.45,0.6] 为中级协调，(0.6,1] 为高级协调。

1.3.2 空间相关性

全局 Moran's I 指数反映研究区域内空间临近的研究单元某一属性值的空间自相关情况。Moran's I 大于 0 时，为空间正相关；Moran's I 小于 0 时，为空间负相关；Moran's I 为 0 时，空间分布呈随机性。计算公式为：

$$I = \frac{n}{S_0} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (4)$$

$$S_0 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij}$$

全局 Moran's I 指数只能解释研究区域要素的平均相似程度，而 Getis-Order G* 可以进一步测度要素高值或低值在空间的集聚情况，描绘城镇化与绿色化耦合协调度的热点和冷点区域的空间分布。计算公式为：

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n W_{ij} x_j - \bar{x} \sum_{j=1}^n W_{ij}}{S \sqrt{\frac{\left[n \sum_{j=1}^n W_{ij}^2 - \left(\sum_{j=1}^n W_{ij} \right)^2 \right]}{n-1}}} \quad (5)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n x_j^2}{n} - (\bar{x})^2} \quad (6)$$

式中：n 为观测值总数； x_i 、 x_j 分别是 i、j 地区的观测值； \bar{x} 是 x 的平均值； W_{ij} 为空间权重矩阵。

1.3.3 空间面板计量模型

假如各时间断面的城市单元城镇化与绿色化耦合协调度存在空间自相关性，考虑地理背景因素的空间面板计量模型相比一般面板数据模型能更准确地反映各解释变量对耦合协调度的影响。

整合时空间效应的空间杜宾模型的一般表达式为：

$$Y_{it} = \rho W Y_{it} + \beta X_{it} + \gamma W \bar{X}_{it} + \delta W \varepsilon_{it} + \mu_i + \lambda_t + \mu_{it} \quad (7)$$

式中： ρ 是被解释变量空间滞后项系数； i 表示城市； t 表示年份； Y_{it} 为被解释变量； X_{it} 为解释变量； β 表示解释变量的相关系数； W 是空间权重矩阵，本文采用邻接矩阵形式； \bar{X}_{it} 是一个可变的解释变量矩阵； γ 表示相邻区域的解释变量对被解释变量 Y 的边际影响； δ 表示误差项空间自相关系数； ε_{it} 表示空间自相关误差项； μ_i 表示空间固定效应； λ_t 表示时间固定效应； μ_{it} 为随机误差项。

2 城镇化与绿色化耦合协调的时空格局演化

2.1 城镇化与绿色化耦合协调度的时序变化

根据耦合协调度的计算方法，测度了 2005~2019 年长江经济带城镇化水平、绿色化水平以及城镇化与绿色化耦合协调度(图 2)。(1)从城镇化子系统来看，长江经济带的城镇化水平呈现稳步上升趋势。从 2005 年的 0.106 9 上升至 2019 年的 0.246 5，年均增长为 0.009 5，这说明城镇化进程持续推进，但城镇化水平仍处于较低水平，城镇化发展的质量有待提高。(2)从绿色化子系统来看，长江经济带的绿色化水平呈先缓后快的持续上升趋势。从 2005 年的 0.047 5 至 2015 年的 0.088 0 再到 2019 年的 0.140 3，年平均增长分别为 0.004 5, 0.013 1，长江经济带绿色化水平相比城镇化水平，长期处于低水平阶段，始终相对滞后，但近年绿色化水平快速提高，表明各研究区域在发展经济的同时，绿色发展理念逐渐增强，绿色化程度逐渐提高。(3)从耦合协调度来看，长江经济带城镇化与绿色化的耦合协调度呈稳定增长的趋势。耦合协调度 2005 年为 0.266 9, 2019 年为 0.431 2，年平均增长 0.011 7。总体而言，在城镇化推进与绿色化程度提高下，两者交互耦合协调水平持续提高，从而耦合协调度稳步上升，但仍处于较低协调水平。

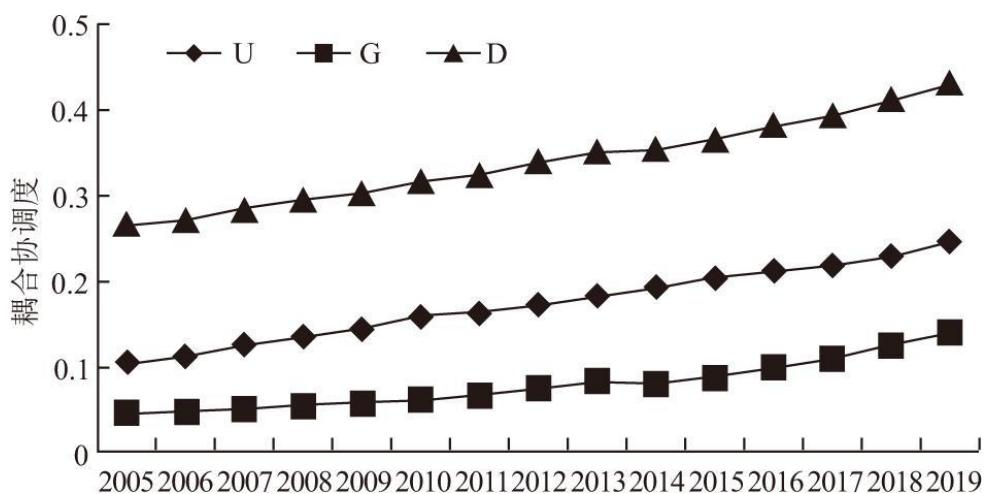


图 2 城镇化与绿色化耦合协调度变化

2.2 城镇化与绿色化耦合协调度的空间格局

运用 ArcGIS 10.2 软件对长江经济带各地级及以上城市 2005、2010、2015 以及 2019 年的城镇化与绿色化耦合协调度进行可视化表达(图 3),以便更为清晰地了解两者协调发展的空间格局演变。

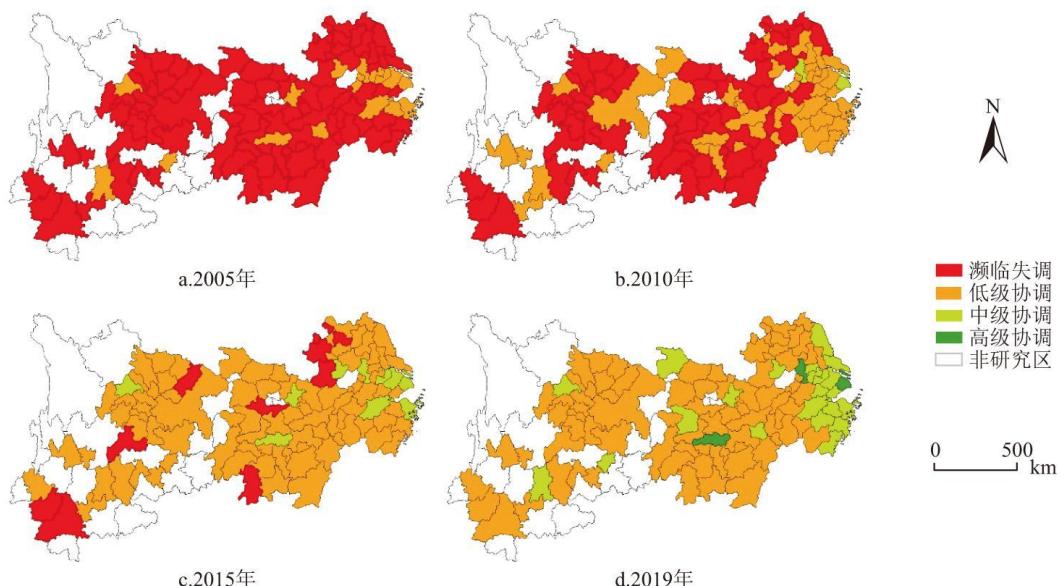


图 3 城镇化与绿色化耦合协调度空间分异格局

整体上,长江经济带地级及以上城市的城镇化与绿色化耦合协调水平处于较低层次,耦合协调度呈现逐年上升趋势。耦合协调高水平地区与低水平地区的差距逐渐加大,呈现下游地区>中上游地区的空间分异格局,下游长三角地区为“组团型”高值集聚特征,而中上游高值区域则为“零星型”分布。2005 年长江经济带大部分地级及以上城市处于濒临失调状态,初级协调的城市包含上海,江苏南部城市,浙江东北部城市,以及各省会城市,如合肥、南昌、武汉等。2010 年,长江经济带整体的耦合协调水平有所提高,上海、南京率先达到中级耦合协调水平,长江下游江苏省、浙江省的大部分城市耦合协调水平由濒临失调型转为低级协调型,其他省份部分城市的耦合协调度达到低级协调水平,中上游大部分城市仍处于濒临失调水平。2015 年长江经济带整体的耦合协调水平进一步提高,绝大部分城市达到低级协调水平,上海、各省会城市及部分发达地区城市达到中级协调水平,部分中上游城市仍处于濒临失调水平。2019 年全部城市处于低级协调水平以上,上海、南京、长沙率先达到高级协调水平,江苏省、浙江省的大部分城市位于中级协调水平,其余省会城市及部分城市达到中级协调水平。总体而言,长江经济带下游城市以及各省会城市城镇化与绿色化的耦合协调度相对较高,而部分中上游城市耦合协调度相对较低。分析其原因,前者有较为发达的经济基础,资源利用效率较高,产业结构较为完善,产业转型升级使“环境不友好型”的产业转为“环境友好型”产业;后者由于城镇无序扩张,资源开发利用方式较为粗放,产业结构较为单一,接续替代产业支撑不足,产业转型升级压力大等原因,生态环境受到的影响和破坏较为严重。

2.3 城镇化与绿色化耦合协调度的空间相关性分析

2.3.1 全局空间自相关分析

首先测算 2005~2019 年城镇化与绿色化耦合协调度的全局 Moran's I。结果显示(表 2),不同年份耦合协调度的全局 Moran's I 均为正值,且 P 值均在 1% 的水平上通过正态分布检验。2005~2010 年耦合协调度的空间自相关性逐渐增强,中间阶段波动

变化，2013年后逐年回落，全局 Moran's I 呈现“M”型变化趋势。城镇化与绿色化耦合协调度在空间分布上具有显著的正相关性，相似的观测值（高值或低值）趋于空间集聚，表明某一城市的城镇化与绿色化的耦合协调发展不仅会影响邻近城市，也会被邻近城市所影响。

表 2 城镇化与绿色化耦合协调度的 Moran's I 指数

年份	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Moran's I	0.336 0***	0.358 8***	0.366 9***	0.388 0***	0.395 5***	0.399 3***	0.384 9***	0.332 5***
z 值	4.952 8	5.289 1	5.396 8	5.699 3	5.811 1	5.846 7	5.636 7	4.909 1
年份	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	
Moran's I	0.392 5***	0.367 0***	0.361 5***	0.357 5***	0.323 8***	0.289 9***	0.283 8***	
z 值	5.749 1	5.406 1	5.305 0	5.253 1	4.787 1	4.311 7	4.225 3	

注：*表示在 10% 水平下显著，**表示在 5% 水平下显著，***表示在 1% 水平下显著。

2.3.2 空间冷热点分析

全局 Moran's I 指数主要用于验证城镇化与绿色化耦合协调度在空间上的整体平均集聚水平，难以刻画其局部空间异质性特征。因此，本文还进一步测算得到了 2005、2010、2015、2019 年的长江经济带各城市的 Getis-Order G*i 指数，并按照自然断点法(Jenks)由高到低划分为为热点区域、次热点区域、随机分布区、次冷点区域和冷点区域，并绘制空间冷热点分布图(图 4)。

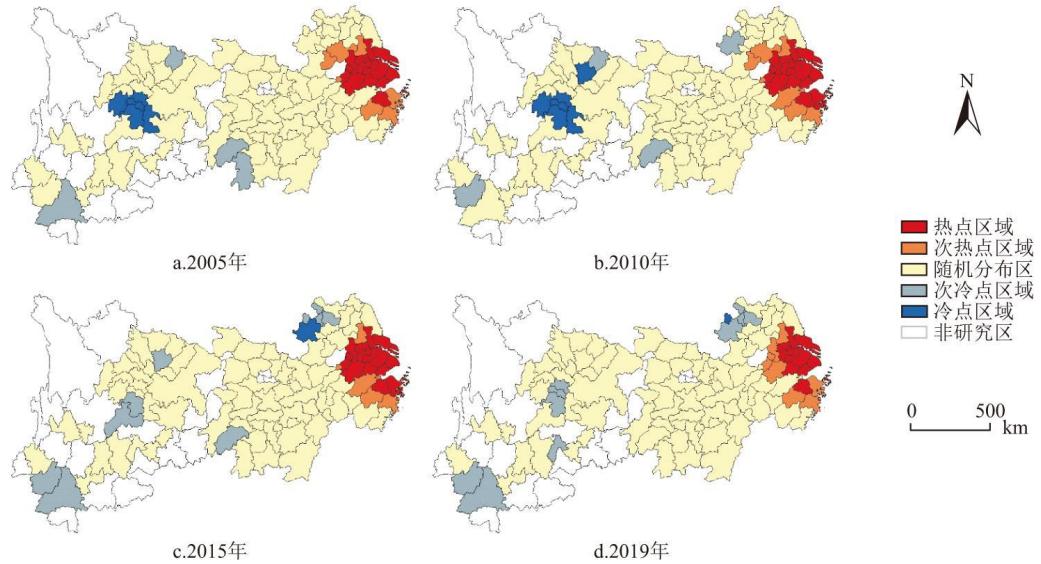


图 4 城镇化与绿色化耦合协调度空间冷热点分布

由图 4 可知，2005~2019 年长江经济带城镇化与绿色化耦合协调度呈现热点区域“锁定”而冷点区域“迁移”的空间格局演变。热点区域主要集中在长江下游三角洲城市，如上海、苏州、嘉兴等城市，冷点区域主要集中在上游自贡、宜宾、内江、泸州、乐山等城市及下游亳州、阜阳等城市。2005 年，长江经济带热点区域、次热点区域、次冷点区域、冷点区域的城市数量比例(下同)为 15：7：4：5,热点区域集中在长江三角洲较发达城市，这些研究单元的城镇化与绿色化耦合协调水平较高，且形成了高值集聚区；冷点区域有 5 个单元，主要分布在自贡、内江、乐山等四川城市，形成了低值集聚区。2010 年，四种区域比例为 16：7：4：6,宁波由次热点区域上升到热点区域，杭州由随机分布区上升到次热点区域，永州、普洱由次冷点区域上升为随机分布区，而阜阳、临沧由随机分布区下降为次冷点区域，南充下降到冷点区域。2015 年，4 种区域比例为 16：5：9：1,泸州、自贡、内江、乐山由冷点区域上升至随机分布区，宜宾、南充由冷点区域上升至次冷点区域，巴中由次冷点区域上升至随机分布区，合肥、滁州由次热点区域下降至随机分布区，亳州、宿州、淮北、普洱、昭通由随机分布区下降为次冷点区域，阜阳由次冷点区域下降至冷点区域。2019 年，四种区域比例为 11：8：9：1,热点区域趋于收缩，南京、宁波、宣城、马鞍山、芜湖由热点区域下降为次热点区域，杭州、铜陵由次热点区域下降为随机分布区，南充、邵阳、昭通由次冷点区域上升至随机分布区、阜阳由冷点区域上升为次冷点区域，自贡、内江、六盘水由随机分布区下降为次冷点区域，亳州由次冷点区域下降为冷点区域，最终形成“热点大、冷点小”的空间分布格局。

3 实证分析

3.1 驱动因素选择

经济发展水平是城镇化与绿色化协调发展的基础，随着经济发展水平的不断提高，城市单元实现了经济增长模式由粗放型向集约型的绿色化转型，同时推动了城镇化进程，从而城市经济实力增长有助于促进城镇化与绿色化耦合协调发展，使用人均 GDP 表示。教育投入在提高人口素质的同时，促进了技术的进步，有助于提高公众环保意识、积累人力资本、缩小城乡差距、推动绿色创新，使用人均一般财政教育费用支出表示。对信息资源的广泛使用与深度开发，能够提高生产、经营、管理、决策的效率与水平，实现绿色化的生产、生活、治理，选用邮电业务指数表示信息化程度。固定资产投资与城镇化关联紧密，固定资产投资能够增加城市基础设施，完善城市功能区布局，从而推动城镇化与绿色化耦合协调水平的提高，选择人均固定资产投资表示。产业结构是否合理直接关系到城市经济能否长期持续健康稳定的发展，城市单元在工业化的过程中，伴随工业企业的规模扩张和生产力水平的提高，城镇化与绿色化耦合协调水平也随之提高，使用二三产业产值之比表示。城镇化需要政府长期执行和规划的重要政策发展指向，绿色化更是需要政府进行积极的政策导向和制度设计，因此地方政府的管理能力具有重要影

响,选择地方财政支出占 GDP 的比重来表示。综上所述,考虑长江经济带城镇化与绿色化耦合协调状况,选择经济发展水平、教育投入、信息化程度、固定资产投资、产业结构、政府管理为驱动因素(表 3)。各面板数据进行均值化处理以消除量纲的影响,以保留各指标的差异性,便于分析比较各驱动因素的强弱程度。

表 3 耦合协调度的驱动因素 导出到 EXCEL

变量类型	变量名称	变量符号	变量说明	单位
被解释变量	耦合协调度	D	耦合协调模型计算结果	无量纲
解释变量	经济发展水平	pgdp	人均 GDP	元/人
	教育投入	education	人均财政教育费用支出	元/人
	信息化程度	informatization	邮电业务指数	元/人
	固定资产投资	investment	人均固定资产投资	元/人
	产业结构	industry	第二产业产值/第三产业产值	无量纲
	政府管理	government	财政支出占 GDP 比重	%

注: 邮电业务指数=(地区邮政业务收入+地区电信业务收入)/地区总人口.

3.2 回归结果检验

基于城镇化与绿色化耦合协调度空间自相关检验结果,城镇化与绿色化耦合协调度具有显著的空间依赖性,应考虑空间因素的影响,故选择空间计量模型进行驱动因素分析。通常使用的空间计量模型有空间滞后模型(SLM)、空间误差模型(SEM)、空间杜宾模型(SDM)。根据检验结果(表 4),对长江经济带整体和局部的检验值均在 1% 的水平上显著,通过了 LR 检验与 Wald 检验,说明空间杜宾模型更具有解释力。而且回归结果通过 Hausman 检验,表明固定效应模型优于随机效应模型。

表4 空间计量模型检验结果

检验类型	整体	上游	中游	下游
LR Test for SLM	77.53*** (0.000 0)	41.78*** (0.000 0)	50.97*** (0.000 0)	60.10*** (0.000 0)
LR Test for SEM	45.06*** (0.000 0)	41.29*** (0.000 0)	46.50*** (0.000 0)	47.71*** (0.000 0)
Wald Test for SLM	80.01*** (0.000 0)	43.71*** (0.000 0)	53.56*** (0.000 0)	63.54*** (0.000 0)
Wald Test for SEM	44.89*** (0.000 0)	42.84*** (0.000 0)	48.47*** (0.000 0)	46.80*** (0.000 0)

Hausman Test	174.05*** (0.000 0)	125.31*** (0.000 0)	34.45*** (0.001 0)	151.70*** (0.000 0)

注：*表示在 10% 水平下显著，**表示在 5% 水平下显著，***表示在 1% 水平下显著，括号内为 P 值。

3.3 回归结果分析

由表 5 可知，长江经济带城镇化与绿色化耦合协调度的空间滞后项系数 ρ 为 0.236 7，证实了耦合协调度存在空间溢出效应，一个城市耦合协调度的提高会带动相邻城市的耦合协调度的提高，从而形成良性互动，共同推动区域协调发展。此外，对研究样本进行分解发现各因素驱动作用具有明显的空间异质性。

表 5 空间杜宾模型的估计结果

解释变量	全部	上游	中游	下游
<i>Pgdp</i>	0.058 0 *** (8.633 1)	0.129 2 *** (8.025 2)	0.094 3 *** (4.434 7)	0.021 6 *** (2.888 4)
<i>education</i>	0.035 8 *** (5.601 5)	-0.000 4 (-0.021 8)	0.019 1 (0.993 8)	0.032 7 *** (5.085 8)
<i>informatization</i>	0.004 3 ** (2.146 2)	0.000 2 (0.050 7)	-0.007 7 * (-1.670 1)	0.014 2 *** (5.948 6)
<i>investment</i>	0.014 8 *** (5.144 5)	-0.018 0 * (-1.726 5)	-0.014 8 (-1.324 5)	0.023 8 *** (8.794 6)
<i>industry</i>	0.037 1 *** (5.337 0)	0.019 6 * (1.912 0)	0.034 1 ** (2.104 0)	0.059 3 *** (5.777 4)
<i>government</i>	0.012 2 *** (3.032 7)	0.004 3 (0.639 8)	0.014 7 (0.595 6)	0.021 3 *** (5.113 8)
<i>Wpg"</i>	0.001 4 (0.135 3)	0.067 0 *** (2.669 6)	-0.033 1 (-0.821 6)	-0.002 3 (-0.184 3)
<i>education</i>	-0.034 6 *** (-3.514 8)	-0.101 2 *** (-4.259 7)	-0.145 0 *** (-4.485 1)	0.019 8 * (1.778 2)
^^ <i>informatization</i>	-0.002 9	0.006 7	-0.012 8	-0.015 7 ***

	(-0.686 0)	(0.963 1)	(-0.873 2)	(-3.228 1)
w	-0.028 8***	-0.016 4	0.037 5*	-0.018 7***
investment	(-4.414 1)	(-1.030 3)	(1.822 3)	(-2.687 1)
w_J	-0.029 9***	0.008 6	0.027 8	-0.082 5***
industry	(-2.966 4)	(0.562 7)	(0.958 2)	(-5.126 4)
w	-0.017 2**	-0.008 1	0.078 7	-0.020 7**
government	(-2.024 3)	(-0.601 3)	(1.432 9)	(-2.085 5)
P	0.236 7***	-0.030 5	0.126 9**	0.214 9***
a ^l	(7.569 9)	(-0.544 7)	(2.151 5)	(3.735 7)
	0.001 5***	0.001 2***	0.001 7***	0.001 0***
	(28.280 9)	(15.245 1)	(16.407 2)	(17.441 6)
R ²	0.629 3	0.012 8	0.113 4	0.881 5
log-likelihood	2 942.888 1	898.050 2	955.947 4	1 246.155 0
Spatial FE	YES	YES	YES	YES
Time FE	YES	YES	YES	YES
观测值	1 620	465	540	615
城市个数	108	31	36	41

注：*表示在 10% 水平下显著，**表示在 5% 水平下显著，***表示在 1% 水平下显著，括号内为 t 值。

经济发展水平是首要驱动力，空间上沿长江上中下游呈“阶梯式”依次递减。整体上，经济发展水平的回归系数为 0.058 0，驱动作用最强；分区域而言，长江上游、中游、下游地区的回归系数分别为依次递减，而经济水平下游地区最好，中游地区其次，上游地区较差，呈现经济发展对城镇化与绿色化耦合协调驱动作用的边际效应随地区经济水平提高而递减的趋势。

教育投入是重要驱动力，下游地区教育投入驱动作用显著。长江下游地区的教育投入对城镇化与绿色化的耦合协调具有显著的驱动作用，中游地区则不显著，而上游地区未显示相关性。究其原因，中上游地区的人才流失问题扮演着重要角色，上游城市的教育投入无法有效地转换为当地的人力资本，加大了在科技创新、产业升级方面与下游发达地区的差距。

信息化程度整体驱动作用最弱，空间异质性明显。其在长江下游地区具有显著的驱动作用，在长江中游地区具有显著的抑制作用。长江经济带下游城市数字化程度较高，深度步入信息革命的浪潮，发掘信息技术红利，反观长江经济带中上游的信息化程度不足，难以满足日新月异的城镇化与绿色化步伐，亟待完成数字化城市转型。

固定资产投资是耦合协调的“催化剂”也是“阻滞剂”。长江下游的固定资产投资起到良好的促进作用，而长江中上游地区的固定资产投资效率较低，存在过度投资的现象，城市基本建设水平良莠不齐，因而对城镇化与绿色化的耦合协调起到抑制作用。

产业结构对城镇化与绿色化耦合协调的驱动作用呈现空间上逐级递增的态势。长江下游地区产业转型升级持续进行，推动战略性新兴产业规模化，发展节能环保绿色产业，具有强大的驱动力。而长江上游、中游地区的具有人力成本、资源成本较低的比较优势，在承接东部沿海的产业转移的同时，吸收了农村的剩余劳动力，使其转变为城镇人口，有力地推动城镇化进程。

政府管理对于城镇化与绿色化耦合协调的提高有着起到正向作用，仍有上升空间。在长江经济带城镇化进程中，发挥政府的宏观调控在资源配置中的关键作用，对于缩小城乡发展差距，减少资源浪费，促进长江流域各地级市协调发展具有重要意义。

4 结论与讨论

为探究长江经济带城镇化与绿色化之间耦合协调的时空格局演变特征及驱动机制，对长江经济带 108 个城市 2005~2019 年的城镇化与绿色化耦合协调水平进行了定量测度，描绘了其动态演化特征，并使用空间杜宾模型进行了驱动因素的分析。结果如下：

(1) 在时间趋势上，长江经济带城镇化水平、绿色化水平以及两者的耦合协调度均呈现持续上升趋势，但仍处于较低水平，绿色化发展长期滞后于城镇化进程。在空间格局上，长江经济带城镇化与绿色化耦合协调度呈现一定程度“东高西低”的特征，下游发达地区城市及中上游各省会城市为耦合协调度的高值区域，中上游其他城市为耦合协调度的低值区域。

(2) 长江经济带城镇化与绿色化耦合协调度的 Moran's I 指数变化呈现“M”型趋势，存在空间集聚特征。进一步挖掘发现，城镇化与绿色化耦合协调的热点区域主要集中在下游三角洲上海、苏州、嘉兴等城市，高值集聚区域具有空间“锁定”特征，而冷点区域先集中在上游自贡、宜宾、内江等城市，随后由西向东的“迁移”至下游亳州、阜阳等城市，最终形成“热点大、冷点小”空间分布格局。

(3) 各因素对长江经济带城镇化与绿色化耦合协调水平的驱动程度具有横向差异与空间异质性。产业结构与经济发展水平对上中下游地区的正向驱动作用呈现为反向的“阶梯式”增减变化；教育投入、政府管理对长江下游的城镇化与绿色化耦合协调水平具有更显著的驱动作用；固定资产投资对下游地区的城镇化与绿色化耦合协调为驱动作用而对中上游地区则为阻滞作用，信息化程度具有类似的驱动与抑制的双重作用，但程度较弱。

综上所述，为推进城镇化与绿色化协调发展，本研究得出下述政策建议：

(1) 同步提高城镇化与绿色化协调发展水平。一方面，要健全生态环境协同保护机制，建设生态补偿制度，提高资源利用效率，淘汰落后产业，避免污染企业“逆流而上”。另一方面，合理规划城市空间布局，促进人口市民化转变，推动城镇化进程，改变城镇化无序扩张与“先污染后治理”的传统发展模式。

(2) 缩小城镇化与绿色化协调发展地域差距。发展差距既包涵上中下游的区域不平衡，也有“中心—外围”的城市不平衡。针对前者，应以下游地区的资金、技术、人才优势支持中上游地区，助力发挥后者自然禀赋、生态资源优势，发展地方特色农业、特色旅游等生态服务型产业，产出具有比较优势的地区生态产品。应对后者，则以长三角城市群、长江中游城市群、成渝城市群为核心，辐射带动周边城市发展，推进城市群建设一体化发展，破除行政区划壁垒与地方保护，最终实现“中心—外围”的协同共生。

(3) 制定因地制宜的协调发展策略。做好顶层设计推进长江经济带整体协调发展的同时，以差异化驱动力为支撑，突出各城市的发展优势与建设重点。首先，中上游存在教育供给不足、教育能力和教育实力较低的问题，需要深化其人力资本，使其劳动力资源红利得到释放，向研发、技术实力转换，向产学研一体化方向进发。其次，中上游还有产业结构层次较低、绿色创新能力较差等问题，这导致了较高的污染排放，因此中上游产业结构亟待转型，需要增强创新产业、信息产业的发展，在生产的各个环节嵌入绿色生产，加大生态公共产品供给的优化力度和生态环境的治理力度。最后，下游地区作为耦合协调的增长极，需要进一步加快其创新驱动的步伐，通过技术创新、产业创新、制度创新和人居环境创新发展绿色创新型城市。

本文从时序演进、空间演化和地理关联性多维度描述了长江经济带城镇化与绿色化耦合协调关系及其动态演变特征，并揭示了城镇化与绿色化耦合协调空间依赖性，有助于全面理解长江经济带当前城镇化与绿色化的耦合协调水平以及存在的问题。

基于地理学的空间相关性与物理学的耦合协调模型，结合经济学的空间计量模型为城镇化与绿色化的研究提供新的参考。但仍存在不足之处：(1)城镇化与绿色化的耦合协调作为整体考量，两者内部各要素间交互作用机理仍有待进一步揭示；(2)指标体系有待进一步优化，研究尺度仍可拓展至县域乃至更微观层面。未来研究可在这些方面加深探讨和进一步完善。

参考文献：

- [1] 魏后凯, 张 燕. 全面推进中国城镇化绿色转型的思路与举措 [J]. 经济纵横, 2011(9): 15- 19.WEI H K , ZHANG Y. Thoughts and measures to comprehensively promote the green transformation of urbanization in China [J] . Economic Review , 2011(9) : 15- 19.
- [2] CAO Y , KONG L , ZHANG L , et al. The balance between economic development and ecosystem service value in the process of land urbanization: A case study of Chinas land urbanization from 2000 to 2015 [J] . Land Use Policy , 2021 , 108 : 105536.
- [3] 杨传开, 李 陈. 新型城镇化背景下的城市病治理 [J]. 经济体制改革, 2014(3): 48-52.YANG C K , LI C. Treatment of urban diseases under the background of new urbanization [J] . Reform of Economic System , 2014(3) : 48-52.
- [4] 郑尚植. 习近平“五化协同”的内在逻辑与系统论解析 [J]. 财经问题研究, 2016(9): 8-9.ZHENG S Z. Analysis of the internal logic and system theory of ZHENG S Z. Analysis of the internal logic and system theory of search on Financial and Economic Issues , 2016(9) : 8-9
- [5] 马 艳. 区域“五化同步”发展水平测度与影响因素分析—以湖北省为分析样本 [J]. 湖北社会科学 , 2016(12) : 60-67.MA Y. Measurement of regional development level of “synchronization of five modernizations ” and analysis of influencing factors: Taking Hubei Province as an analysis sample [J] . Hubei Social Sciences , 2016(12) : 60-67.
- [6] 白 雪, 宋玉祥, 浩飞龙. 东北地区“五化”协调发展的格局演变及影响机制 [J]. 地理研究, 2018 , 37(1): 67-80.BAI X , SONG Y X , HAO F L. Pattern evolution and influencing mechanism of coordination development of “ Five Modernizations ” in Northeast China [J] . Geographical Research , 2018 , 37(1) : 67- 80.
- [7] 江孝君, 杨青山, 刘 鉴. 中国地级以上城市“五化”协调发展时空格局及影响因素 [J]. 地理科学进展, 2017 , 36(7) : 806- 819.JIANG X J , YANG Q S , LIU J. Spatiotemporal patterns and influencing factors of the “ Five Modernizations ” coordinated development of prefecture level and above cities in China [J] . Progress in Geography , 2017 , 36(7) : 806- 819.
- [8] 陈 哲, 李晓静, 夏显力, 等. 城镇化发展对农业绿色生产效率的影响 [J]. 统计与决策, 2021 , 37(12): 99- 102. CHEN Z , LI X J , XIA X L , et al. Influence of urbanization development on agricultural green production efficiency [J] . Statistics & Decision, 2021 , 37(12) : 99-102.
- [9] 张东玲, 王艳霞, 刘 敏. 新型城镇化对城市土地绿色利用效率的政策驱动效应—基于 280 个地级市的实证检验 [J]. 城市问题, 2022(4) : 45-54.ZHANG D L , WANG Y X , LIU M. The policy- driven effect of new urbanization on the efficiency of green use of urban land :Based on the empirical test of 280 prefecture- level cities [J] . Urban Problems , 2022(4) : 45-54.
- [10] 王晓斌. 新型城镇化与绿色经济耦合协调发展水平测度 [J]. 商业经济研究, 2018(16): 182- 184.

WANG X B. Measurement of the coupling coordinated development level of new urbanization and green economy [J]. Journal of Commercial Economics , 2018(16) : 182- 184.

[11] 邵海琴, 吴 卫, 王兆峰. 长江经济带旅游资源绿色利用效率与新型城镇化的时空耦合协调 [J]. 经济地理, 2021 , 41(8) : 204-213.SHAO H Q , WU W , WANG Z F. Temporal and spatial coupling coordination of green utilization efficiency of tourism resources and new urbanization in the Yangtze River economic belt [J]. Economic Geography , 2021 , 41(8) : 204-213.

[12] 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) : 1 - 8 , 166.LI W , WU S D. Research on dynamic coupling of greening and urbanization in Fujian province [J]. Journal of Fujian Normal University (Philosophy and Social Sciences Edition) , 2016 (4) : 1 - 8 , 166.

[13] CHEN M , LIU W , LU D , et al. Progress of China' s new-type urbanization construction since 2014 : A preliminary assessment [J]. Cities , 2018 , 78 : 180- 193.

[14] 任 远. 城镇化的升级和新型城镇化 [J]. 城市规划学刊, 2016(2) : 66-71 .REN Y. The upgrading of urbanization and China ' s new urbanization [J]. Urban Planning Forum , 2016(2) : 66-71 .

[15] 陈明星, 叶 超, 陆大道, 等. 中国特色新型城镇化理论内涵的认知与建构 [J]. 地理学报, 2019 , 74(4) : 633-647.CHEN M X , YE C , LU D D , et al. Cognition and construction of the theoretical connotation for new-type urbanization with Chinese characteristics [J]. Acta Geographica Sinica , 2019 , 74 (4) : 633-647.

[16] 陈凤桂, 张虹鸥, 吴旗韬, 等. 我国人口城镇化与土地城镇化协调发展研究 [J]. 人文地理, 2010 , 25(5) : 53-58.CHEN F G , ZHANG H O , WU Q T , et al. A study on coordinate development between population urbanization and land urbanization in China [J]. Human Geography , 2010 , 25 (5) :53-58.

[17] 薛德升, 曾献君. 中国人口城镇化质量评价及省际差异分析 [J]. 地理学报, 2016 , 71(2) : 194-204.XUE D S , ZENG X J. Evaluation of China ' s urbanization quality and analysis of its spatial pattern transformation based on the modern life index [J]. Acta Geographical Sinica , 2016 , 71 (2) : 194-204.

[18] 张立新, 朱道林, 杜 挺, 等. 长江经济带土地城镇化时空格局及其驱动力研究 [J]. 长江流域资源与环境, 2017 , 26(9) : 1295- 1303.ZHANG L X , ZHU D L , DU T , et al. Spatio-temporal pattern evolvement and driving factors of land urbanization in Yangtze River economic belt [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin , 2017 , 26(9) : 1295- 1303.

[19] 李子联. 人口城镇化滞后于土地城镇化之谜—来自中国省际面板数据的解释 [J]. 中国人口 · 资源与环境, 2013 , 23(11) : 94- 101 .LI Z L. A study on the causes of population urbanization lagging behind land urbanization [J]. China Population , Resources and Environment , 2013 , 23(11) : 94- 101 .

[20] 吴一凡, 刘彦随, 李裕瑞. 中国人口与土地城镇化时空耦合特征及驱动机制 [J]. 地理学报, 2018 , 73 (10): 1865-1879.WU Y F , LIU Y S , LI Y R. Spatio-temporal coupling of demographic landscape urbanization and its driving forces in China [J]. Acta Geographica Sinica , 2018 , 73(10) : 1865- 1879.

[21] 刘法威, 许恒周, 王 媚. 人口—土地—经济城镇化的时空耦合协调性分析—基于中国省际面板数据的实证研究

[J]. 城市发展研究, 2014, 21(8): 7-11. LIU F W, XU H Z, WANG S. Analysis on spatial-temporal coupling coordinate degree among population, land and economy urbanization: Based on China provincial panel data [J]. Urban Development Studies, 2014, 21(8): 7-11

[22] 樊鹏飞, 梁流涛, 李炎培, 等. 基于系统耦合视角的京津冀城镇化协调发展评价 [J]. 资源科学, 2016, 38(12): 2361-2374. FAN P F, LIANG L T, LI Y P, et al. Evaluation of coordinated development of urbanization from the perspective of system coupling in the Beijing-Tianjin-Hebei Region [J]. Resources Science, 2016, 38(12): 2361-2374.

[23] 张筱娟, 徐维祥, 刘程军. 粤港澳“经济—土地—人口—社会”城镇化耦合协调时空分异及其影响机制研究 [J]. 经济问题探索, 2019(10): 54-64. ZHANG X J, XU W X, LIU C J. Spatiotemporal disparity of coupling coordination of economic-land-population-society urbanization in Guangdong-Hong Kong-Macao region and its influencing factors [J]. Inquiry into Economic Issues, 2019(10): 54-64.

[24] 刘凯, 任建兰, 王成新. 中国绿色化的演变特征及其影响因素 [J]. 城市问题, 2016(4): 11-17. LIU K, REN J L, WANG C X. Evolution characteristic and influence factors of China's greenization [J]. Urban Problems, 2016(4): 11-17.

[25] 侯纯光, 任建兰, 程钰, 等. 中国绿色化进程空间格局动态演变及其驱动机制 [J]. 地理科学, 2018, 38(10): 1589-1596. HOU C G, REN J L, CHENG Y, et al. Spatial evolution and driving mechanism of China's greenization process [J]. Scientia Geographica Sinica, 2018, 38(10): 1589-1596

[26] 田时中, 周晓星. 长江经济带绿色化测度及其技术驱动效应检验 [J]. 统计与信息论坛, 2020, 35(12): 39-49. TIAN S Z, ZHOU X X. Green measurement of the Yangtze River economic belt and test of its technology driven effect [J]. Statistics & Information Forum, 2020, 35(12): 39-49.

[27] 田时中, 丁雨洁. 长三角城市群绿色化测量及影响因素分析—基于 26 城市面板数据熵值-Tobit 模型实证 [J]. 经济地理, 2019, 39(9): 94-103. TIAN S Z, DING Y J. Greenization measurement of urban agglomeration in Yangtze River Delta and its influence factors: An empirical study based on the entropy-tobit model of 26 cities' 103.

[28] 熊曦, 张陶, 段宜嘉, 等. 长江中游城市群绿色化发展水平测度及其差异 [J]. 经济地理, 2019, 39(12): 96-102. XIONG X, ZHANG T, DUAN Y J, et al. Measurement and comparison of the level of the green development about urban agglomeration in the middle reaches of the Yangtze River [J]. Economic Geography, 2019, 39(12): 96-102.

[29] 史敦友. 中国省际工业绿色化评价及空间差异性研究 [J]. 贵州财经大学学报, 2019(4): 80-88. SHI D Y. Study on evaluation and spatial difference of interprovincial industry greening in China [J]. Journal of Guizhou Uni-

[30] 中国社会科学院工业经济研究所课题组, 李平. 中国工业绿色转型研究 [J]. 中国工业经济, 2011(4): 5-14. Research Group of Institute of Industrial Economics CASS, LI P. A study on the green transformation of Chinese industry [J]. China Industrial Economics, 2011(4): 5-14.

[31] 盛光华, 高键. 生活方式绿色化的转化机理研究—以绿色消费为视角 [J]. 西安交通大学学报(社会科学版), 2016, 36(4): 8-16. SHENG G H, GAO J. Research on the transformation mechanism of green lifestyle: From the perspective of green consumption [J]. Journal of Xi'an Jiaotong University (Social Sciences), 2016, 36(4): 8-16.

[32] 徐晓光, 樊 华, 苏应生, 等. 中国绿色发展水平测度及其影响因素研究 [J]. 数量经济技术经济研究, 2021 , 38(7) : 65- 82.XU X G , FAN H , SU Y S , et al. Research on the driving factors of China’ s green economy development level [J]. Journal of Quantitative & Technical Economics , 2021 , 38(7) : 65- 82.

[33] 徐维祥, 李 露, 周建平, 等. 乡村振兴与新型城镇化耦合协调的动态演进及其驱动机制 [J]. 自然资源学报, 2020 ,35(9) : 2044-2062.XU W X , LI L , ZHOU J P , et al. The dynamic evolution and its driving mechanism of coordination of rural rejuvenation and new urbanization [J] . Journal of Natural Resources , 2020 , 35 (9) : 2044-2062.