

长三角地区生态城镇化空间格局及影响因素

尹上岗^{1,2}, 杨山^{1,2}, 李在军³

(1. 南京师范大学地理科学学院, 南京 210023; 2. 江苏省地理信息资源开发与利用协同创新中心, 南京 210023; 3. 扬州大学苏中发展研究院, 扬州 225009)

摘要: 生态城镇化作为新型城镇化的重要组成部分, 是生态文明理念的具体实践。以长三角地区 41 个城市为研究区域, 构建区域生态城镇化指标体系, 测度 2000—2018 年生态城镇化的发展水平, 探究生态城镇化指数的时空演化特征及影响因素的作用机制。结果表明: (1) 长三角地区生态城镇化水平整体呈上升趋势, 高值区逐渐在浙江集聚, 低值区在江苏北部和安徽北部集中, 各城市生态城镇化指数差距逐渐缩小, 区域生态一体化程度不断提高。(2) 长三角地区生态城镇化水平的空间自相关性逐渐增强, 其空间演化具有较强的变动性、依赖性和整合性, 变动性自西至东逐渐减弱, 依赖性自西北至东南逐渐增强。(3) 财政投入水平、城乡收入差距、工业发展水平、土地投资强度、人口密集程度和科技发展水平对长三角地区生态城镇化水平的影响依次降低, 在众多因素的综合作用下, 各城市生态城镇化水平逐渐趋同。加强区域生态一体化建设, 提高区域生态城镇化水平, 是建设美丽中国的有效途径, 也是实现区域高质量发展的必然选择。

关键词: 生态城镇化; 空间格局; 时空演化; 影响因素; 长三角地区

1978 年以来, 中国经历了世界上最大规模的城镇化进程。从 1978—2018 年, 中国城镇常住人口由 1.72 亿人增加至 8.31 亿人, 常住人口城镇化率也由 17.92% 提升到 59.58%。城镇化是一个复杂的系统工程, 包括人口转移、空间扩张、经济增长、社会转型和生态建设等方面的含义^[1], 城镇化的快速推进虽然推动了经济发展与社会进步, 但也造成环境质量下降、交通拥堵、住房紧张等问题。在此背景下, 2014 年《国家新型城镇化规划(2014—2020 年)》指出要走“以人为本、四化同步、优化布局、生态文明、文化传承的中国特色新型城镇化道路”。生态文明的理念已逐渐融入到城镇化进程中, 成为城镇化的有机组成, 即生态城镇化, 也就是一条绿色、循环、低碳和集约的新型城镇化发展模式。城市群作为新型城镇化的主体形态和现代化建设的重要载体, 城市群城镇化进程逐渐受到政府、社会和学术界的广泛重视。生态城镇化作为城市群建设的重要组成部分, 长期得不到应有的重视, 其发展也滞后于人口城镇化、土地城镇化和经济城镇化等。因此, 在城市群城镇化建设进程中, 协调推进生态城镇化建设, 探索城市群绿色发展的路径, 不仅有利于以生态一体化建设推动区域一体化建设, 亦会促进城市群健康发展和社会全面进步。

收稿日期: 2021-05-24; 修订日期: 2021-08-14

基金项目: 国家自然科学基金项目(42171200); 教育部人文社会科学基金项目(20YJCZH080); 江苏省社会科学基金项目(20SHD009)

作者简介: 尹上岗(1993-), 男, 安徽太和人, 博士研究生, 研究方向为城市地理与区域发展。

E-mail: yinshanggang@163.com

通讯作者: 杨山(1963-), 男, 江苏盐城人, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向为城乡发展与国土空间规划。

E-mail: yangshan@njnu.edu.cn

生态城镇化启蒙于“田园城市”理念^[2],并引起国内外众多学者对生态城市发展模式、城市生态可持续发展、城市空间生态化路径及城市未来发展等方面的思考^[3-6]。国内对生态城镇化的研究主要集中在:一是将城镇化与生态化作为两个相对独立的方面,探究城镇化与生态环境的发展关系^[7-9],这类研究主要从城镇化的某一维度或多个维度出发,探测人口、土地、经济等城镇化进程对生态环境的影响,如利用耦合协调度模型测算城镇化与生态环境的耦合关系^[8],运用双变量空间自相关探讨城镇化与生态环境的空间关联特征^[10],构建生态环境响应模型分析城镇化生态环境响应的时空演化特征^[11]。二是将生态城镇化纳入城镇化指标体系中,综合评价城镇化发展质量,这类研究一般将城镇化划分为人口城镇化、经济城镇化、土地城镇化、社会城镇化和生态城镇化等部分^[12],利用熵值法、熵权Topsis法、层次分析法等方法确定各指标权重^[13-15],探究各维度城镇化和城镇化综合水平的时空演变规律。

目前关于生态城镇化的研究多围绕与其他城镇化类型的关系,探究生态城镇化进程的研究较少。基于此,本文以长三角地区为例,构建区域生态城镇化指标体系,利用熵值法测度生态城镇化的发展水平,探究生态城镇化的时空演化特征,进而运用面板分位数回归探究不同生态城镇化水平下影响因素作用的差异性,为长三角地区生态一体化建设提供科学依据和实践指导。

1 研究方法与数据来源

1.1 研究区概况与数据来源

长三角地区位于中国东部沿海的中心,是中国最大的城市群,同时也是国际公认的世界六大城市群之一。长三角城市群区域面积为35.67万km²,是中国经济最具活力、开放程度最高、创新能力最强的区域之一。2018年,长三角城市群以占中国3.72%的土地、16.15%的人口,创造了中国23.49%的GDP、22.05%的社会消费品零售额和20.06%的全社会固定资产投资。2018年11月,长三角区域一体化发展上升为国家战略。长三角处于“一带一路”和长江经济带的交互地带,对长江经济带发展起到了重要的引领作用,但是其区域内部社会经济条件、生态发展状况等存在较大差异。社会经济方面以地区生产总值为例,2000年GDP最高城市是最低城市的78.30倍,两者差值4493.01亿元,2018年虽然缩小到48.21倍,但其差值扩大至32001.96亿元;生态环境方面以工业废水排放量为例,2000年排放量最高的城市是最低的132.10倍,两者差值71951.15万t,2018年缩小至75.25倍,差值也缩减至39202万t。随着《长江三角洲区域一体化发展规划纲要》的出台,及淮河生态经济带、大运河文化经济带、长三角生态绿色一体化发展示范区等政策的推进与实施,长三角经济一体化与生态环境一体化程度有所加强。

以长三角三省一市为研究区,包括上海市、江苏省、浙江省和安徽省全部41个城市,城市相关生态数据、社会经济数据主要来自于2001—2019年《中国城市统计年鉴》《中国城市建设统计年鉴》及各省市统计年鉴,其中碳排放量数据来自于已发表文献^[16],PM_{2.5}数据来自于哥伦比亚大学社会经济数据和应用中心。

1.2 研究方法

1.2.1 生态城镇化评价体系构建及测度

生态城镇化是人们对城镇化发展过程中不断认识的结果,指城镇化发展过程中注重

经济、社会、生态协调发展的新型城镇化，是对传统城镇化的发展与提升。虽然学术界对生态城镇化的概念没有统一的共识，但已有众多学者对其进行研究，如方永丽^[17]认为生态城镇化是将生态文明建设融入城镇化建设的全过程，从投入和产出两个方面对生态城镇化的相对效率进行评价；马永强等^[18]认为生态城镇化是以生态学理论为指导的新型产业发展观和产业发展模式；胡宁^[19]认为生态城镇化是综合概念，由人口、生态、产业等子系统组成，从经济与产业发展、人口与社会发展、生态发展三方面构建生态城镇化水平的评价体系。参考已有研究，本文基于城镇化五维视角，即将城镇化分为人口、土地、经济、社会和生态五个维度。生态城镇化作为城镇化的重要组成部分，是在城镇化过程中融入生态文明思想，改变传统城镇化过程中以牺牲资源环境为代价的发展模式，走绿色低碳、环境友好、集约高效的生态化道路。

按照指标选择的科学性和独立性等原则，考虑数据的可获取性、可比性和可量化性，综合参考生态城镇化相关研究成果^[20-22]，从生态环境质量、生态环境保护 and 生态污染控制等方面，选取生活垃圾无害化处理率、污水集中处理率、工业固体废物综合利用率、单位 GDP 用电量、单位 GDP 工业废水排放量、单位 GDP 工业二氧化硫排放量、单位 GDP 碳排放量和 PM_{2.5}年平均浓度 8 项指标，构建长三角地区生态城镇化评价指标体系（表 1）。

表 1 生态城镇化评价指标体系

Table 1 Evaluation index system of ecological urbanization

一级指标	二级指标	计算方法	单位	变化趋向	权重
生态城镇化	生活垃圾无害化处理率	生活垃圾无害化处理量/生活垃圾量	%	正向	0.1790
	污水集中处理率	污水集中处理量/污水产生总量	%	正向	0.2905
	工业固体废物综合利用率	工业固体废物综合利用量/工业固体废物产生量	%	正向	0.0886
	单位 GDP 用电量	全社会用电量/地区生产总值	kW · h/万元	负向	0.0213
	单位 GDP 工业废水排放量	工业废水排放量/地区生产总值	t/亿元	负向	0.0423
	单位 GDP 工业二氧化硫排放量	工业二氧化硫排放量/地区生产总值	t/亿元	负向	0.0389
	单位 GDP 碳排放量	碳排放量/地区生产总值	t/亿元	负向	0.1245
	PM _{2.5} 年平均浓度	PM _{2.5} 日均浓度的年度平均	μg/m ³	负向	0.2149

在生态城镇化评价指标体系构建后，利用熵值法确定各指标的权重^[23]，在此基础上计算长三角地区生态城镇化指数。

1.2.2 探索性空间数据分析

利用探索性空间数据分析（Exploratory Spatial Data Analysis，ESDA）技术探测长三角地区生态城镇化指数的空间相关性，主要包括全局空间自相关和局部空间自相关分析工具。全局空间自相关主要探测长三角生态城镇化指数整体上的空间关联特征是相似（正相关）、相异（负相关）或相互独立（随机分布）；局部空间自相关主要诊断生态城镇化指数局部区域的集聚状态，识别各个区域与相邻地区间的局部空间关联及差异特征，其计算公式见参考文献^[24,25]。

1.2.3 LISA 时间路径

在时间维度观察 LISA 在 Moran 散点图中各单元的演变特征，使静态 LISA 更富动态性^[26-28]。通过可视化城市生态城镇化指数及其空间滞后项的成对移动，可以解释各城市生

态城镇化指数的时空协同演化,并反映局部空间差异和生态城镇化指数变动的时空动态性。LISA时间路径的指标包括路径长度、弯曲度以及跃迁方向等。LISA时间路径长度可以反映生态城镇化指数局部空间结构的动态性特征,弯曲度反映生态城镇化指数局部空间结构的波动性特征,跃迁方向反映生态城镇化指数局部空间结构演变的整合性特征。表达式如下^[29]:

$$d_i = \frac{N \sum_{t=1}^{T-1} d(L_{i,t}, L_{i,t+1})}{\sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^{T-1} d(L_{i,t}, L_{i,t+1})} \quad (1)$$

$$\varepsilon_i = \frac{\sum_{t=1}^{T-1} d(L_{i,t}, L_{i,t+1})}{d(L_{i,t}, L_{i,T})} \quad (2)$$

$$\theta_i = \arctan \frac{\sum_j \sin \theta_j}{\sum_j \cos \theta_j} \quad (3)$$

式中: d_i 和 ε_i 分别为城市 i 的路径长度和弯曲度; N 为研究区城市的数量(个); T 为研究时间长度(年); $L_{i,t}$ 为城市 i 在时间 t 的LISA坐标; $d(L_{i,t}, L_{i,t+1})$ 为区县 i 从时间 t 到 $t+1$ 的移动距离; θ_i 表示区县 i 的平均移动方向。

1.2.4 面板分位数回归模型

面板分位数回归(Panel Quantile Regression, PQR)是反映回归变量与因变量分位数间线性关系的估计方法^[30]。与传统的普通最小二乘估计(OLS)相比,分位数回归对数据的分布要求不强,且更能全面刻画条件分布的特征,同时分位数回归通过加权误差绝对值之和最小得到参数估计,故估计过程不易受异常值干扰,从而使估计更加稳健^[31]。分位数回归的回归参数能够随因变量的分位点而变动,因此可以较好解读生态城镇化指数演变过程的影响机理,其表达式如下^[32]:

$$Q_{Y_{it}}(\tau | X_{it}) = \alpha_i + X_{it}^T \beta(\tau), (i = 1, 2, \dots, n; t = 1, 2, \dots, T) \quad (4)$$

式中: i 为不同的时间截面; t 为观测时间; n 为截面数量; T 为时段数量; τ 为设定的分位点; X_{it} 为解释变量组合矩阵; $Q_{Y_{it}}$ 为生态城镇化指数的条件分位函数; α_i 为条件分位点上的截距项; $\beta(\tau)$ 为 τ 分位点下的影响系数。

2 结果分析

2.1 长三角生态城镇化空间格局及其演化特征

2.1.1 生态城镇化的空间格局

计算长三角地区各城市生态城镇化指数,利用ArcGIS软件自然间断点分级法(Jenks)对2000年、2009年和2018年生态城镇化指数进行空间可视化表达(图1)。由图1可知,2000年生态城镇化指数高值区主要分布在江苏中南部的扬州、泰州、镇江、苏州及浙江杭州,次高值区分布在上海、江苏南部和东部、浙江中部和南部、安徽中东部等地区,低值区散布在安徽的阜阳、宿州、池州和马鞍山,次低值区在安徽南部和北部集聚。2009年生态城镇化指数高值区在浙江集聚,次高值区分布在上海、浙江北部、江苏东南部等地区,低值区及次低值区则集聚在安徽北部和南部。2018年生态城镇化指数高

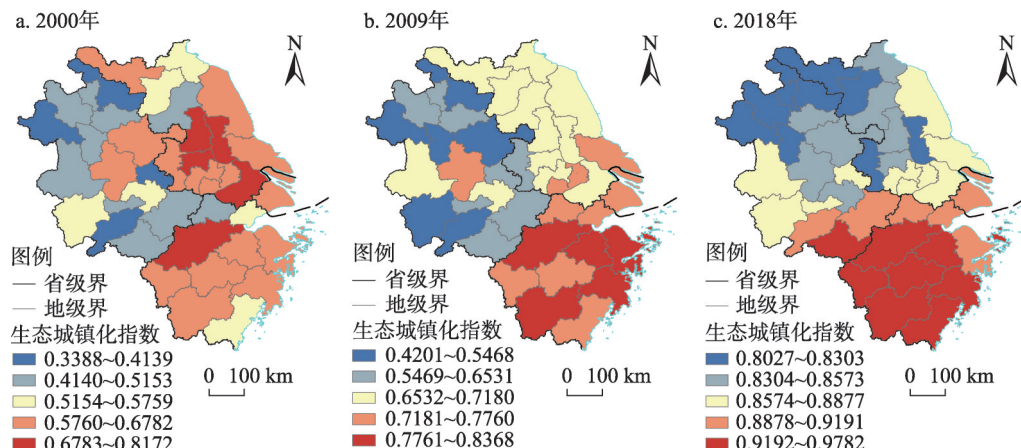


图1 2000年、2009年和2018年长三角生态城镇化空间分布格局

Fig. 1 Spatial distribution pattern of ecological urbanization in the Yangtze River Delta in 2000, 2009 and 2018

值区集中在浙江中部和南部,次高值区分布在上海、浙江北部和南部等地区,低值区主要在安徽北部和江苏北部较为集中,次低值区则分布在安徽中东部和江苏中西部等地区。

从长三角整体来看,生态城镇化指数由2000年的0.5732上升至2018年的0.8808,总体呈上升趋势,生态城镇化指数高值区逐渐在浙江集聚,低值区则在江苏北部和安徽北部集中,呈现出南高北低的空间态势。从各省市来看,上海、江苏、浙江和安徽生态城镇化指数分别由2000年的0.6072、0.6467、0.6081和0.4873上升至2018年的0.9188、0.8528、0.9448和0.8573,即安徽生态城镇化指数上涨最快,浙江和上海次之,江苏上涨较慢。从各城市来看,虽然各城市生态城镇化相对格局呈动态变化的特征,但各城市生态城镇化指数均呈现出不同幅度的上升,且城市间生态城镇化指数的差距逐渐缩小,反映出长三角地区生态城镇化建设日趋同步,生态一体化程度不断提高。

2.1.2 生态城镇化的空间关联特征

采用空间自相关探测生态城镇化的空间集聚特征,2000年、2009年和2018年全局Moran's I 值分别为0.4024、0.4480和0.8276,且均在0.01置信水平上显著,表明长三角生态城镇化指数存在显著的空间正相关性,即相邻城市生态城镇化指数相似性较高,生态城镇化指数具有明显的空间依赖性,且这种空间依赖性呈现出逐渐上升的趋势。

利用GeoDa软件局部空间自相关工具对生态城镇化指数的局部空间集聚进行探测,得到生态城镇化指数的LISA集聚图(图2)。2000年、2009年和2018年生态城镇化指数低—低型城市集中分布在安徽北部,如蚌埠、亳州、淮北和宿州等城市,此外,黄山、徐州和扬州等城市也有分布,低—低型城市地域分布较为固定。高一—高型城市数量较为稳定,2000年主要集中在上海、江苏中部和南部等地区,2009年和2018年则转移至浙江东部和南部。低—高型和高一—低型城市数量较少且较为分散,2000年高一—低型仅徐州,低—高型仅湖州,2009年合肥和六安进入高一—低型,低—高型无分布,2018年高一—低型和低—高型均无分布。

总体来看,长三角生态城镇化水平整体具有明显的空间相关性,且空间相关性不断增强,高一—高型和低—低型城市数量较为稳定,低—低型的空间分布具有较强的稳定性,高一—高型逐渐由长三角中北部转移至东南部,低—高型和高一—低型逐渐消失。

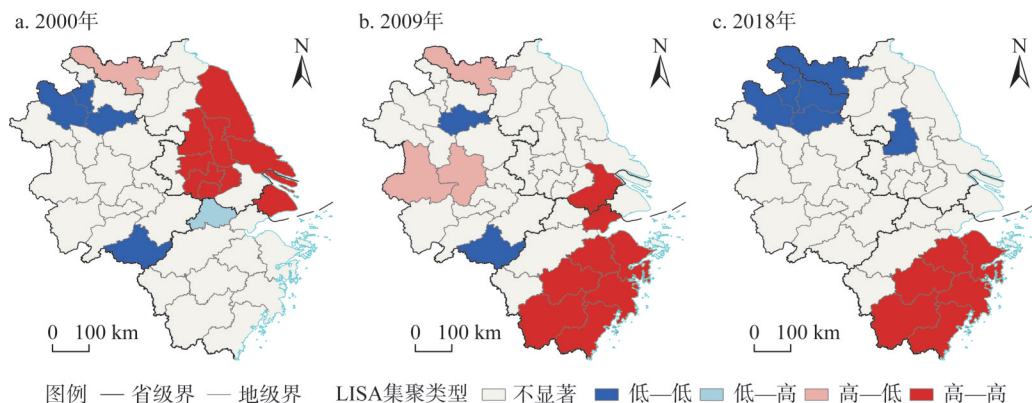


图2 2000年、2009年和2018年长三角生态城镇化指数的局部空间关联格局

Fig. 2 Local spatial correlation pattern of ecological urbanization index in the Yangtze River Delta in 2000, 2009 and 2018

2.1.3 生态城镇化的时空演化特征

利用LISA时间路径的计算公式得到长三角地区生态城镇化指数的相对长度、弯曲度和移动方向,并对其进行可视化表达(图3)。长三角生态城镇化指数相对长度较高的地区主要分布在安徽西部和江苏中北部,江苏北部、浙江南部、安徽北部和中南部等地区相对长度也保持在较高水平,说明这些城市生态城镇化指数变动较大。相对长度较低的地区主要分布在上海、江苏南部、浙江北部和东部等地区,说明这些地区生态城镇化指数变动较小。长三角生态城镇化指数相对长度高于平均值的城市有21个,占研究区的51.22%,反映出长三角生态城镇化的空间结构具有一定的变动性,且这种变动性自西至东逐渐减弱。

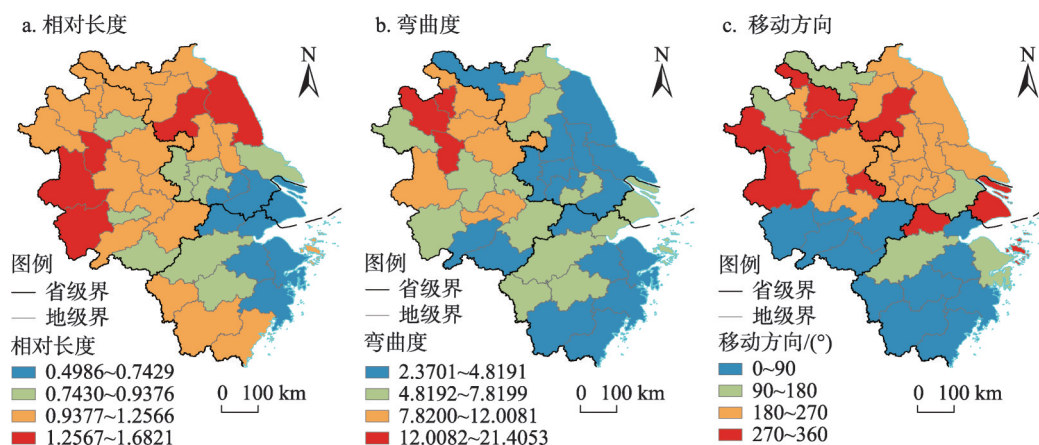


图3 长三角生态城镇化指数LISA时间路径的空间分布

Fig. 3 Spatial distribution of LISA time path of ecological urbanization index in the Yangtze River Delta

长三角地区生态城镇化指数弯曲度高值区分布在安徽北部的亳州、淮北和淮南等地区,其中亳州弯曲度最高,达到21.4053,此外,宿州、蚌埠、六安、芜湖等地弯曲度超过10,反映出这些城市生态城镇化指数局部空间依赖方向的变动性较强,生态城镇化指数缺乏持续提高的动力,即这些城市生态城镇化的推进不具有持续性。弯曲度较低的城市数量众多且分布广泛,在江苏南部和中部、浙江东部和南部等地区呈集聚格局。总体

来看,长三角地区生态城镇化指数的弯曲度整体较低,反映出生态城镇化的演化呈现出较为稳定的空间依赖性,即生态城镇化具有较强的空间锁定效应。

在移动方向上,长三角地区生态城镇化指数协同增长(0°~90°和180°~270°)城市有26个,占研究区的63.41%,表明生态城镇化指数的空间演化呈现出较强的空间整合性。正向协同增长(0°~90°)城市有12个,主要分布在浙江中部和南部、安徽南部等地区,这些地区生态城镇化指数表现出协同高速增长的特点。负向协同增长(180°~270°)城市有14个,主要分布在江苏南部和中部、安徽中东部等地区,这些地区生态城镇化指数呈现出协同低速增长的特点。

2.2 长三角生态城镇化影响因素分析

2.2.1 影响因素选取

生态城镇化指数空间差异显著,受到多种驱动因素的共同影响。根据区域经济学和城市地理学相关理论,结合众多学者对生态城镇化的研究实践^[33-35],并考虑指标因素的客观性、科学性与可获得性等原则,选取经济发展水平、工业发展水平、财政投入水平、社会消费水平、对外开放水平、科技发展水平、城镇发展水平、人口集聚程度、土地利用水平和城乡收入差距10项指标,构建长三角生态城镇化指数的影响因素体系(表2)。

表2 生态城镇化指数影响因素
Table 2 The influencing factors of ecological urbanization index

影响因素	具体指标	计算方法	单位	预期方向
经济发展水平	人均GDP (X_1)	地区生产总值/常住人口	元/人	+
工业发展水平	工业增加值比例 (X_2)	工业增加值/地区生产总值	%	+
财政投入水平	人均财政支出 (X_3)	地方财政支出/常住人口	元/人	+
社会消费水平	人均社会消费品零售额 (X_4)	社会消费品零售额/常住人口	元/人	+
对外开放水平	使用外资金额比例 (X_5)	实际使用外资金额/地区生产总值	%	+
科技发展水平	每万人专利授权量 (X_6)	专利授权总量/常住人口	件/万人	+
城镇发展水平	常住人口城镇化率 (X_7)	城镇人口/常住人口	%	+
人口密集程度	人口密度 (X_8)	常住人口/行政区面积	人/km ²	-
土地投资强度	地均固定资产投资 (X_9)	固定资产投资总额/行政区面积	万元/km ²	-
城乡收入差距	城乡可支配收入比 (X_{10})	城镇可支配收入/农村可支配收入	%	-

各因素选取理由如下:(1) 经济发展水平: 人均GDP表征城市经济发展状况的重要指标^[25], 城市经济发展水平的提高, 对生态环境的重视程度越来越高, 故有利于城市生态城镇化的推进。(2) 工业发展水平: 工业增加值比例反映城市的工业化水平, 工业化水平的提高促进经济发展水平提高, 即有利于生态城镇化发展。(3) 财政投入水平: 人均财政支出反映居民从政府公共支出中获得的平均公共产品及服务水平, 财政支出包含污染防治、生态保护修复等生态文明建设支出, 故有利于生态城镇化推进。(4) 社会消费水平: 人均社会消费品零售额反映城市社会消费状况^[36], 是拉动经济增长的重要因素, 也是高质量发展的重要支撑, 影响生态城镇化的推进。(5) 对外开放水平: 使用外资金额比例反映城市的对外开放程度和吸纳外资能力, 利用外资可以提高产业技术水平和优化产业结构, 提高经济发展质量, 推进生态文明建设。(6) 科技发展水平: 每万人专利授权量反映城市科研产出质量和自主创新能力^[37], 科技水平的提高为生态环境的改

善提供了技术支持。(7) 城镇发展水平：常住人口城镇化率是衡量城镇化水平和经济发展水平的重要指标，人口城镇化的提高亦会对生态城镇化提出更高的要求。(8) 人口集聚程度：人口密度是衡量区域人口分布状况的重要指标，人口密度过大会对资源环境造成巨大压力^[38]，影响生态城镇化的推进。(9) 土地投资强度：地均固定资产投资指单位面积上经济建设的投入程度，其数值越大表示城市投资强度越大，对资源环境的压力也就越大，从而影响生态城镇化建设。(10) 城乡收入差距：城乡可支配收入比反映城乡发展的差异程度，城乡收入比较大吸引诸多要素流入城市，影响区域生态环境的治理，不利于生态城镇化的协调发展。

2.2.2 影响因素分析

在进行面板分位数回归前，需要检验变量间的相关性，利用方差膨胀因子（Variance Inflation Factor，VIF）进行多重共线性诊断，将VIF值大于10的经济发展水平和社会消费水平剔除，剩余8项指标纳入模型中，并估算不同分位点上各因素对生态城镇化指数的影响系数（表3）。

表3 面板分位数回归结果
Table 3 The result of panel quantile regression

分位点	截距项	X ₂	X ₃	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀
0.1	-0.5880***	0.1141***	0.1808**	0.1051**	0.0363	0.0682	-0.0747*	0.1073	-0.0982**
0.2	-0.3063***	0.1357***	0.2871***	0.0445	0.0069	0.0631	-0.1162***	-0.0151	-0.1361***
0.3	-0.1308***	0.1536***	0.3283***	0.0122	0.0499	0.0391	-0.1064***	-0.1022**	-0.1770***
0.4	-0.0020***	0.1847***	0.3673***	0.0114	0.0403	0.0431	-0.1213***	-0.1501***	-0.1971***
0.5	0.0878***	0.1821***	0.3608***	-0.0161	0.0353	0.0404	-0.1221***	-0.1534***	-0.2596***
0.6	0.2260***	0.1694***	0.3698***	-0.0148	0.0709*	0.0166	-0.0889**	-0.1851***	-0.2773***
0.7	0.3656***	0.1605***	0.3794***	-0.0179	0.1427***	0.0081	-0.0461	-0.2623***	-0.2960***
0.8	0.5080***	0.1137*	0.3212***	-0.0230	0.1569***	-0.0110	-0.0311	-0.2369***	-0.2793***
0.9	0.7067***	0.0858	0.2887***	-0.0027	0.1601***	-0.0603	0.0173	-0.2288***	-0.2656***

注：***、**、*分别为统计量在1%、5%、10%置信水平显著。

由表3知，工业发展水平除0.9分位点外对生态城镇化具有显著正向作用，回归系数在0.0858~0.1847间变动，且随分位点增加呈倒“U”型变化趋势。工业化作为城镇化的主要推动力，既促进了城镇化的发展，也催生出生态城镇化，工业化快速发展的进程中，也引发社会对生态文明建设的思考，工业增加值比例过低或过高均会影响生态城镇化的建设。财政投入水平对生态城镇化具有显著的正向影响，回归系数随分位点的增加总体呈上升趋势。财政支出中包含污染防治、生态保护修护等生态文明建设支出，人均财政支出越大，其生态建设支出也会随着提高，故对生态城镇化的建设也就越大。对外开放水平仅在0.1分位点对生态城镇化具有显著的正向作用，回归系数在低分位点呈正向影响，在高分位点呈负向影响。这主要由于使用外资金额在一定程度上有助于提高产业技术水平，但过分依赖外资会影响经济的稳定，不利于生态城镇化的持续推进。

科技发展水平对生态城镇化具有正向影响，在高分位点上显著，回归系数随分位点增加呈上升趋势。科技水平的进步推动了经济高质量发展，也推进了生态环境高水平保护，当科技水平处于较低水平时，对生态环境保护的作用不明显，随着科技水平的提高，对生态城镇化的影响逐渐增大。城镇发展水平对生态城镇化的影响在0.1~0.7分位点

上呈正向,在0.8和0.9分位点上呈负向,但在各分位点上均不显著。人口密集程度除0.9分位点外对生态城镇化均呈负向影响,在0.1~0.6分位点上显著,回归系数随分位点增加呈“U”型趋势。人口集聚对区域环境造成一定的负面影响,如容易产生环境污染、住房短缺和交通拥堵等问题。

土地投资强度除0.1分位点外对生态城镇化均具有负向作用,在0.3~0.9分位点上显著,回归系数绝对值随分位点的增加呈上升势头。地均固定资产投资越大表明对区域的改造也就越明显,对生态城镇化的负面影响也就越大。城乡收入差距对生态城镇化具有显著的负向影响,回归系数绝对值随分位点的增加呈上升趋势。城乡可支配收入比较小时,城乡发展较为同步,区域发展较为协调,对生态城镇化的负面影响较小,当城乡可支配收入比不断扩大后,城乡发展差距变大,对城市生态环境的改造愈发强烈,从而对生态城镇化的负面影响也就越大。

综合来看,在影响方向上,工业发展水平、财政投入水平和科技发展水平对生态城镇化水平起到正向影响,人口密集程度、土地投资强度和城乡收入差距对生态城镇化具有负向影响,对外开放水平和城镇发展水平对生态城镇化的影响不显著。在影响强度上,财政投入水平、城乡收入差距、工业发展水平、土地投资强度、人口密集程度和科技发展水平对生态城镇化的影响依次递减,其中财政投入水平和工业发展水平影响系数较大,表明社会经济因素是生态城镇化推进的重要动力。

3 结论与讨论

3.1 结论

本文以长三角地区为例,通过构建生态城镇化指标体系,探究各地区生态城镇化指数的空间分布格局,利用LISA时间路径探究各区域生态城镇化指数的时空演化特征,采用面板分位数回归模型解释生态城镇化指数的影响机理,得到以下结论:

(1) 长三角地区生态城镇化水平整体呈上升趋势,其高值区逐渐由江苏中南部向浙江转移,低值区则在江苏北部和安徽北部集聚,呈现出南高北低的空间分布态势。长三角各城市生态城镇化相对格局是一个动态变化的过程,城市间生态城镇化指数的差距总体呈缩小趋势,长三角地区生态一体化程度逐渐提高。

(2) 长三角地区生态城镇化水平具有显著的空间正相关性,且这种相关性逐渐增强。在局域上,低—低型城市主要分布在长三角北部,高一—高型城市逐渐由江苏中部和南部转移至浙江东部和南部,低—高型和高一—低型城市数量逐渐减少且较为分散。长三角地区生态城镇化的演化具有较强的空间变动性、依赖性和整合性,变动性由西向东逐渐减弱,正协同增长城市集中在浙江中南部和安徽南部,负协同增长城市多分布在江苏中南部和安徽东部。

(3) 财政投入水平、城乡收入差距、工业发展水平、土地投资强度、人口密集程度和科技发展水平对长三角地区生态城镇化的影响强度依次递减,其中财政投入水平、工业发展水平和科技发展水平的影响为正向,城乡收入差距、土地投资强度和人口密集程度的影响为负向。在这些因素的综合作用下,长三角各城市生态城镇化水平逐渐趋同。

3.2 讨论

长期以来,长三角地区外向型经济特征明显,出口导向型的发展模式虽推动了

区域经济与社会发展,有力支撑了长三角地区的崛起,但这种发展模式过度依赖资源消耗,造成了一定的环境污染和生态破坏,妨碍了绿水青山向金山银山的转化。在国际大循环动能明显减弱、国内大循环日益强劲的背景下,长三角地区外向型经济的发展受到了冲击,此时应立足于国内及区域内需求,提高生产与消费的匹配性,提高供给与需求的耦合度,积极促进绿色消费,构建更加合理的区域产业结构,推动区域生态城镇化水平不断提升,助力区域经济社会高质量发展。

随着长三角一体化上升为国家战略,长三角地区在市场一体化、产业一体化、交通一体化、公共服务一体化等方面的建设已初见成效,而在生态一体化建设方面相对滞后。在长三角迈向更高质量一体化发展的新阶段,为加快推动长三角生态绿色一体化发展示范区建设,以生态一体化建设推动长三角区域经济社会高质量发展,提出以下建议:一是促进资源要素跨区域有序自由流动,加强长三角区域的协调互动,推进公共资源交易平台信息共享、资源整合,如加强生态城镇化水平较高的浙江地区与安徽北部、江苏北部的交流与合作,促进区域生态一体化建设。二是在促进区域经济发展的同时,加强生态环境的保护,由于社会经济因素对生态城镇化的影响较大且多为正向,故生态城镇化的建设应在区域经济发展中提升,在提高区域经济发展质量的过程中,促进城市发展与人口、资源、环境相协调,推动区域发展模式的转变。三是探索和完善跨区域生态补偿机制,建立政府主导、市场化机制、企业和社会组织团体多方参与的有效机制,采用资金、技术、人才、项目等多形式补偿,纵向补偿和横向补偿并重,实现区域生态共建共享。四是充分利用长三角生态绿色一体化发展示范区、宁杭生态经济带、新安江生态示范区等措施,加强区域生态环境联防联控联治,实现区域环境监测信息共享,实时传输环境质量监测数据、趋势预测情况,为区域共同应对生态问题提供数据支撑与措施保障。

生态一体化建设是长三角区域一体化发展的基础保障,不仅有利于区域资源的优化配置,更有利于完善区域协同发展的体制机制,也践行了绿水青山就是金山银山的发展理念。由于本文主要研究市域生态城镇化水平的空间格局及其演化规律,下一步可以探究市区生态城镇化的时空演化特征,比较市域生态城镇化与市区城镇化的时空差异及影响机制的异同。此外,还可以借助人工神经网络、系统动力学等模型预测生态城镇化水平的发展趋势,为区域生态一体化建设提出更具针对性的意见和建议。

参考文献(References):

- [1] 马艳梅,吴玉鸣,吴柏钧.长三角地区城镇化可持续发展综合评价:基于熵值法和象限图法.经济地理,2015,35(6): 47-53. [MA Y M, WU Y M, WU B J. Comprehensive evaluation of sustainable urban development of Yangtze River Delta based on entropy method and quadrant method. Economic Geography, 2015, 35(6): 47-53.]
- [2] HOWARD E. Tomorrow: A Peaceful Path to Real Reform. Cambridge: Cambridge University Press, 1898.
- [3] PICKETT S T A, CADENASSO M L, CHILDERS D L, et al. Evolution and future of urban ecological science: Ecology in, of, and for the city. Ecosystem Health and Sustainability, 2016, 2(7): e01229, Doi: 10.1002/ehs2.1229.
- [4] MERSAL A. Eco city challenge and opportunities in transferring a city in to green city. Procedia Environmental Sciences, 2017, 37: 22-33.
- [5] ARTMANN M, INOSTROZA L, FAN P. Urban sprawl, compact urban development and green cities. How much do we know, how much do we agree?. Ecological Indicators, 2019, 96(2): 3-9.
- [6] MENG F X, GUO J L, GUO Z Q, et al. Urban ecological transition: The practice of ecological civilization construction in China. Science of the Total Environment, 2021, 755(2): 142633, Doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.142633.
- [7] 陈晓红,万鲁河.城市化与生态环境耦合的脆弱性与协调性作用机制研究.地理科学,2013,33(12): 1450-1457.

- [CHEN X H, WAN L H. The interactive mechanisms for the coordination and vulnerability between regional urban and eco-environment. *Scientia Geographica Sinica*, 2013, 33(12): 1450-1457.]
- [8] 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. *生态学报*, 2015, 35(7): 2244-2254. [WANG S J, FANG C L, WANG Y. Quantitative investigation of the interactive coupling relationship between urbanization and eco-environment. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, 35(7): 2244-2254.]
- [9] 赵建吉, 刘岩, 朱亚坤, 等. 黄河流域新型城镇化与生态环境耦合的时空格局及影响因素. *资源科学*, 2020, 42(1): 159-171. [ZHAO J J, LIU Y, ZHU Y K, et al. Spatiotemporal differentiation and influencing factors of the coupling and coordinated development of new urbanization and ecological environment in the Yellow River Basin. *Resources Science*, 2020, 42(1): 159-171.]
- [10] 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. *农业工程学报*, 2015, 31(9): 249-256. [YAO X W, ZENG J, LI W J. Spatial correlation characteristics of urbanization and land ecosystem service value in Wuhan Urban Agglomeration. *Transactions of the CSAE*, 2015, 31(9): 249-256.]
- [11] 郭庆宾, 刘静, 王涛. 武汉城市圈城镇化生态环境响应的时空演变研究. *中国人口·资源与环境*, 2016, 26(2): 137-143. [GUO Q B, LIU J, WANG T. Spatial-temporal distribution research on the ecological response of urbanization metropolitan area. *China Population, Resources and Environment*, 2016, 26(2): 137-143.]
- [12] 李久枫, 余华飞, 付迎春, 等. 广东省“人口—经济—土地—社会—生态”城市化协调度时空变化及其聚类模式. *地理科学进展*, 2018, 37(2): 287-298. [LI J F, YU H F, FU Y C, et al. Spatial-temporal changes of population-economy-land-society-ecology coordination level of urbanization and clustering: A case of Guangdong province, China. *Progress in Geography*, 2018, 37(2): 287-298.]
- [13] 牛晓春, 杜忠潮, 李同昇. 基于新型城镇化视角的区域城镇化水平评价: 以陕西省 10 个省辖市为例. *干旱区地理*, 2013, 36(2): 354-363. [NIU X C, DU Z C, LI T S. Evaluation of regional urbanization level based on new urbanization: A case of 10 provincial cities in Shaanxi province. *Arid Land Geography*, 2013, 36(2): 354-363.]
- [14] 张引, 杨庆媛, 李闯, 等. 重庆市新型城镇化发展质量评价与比较分析. *经济地理*, 2015, 35(7): 79-86. [ZHANG Y, YANG Q Y, LI C, et al. The quality evaluation and comparative analysis of new urbanization development in Chongqing, China. *Economic Geography*, 2015, 35(7): 79-86.]
- [15] 胡光伟, 廖江威, 张明. 基于 TOPSIS 模型的湖南省新型城镇化发展质量综合评价. *湖南工业大学学报: 社会科学版*, 2020, 25(4): 95-103. [HU G W, LIAO J W, ZHANG M. Comprehensive evaluation of the quality of new urbanization development in Hunan province based on TOPSIS model. *Journal of Hunan University of Technology: Social Science Edition*, 2020, 25(4): 95-103.]
- [16] CHEN J D, GAO M, CHENG S L, et al. County-level CO₂ emissions and sequestration in China during 1997-2017. *Scientific Data*, 2020, 7(1): 391.
- [17] 方永丽. 中国生态城镇化相对效率评价及其集约度分析. *统计与决策*, 2017, 33(21): 87-91. [FANG Y L. Relative efficiency evaluation and intensive degree analysis of ecological urbanization in China. *Statistics and Decision*, 2017, 33(21): 87-91.]
- [18] 马永强, 华志芹. 生态城镇化的人口—产业与生态协同演化机理研究: 以江苏省城镇化为例. *中国农业资源与区划*, 2019, 40(3): 188-197. [MA Y Q, HUA Z Q. Population-industry-ecology synergetic evolution mechanism of ecological urbanization: Urbanization in Jiangsu. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2019, 40(3): 188-197.]
- [19] 胡宁. 东北地区生态城镇化发展研究. 长春: 吉林大学, 2020. [HU N. Research on ecological urbanization development of Northeast China. Changchun: Jilin University, 2020.]
- [20] 孙东琪, 张京祥, 朱传耿, 等. 中国生态环境质量变化态势及其空间分异分析. *地理学报*, 2012, 67(12): 1599-1610. [SUN D Q, ZHANG J X, ZHU C G, et al. An assessment of China's ecological environment quality change and its spatial variation. *Acta Geographica Sinica*, 2012, 67(12): 1599-1610.]
- [21] 李江苏, 王晓蕊, 苗长虹, 等. 城镇化水平与城镇化质量协调度分析: 以河南省为例. *经济地理*, 2014, 34(10): 70-77. [LI J S, WANG X R, MIAO C H, et al. The coordination analysis level and quality of urbanization: A case study of Henan province. *Economic Geography*, 2014, 34(10): 70-77.]
- [22] 崔学刚, 方创琳, 张蔷. 京津冀城市群环境规制强度与城镇化质量的协调性分析. *自然资源学报*, 2018, 33(4): 563-

575. [CUI X G, FANG C L, ZHANG Q. Coordination between environmental regulation intensity and urbanization quality: Case study of Beijing-Tianjin-Hebei Urban Agglomeration. *Journal of Natural Resources*, 2018, 33(4): 563-575.]
- [23] 范峻恺, 徐建刚. 基于神经网络综合建模的区域城市群发展脆弱性评价: 以滇中城市群为例. *自然资源学报*, 2020, 35(12): 2875-2887. [FANG J K, XU J G. Vulnerability assessment of urban agglomeration based on neural network model: A case study of Central Yunnan Urban Agglomeration. *Journal of Natural Resources*, 2020, 35(12): 2875-2887.]
- [24] WANG C, WOOD J, WANG Y J, et al. CO₂ emission in transportation sector across 51 countries along the Belt and Road from 2000 to 2014. *Journal of Cleaner Production*, 2012, 266: 122000, Doi: 10.1016/j.jclepro.2020.122000.
- [25] 张凡凡, 张启楠, 李福夺, 等. 中国水足迹强度空间关联格局及影响因素分析. *自然资源学报*, 2019, 34(5): 934-944. [ZHANG F F, ZHANG Q N, LI F D, et al. The spatial correlation pattern of water footprint intensity and its driving factors in China. *Journal of Natural Resources*, 2019, 34(5): 934-944.]
- [26] REY S J, JANIKAS M V. STARS: Space-time analysis of regional systems. *Geographical Analysis*, 2006, 38(1): 67-86.
- [27] REY S J, MURRAY A T, ANSELIN L. Visualizing regional income distribution dynamics. *Letters in Spatial and Resource Sciences*, 2011, 4(1): 81-90.
- [28] 尹上岗, 杨山, 陈艳如, 等. 长三角房价收入比时空演变格局及收敛性研究. *地理研究*, 2020, 39(11): 2521-2536. [YIN S G, YANG S, CHEN Y R, et al. Spatial-temporal evolution patterns and convergence analysis housing price-to-income ratio in Yangtze River Delta. *Geographical Research*, 2020, 39(11): 2521-2536.]
- [29] MURRAY A T, LIU Y, REY S J, et al. Exploring movement object patterns. *The Annals of Regional Science*, 2012, 49(2): 471-484.
- [30] 张子昂, 黄震方, 曹芳东, 等. 浙江省县域入境旅游时空跃迁特征及驱动机制. *地理研究*, 2016, 35(6): 1177-1192. [ZHANG Z A, HUANG Z F, CAO F D, et al. The space-time transition characteristics and its driving mechanism of county-scale inbound tourism in Zhejiang province. *Geographical Research*, 2016, 35(6): 1177-1192.]
- [31] 喻胜华, 赵盼. 基于面板分位数回归的住宅价格影响因素分析. *财经理论与实践*, 2018, 39(5): 128-133. [YU S H, ZHAO P. Analysis of influencing factors of housing price based on panel quantile regression. *The Theory and Practice of Finance and Economics*, 2018, 39(5): 128-133.]
- [32] 胡美娟, 李在军, 丁正山, 等. 中国水资源“农转非”时空异质性及形成机制. *地理研究*, 2019, 38(6): 1542-1554. [HU M J, LI Z J, DING Z S, et al. The spatio-temporal heterogeneity and driving mechanism of China's water transfer from agriculture to non-agriculture. *Geographical Research*, 2019, 38(6): 1542-1554.]
- [33] 崔木花. 中原城市群9市城镇化与生态环境耦合协调关系. *经济地理*, 2015, 35(7): 72-78. [CUI M H. The relationship of coupling coordination between urbanization and ecological environment: A case of urban cluster in the central plains. *Economic Geography*, 2017, 2015, 35(7): 72-78.]
- [34] 周亮, 车磊, 周成虎. 中国城市绿色发展效率时空演变特征及影响因素. *地理学报*, 2019, 74(10): 2027-2044. [ZHOU L, CHEN L, ZHOU C H. Spatio-temporal evolution and influencing factors of urban green development efficiency in China. *Acta Geographica Sinica*, 2019, 74(10): 2027-2044.]
- [35] 宋颖, 曹院平. 基于GMM的新型生态城镇发展影响因素及动态耦合研究. *生态经济*, 2019, 35(12): 67-72. [SONG Y, CAO Y P. The research on influencing factors and dynamic coupling of new ecological urbanization based on GMM. *Ecological Economy*, 2019, 35(12): 67-72.]
- [36] 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. *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' panel data. *Economic Geography*, 2019, 39(9): 94-103.]
- [37] 唐承丽, 郭夏爽, 周国华, 等. 长江中游城市群创新平台空间分布及其影响因素分析. *地理科学进展*, 2020, 39(4): 531-541. [TANG C L, GUO X S, ZHOU G H, et al. Spatial distribution and influencing factors of innovation platforms in urban agglomerations of the middle reaches of the Yangtze River Basin. *Progress in Geography*, 2020, 39(4): 531-541.]
- [38] 孙峰华, 孙东琪, 胡毅, 等. 中国人口对生态环境压力的变化格局: 1990—2010. *人口研究*, 2013, 37(5): 103-113. [SUN F H, SUN D Q, HU Y, et al. Changing patterns of Chinese population pressure on the ecological environment: 1990-2010. *Population Research*, 2013, 37(5): 103-113.]

Spatial pattern and influencing factors of ecological urbanization in the Yangtze River Delta

YIN Shang-gang^{1,2}, YANG Shan^{1,2}, LI Zai-jun³

(1. School of Geography Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China;

2. Jiangsu Center for Collaborative Innovation in Geographical Information Resource

Development and Application, Nanjing 210023, China; 3. Research Institute of Central

Jiangsu Development, Yangzhou University, Yangzhou 225009, Jiangsu, China)

Abstract: As an important part of new urbanization, ecological urbanization is the concrete practice of ecological civilization concept. Taking 41 cities in the Yangtze River Delta as the research area, this paper constructed an index system of regional ecological urbanization, measured the development level of ecological urbanization from 2000 to 2018, and explored the spatiotemporal evolution characteristics of ecological urbanization and the mechanism of influencing factors. The results show that: (1) The overall level of ecological urbanization in the Yangtze River Delta region shows an upward trend, with high value areas gradually clustering in Zhejiang and low value areas concentrating in Northern Jiangsu and Northern Anhui. The gap of ecological urbanization index among cities is gradually narrowing, and the degree of regional ecological integration is continuously improving. (2) The spatial autocorrelation of ecological urbanization in the region gradually increases, and its spatial evolution is characterized by strong variability, dependence and integration. The spatial variability gradually weakens from west to east, and the dependence gradually increases from northwest to southeast. (3) The influence of financial investment level, income gap between urban and rural areas, industrial development level, land investment intensity, population density and scientific and technological development level on the level of ecological urbanization in this region decreases in turn. Under the comprehensive effect of many factors, the level of ecological urbanization in each city gradually converges. Under the combined effect of many factors, the level of ecological urbanization in each city gradually converges. Strengthening the construction of regional ecological integration and improving the level of regional ecological urbanization is an effective way to build a beautiful China and an inevitable choice to achieve regional high-quality development.

Keywords: ecological urbanization; spatial pattern; spatiotemporal evolution; influencing factor; Yangtze River Delta region