

DOI: 10.5846/stxb202110263014

田雅丝, 毛倩鸿, 李纯, 钱晶. 区域一体化视角下长三角地区生态用地时空演变影响因素. 生态学报, 2023, 43(13): 5406-5416.

Tian Y S, Mao Q H, Li C, Qian J. Influencing factors of spatiotemporal evolution of ecological land in the Yangtze River Delta from the perspective of regional integration. Acta Ecologica Sinica, 2023, 43(13): 5406-5416.

区域一体化视角下长三角地区生态用地时空演变影响因素

田雅丝^{1,*}, 毛倩鸿¹, 李 纯², 钱 晶³

1 苏州大学建筑学院城乡规划系, 苏州 215123

2 云南大学生态与环境学院, 昆明 650500

3 苏州科技大学建筑学院风景园林系, 苏州 215123

摘要:区域一体化在推动要素流动、整合地区资源、提高区域竞争力的同时,也为生态用地带来一定风险与压力,造成生态用地规模缩减、景观格局破碎、生态功能降低等问题。探讨区域一体化背景下生态用地的时空演变特征与影响因素对于平衡区域发展与生态保护的关系、制定合理生态用地保护策略、实现区域协调可持续发展等具有重要意义。以长三角地区为例,在分析生态用地时空演变的基础上分别构建两个地理加权回归(GWR)模型,一个模型为考虑区域一体化因素的实验组,一个模型则是不考虑区域一体化因素的对照组,通过结果对比分析区域一体化对长三角地区生态用地演变的影响,结果表明:(1)2000—2020年间,长三角地区生态用地规模缩减显著,减少 $166.56 \times 10^4 \text{ hm}^2$,生态用地急剧减少时间集中在2015—2020年间;(2)长三角地区生态用地减少面积的时空演变具有以上海、江苏南部和浙江北部为中心向周边地区扩散的趋势,扩散方向覆盖长三角全部地区,生态用地集聚性快速减少区域则以安徽中北部、江苏北部地区为主;(3)GWR回归对照试验分析结果表明区域一体化对生态用地演变具有显著促进作用,其作用强度和作用范围伴随时间增加;(4)根据生态用地演变影响机制,长三角生态用地演变类型可分为内生驱动型、外生驱动型以及发展监测型,可为平衡国土空间开发与生态用地保护提供决策支持。

关键词:长三角;区域一体化;生态用地;时空演变;影响因素

Influencing factors of spatiotemporal evolution of ecological land in the Yangtze River Delta from the perspective of regional integration

TIAN Yasi^{1,*}, MAO Qianhong¹, LI Chun², QIAN Jing³

1 Department of Urban and Rural Planning, School of Architecture, Soochow University, Suzhou 215123, China

2 School of Ecology and Environmental Science, Yunnan University, Kunming 650500, China

3 College of Architecture and Urban Planning, Suzhou University of Science and Technology, Suzhou 215123, China

Abstract: With the advent of globalization, regional integration has been considered an important strategy for national and sub-national governments. However, the increased regionally spatial interaction is accompanied by active human, logistic, and information flows, which introduce risks to regionally ecological land. Hence, proper impact assessments of regional interaction on ecological land, reasonable land use and zoning practices, and protection of land-based resources are necessary to ensure regionally ecological security. The Yangtze River Delta (YRD) has one of the highest levels of socio-economic development and regional integration in China. However, with rapid urbanization and industrialization, the local ecology is threatened by evident scale reduction, landscape pattern fragmentation, and ecological degradation. Studies on

基金项目:国家自然科学基金青年基金(41901203)

收稿日期:2021-10-26; 网络出版日期:2023-03-08

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: ystian@suda.edu.cn

the influences of ecological land evolution have mostly focused on urban demographic, social, and economic factors, while less consideration has been given to the spatial interaction of cities in the context of regional integration. On the one hand, the advancement of regional integration brings resource integration and improves the overall competitiveness of the region while promoting the active flow of factors. On the other hand, the concentration of population and industries, improvement of public infrastructure networks, and optimization of industrial structures also bring risks and pressure to the regionally ecological land. This emphasizes the need to explore the spatial and temporal evolution of characteristics and influences of ecological land in the context of regional integration to balance the relationship between regional development and ecological protection, formulate reasonably ecological land protection strategies, and achieve the coordinated and sustainable regional development. This study firstly analyzed the spatiotemporal evolution of ecological land in the YRD. To explain the effect of regional integration and provide implications and suggestions for regional ecological land use management and protection, two geographically weighted regression (GWR) models were constructed separately. One model for the experimental group considered the regional integration factors, while the control group did not consider these factors. The results were then used to compare and analyze the impact of regional integration on the evolution of ecological land in the Yangtze River Delta region. The analysis of the results showed four salient points: (1) from 2000 to 2020, the scale of ecological land in the YRD shrank significantly by $166.56 \times 10^4 \text{ hm}^2$, concentrated in 2015—2020. (2) The spatiotemporal evolution of ecological land reduction in the YRD tended to spread from Shanghai, southern Jiangsu, and northern Zhejiang to the surrounding areas. The spreading direction covered all areas of the YRD, while the area of concentrated rapidly ecological land reduction was mainly in northern central Anhui and northern Jiangsu. (3) The analysis results demonstrated that the regional integration had a significant contribution to the evolution of ecological land, and its intensity and scope of action increased over time. Lastly, (4) according to the influence mechanism of ecological land evolution, the types of ecological land evolution in the YRD could be divided into endogenous-driven, exogenous-driven, and development-monitoring types, which can provide decision support for balancing territorially spatial development and ecological land conservation.

Key Words: the Yangtze River Delta; regional integration; ecological land use; spatiotemporal evolution; influencing factors

随着城镇化和工业化的快速发展,土地作为人类活动的空间载体,其数量结构、使用特征、功能布局和景观格局都发生了显著变化^[1-3]。在长三角区域快速整合与发展的过程中,其土地利用结构与空间分布特征也在发生着剧烈的变化,已经成为我国生态足迹超越生态环境承载力最多、人类活动生态压力最大、生态环境问题最为复杂的区域之一^[4-6],制约了区域安全、稳定发展^[7]。因此,探索分析区域一体化和城市协同发展的时代背景下长三角地区生态用地的时空演变特征与影响因素,对于科学评估长三角区域发展与生态用地保护之间的关系、制定合理土地利用资源优化配置策略、实施生态用地保护措施等具有重要意义。

城镇化背景下生态用地相关研究可以总结为布局特征分析、演变过程分析及影响因素分析三个方面^[8-10]。学者们主要基于遥感影像从数量规模、空间分布、形态特征等分析生态用地现状布局特征^[11-12];部分研究基于土地利用转移矩阵、洛伦兹曲线、基尼系数、重心转移分析、核密度分析等方法研究生态用地的时空演变特征^[13-15];区域生态用地演变影响因素分析常使用逻辑斯蒂回归、地理探测器、地理加权回归等方法^[16-18],多在城市尺度上关注地形、人口、产业结构、基础设施、发展政策等自然、社会、经济、空间等维度的影响因素。当前研究对于生态用地空间分布及时空演变等进行了较多分析,但在影响因素分析方面多将城市考虑为孤立地理单元,影响机制分析偏重城市内生机制,较少关注区域一体化背景下的外部驱动因素,缺乏对城市空间交互关系影响作用的分析,针对城市相互关系如何影响生态用地时空演变的科学问题缺乏深入研究。

本研究以长三角地区为例,在生态用地时空演变特征与规律分析的基础上,从空间交互视角探索区域一体化对生态用地演变的影响机制,为协调区域国土空间开发与生态用地保护提供参考。研究首先分析、归纳

长三角地区 2000—2020 年生态用地的时空演变特征;其次,基于辐射模型模拟人口流动、基于城市流模型计算城市流强度,共同构成区域一体化因子;通过相关分析、共线性分析确定生态用地演变影响因子,基于 ArcMap 10.7 平台设置考虑一体化因素的实验组 GWR 模型以及不考虑一体化因素的对照组 GWR 模型,通过比较实验组和对照组对生态用地演变回归和预测结果确定一体化因素的影响;最后,研究分析了内外因素共同作用下的长三角生态用地演变作用机制,总结生态用地演变类型,为国土空间开发与生态用地保护提供决策支持。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

长三角区域位于我国东部沿海地区,是我国社会经济发展水平最高的区域之一。为了进一步推动长三角区域的发展,增强长三角地区的可持续发展能力和竞争能力,长三角区域一体化发展自 2018 年正式提出,随后上升为国家战略。2019 年,根据《长江三角洲区域一体化发展规划纲要》,其范围正式确定为江浙皖沪三省一市。长三角区域已经是我国经济发展水平最高、创新能力最强、开放程度最高的区域之一。

土地利用数据方面,2000、2005、2010 年的土地利用数据由 Landsat 5 TM 解译,2015、2020 年的土地利用数据由 Landsat 8 OLI 解译,空间分辨率均为 30 m。为了减少判定误差,所有影像搜集时间均为夏季,云量小于 10%,通过辐射校正、大气校正、图像拼接、图像镶嵌、支持向量机的监督分类,确定了八种土地利用类型,包括耕地、林地、草地、水域、城市建设用地、农村居民点、其他建设用地和未利用地。其中,城市建设用地是指城市、县、镇中的建成区用地,农村居民点是指位于城镇以外的居民点用地,其他建设用地是指除了前两类建设用地外其他表现出建设用地特征的用地类型,一般为交通道路用地、机场用地、大型工业区等用地。所有图像解释的总体精度都在 85% 以上,卡帕系数大于 0.85。社会经济数据来源于 2001、2006、2011、2016、2021 年《中国统计年鉴》、《中国县域统计年鉴》、各城市统计年鉴,所有指标均通过归一化处理。

国内外研究对于生态用地的定义尚未形成统一标准,通常根据用地的生态系统服务价值定义,参考已有研究^[19–20],结合本文主要研究目标,本研究中所指的生态用地包括原生生态用地(林地、草地、水域)和半人工生态用地(耕地),不包括城市建设用地、农村居民点、其他建设用地和未利用地。出于数据精度限制,河流、湖泊等天然水体难以同人工水面分离,因此本研究中的水域类型未对自然水域和人工水域做区分。

1.2 研究方法

研究技术路线如图 1 所示。

其中,一体化因子中城市吸引度与城市流强度的计算方法如下。

(1) 人口吸引强度是指由于城市的综合发展而对其他城市人口产生吸引作用。Simini^[21]首次将辐射模型应用于空间交互模拟,具有参数设置少、模拟精度高的特点^[22–23]。其基本公式如下:

$$R_{ij} = k_i \frac{P_i P_j}{(P_i + S_{ij})(P_i + P_j + S_{ij})} = \frac{P_i P_j}{(P_i + S_{ij})(P_i + P_j + S_{ij})} \quad (1)$$

$$k_i = v_i \times P_i \quad (2)$$

其中: R_{ij} 为模拟的人口流, P_i 和 P_j 分别为城市 i 和 j 的总人口, S_{ij} 是以 i 和 j 之间距离或成本为半径的影响范围内的总人口(i 、 j 两地除外)。 k_i 为 i 的流动人口数,其值为流动人口比重 v_i 与总人口 P_i 的积。基于人口流动强度构建城市人口流联系网络后,以城市的节点入度表征城市的人口吸引强度。

(2) 外向功能作用力是指城市在区域中对外联系和辐射的能力。使用城市流模型描述城市之间各类要素的空间流动,以城市流强度的大小表征城市对外联系的强弱^[24–25]。其基本计算公式为:

$$F_i = N_i \times E_i = \frac{GDP_i}{P_i} \times \sum_{j=1}^m E_{ij} \quad (3)$$

$$E_{ij} = P_{ij} - \frac{P_{ij}}{LQ_{ij}} = P_{ij} - \frac{P_{ij} \times (P_j/P)}{P_{ij}/P_i} \quad (4)$$

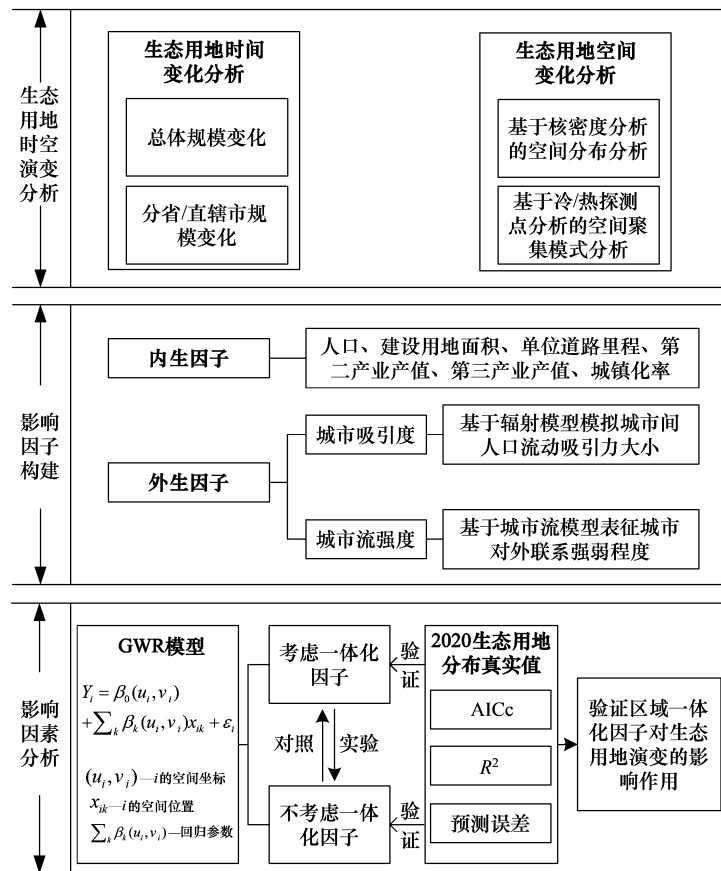


图1 技术路线图

Fig.1 The technical flow chart

其中, F_i 是指城市 i 的城市流强度, 即外向功能作用力; N_i 为城市的功能效益, 可用从业人员人均生产总值表示; E_i 表示城市的外向功能量, 为城市 i 的 m 个部门外向功能量的总和。对于城市 i 的第 j 个部门的外向功能量, 使用 E_{ij} 进行表示; P_{ij} 、 P_i 、 P_j 、 P 分别表示城市 i 第 j 个部门的从业人员数、城市 i 的总从业人员数、全国 j 部门的总从业人员数、以及全国总从业人员数。 LQ_{ij} 表示城市 i 第 j 个部门的从业人员区位熵, 如其值 > 1 , 则说明该部门属于专业化部门, 具有对外服务功能。

2 结果与分析

2.1 长三角地区生态用地时空演变特征

(1) 规模变化特征分析

规模变化特征从总体反映了生态用地面积的变化(图2), 从2000到2020年, 长三角地区生态用地面积减少 $166.56 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 年均减少 $8.33 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。上海、江苏、浙江、安徽的生态用地减少部分的面积占各自行政区划面积 20.21%、6.53%、4.84% 和 2.59%, 不同区域生态用地减少速率存在较大差异。

(2) 时空格局变化分析

本研究对2000—2005、2005—2010、2010—2015、2015—2020年四个时间段内生态用地减少面积进行核密度分析与冷热点分析, 其中核密度分析尺度为 $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$ 空间格网, 冷热点分析在县域行政单元尺度进行。根据核密度分析结果, 四个时间段内单位面积内生态用地平均减少面积密度最大值分别为每公顷 0.010、0.099、0.014、0.147 hm^2 , 中位数分别为每公顷 0.001、0.002、0.002、0.038 hm^2 。从整体减少情况来看, 2000—2015年生态用地减少速率较和缓, 2015—2020年间生态用地急剧减少。将核密度分析结果等分为十个间隔

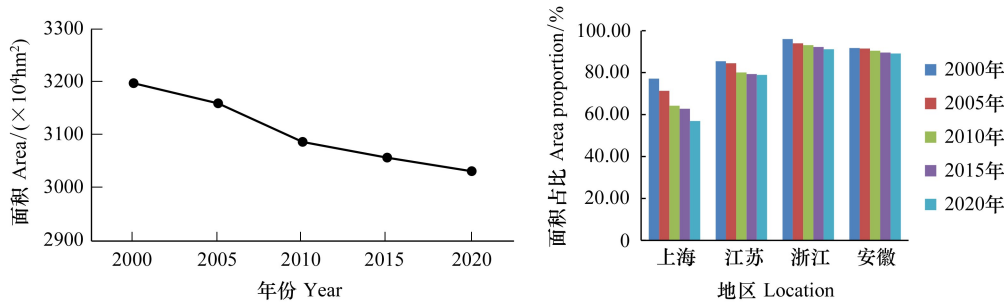


图 2 长三角地区 2000—2020 年生态用地规模变化

Fig.2 The scale change of ecological land in the Yangtze River Delta from 2000 to 2020

以进行比较(图 3),2000—2005 年,以上海为中心小范围区域生态用地减少显著;2005—2010 及 2010—2015 年间,生态用地明显减少区域扩大,但主要以江苏为主,涵盖安徽与江苏接壤的部分地区以及浙江北部区域;2015—2020 年间,长三角大部分区域生态用地均呈现显著减少态势。

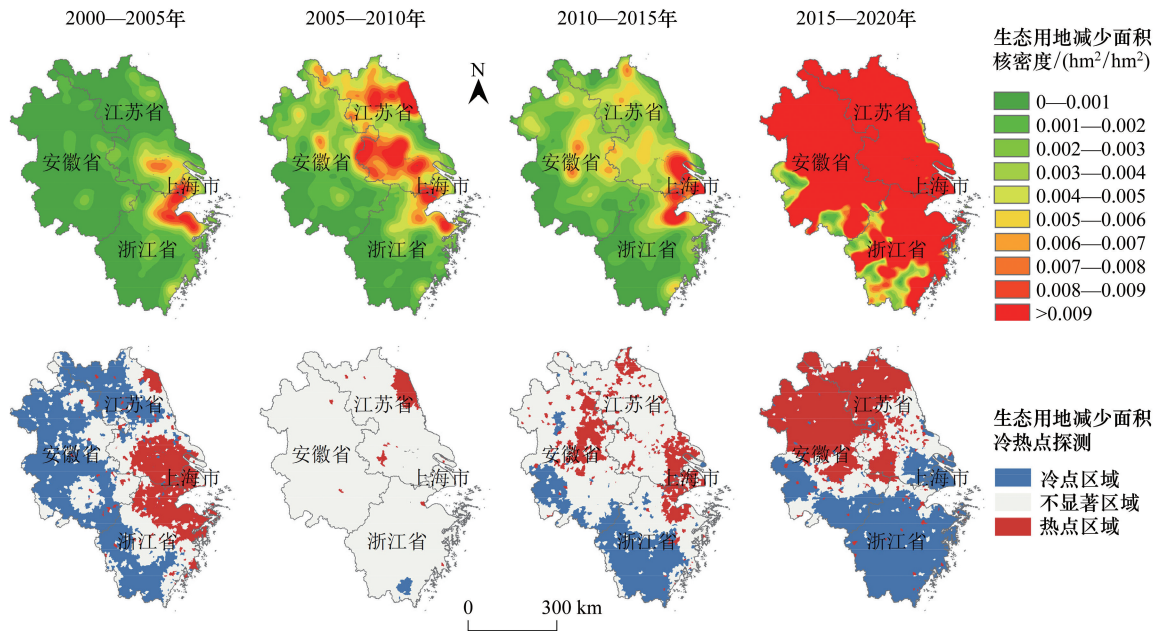


图 3 长三角地区生态用地减少面积的核密度与冷热点分析结果

Fig.3 The kernel density and hotspot analysis results of the decreased ecological land in the Yangtze River Delta

核密度分析反映生态用地减少面积规模在空间上的分布,冷热点分析则能够识别生态用地快速减少的群聚性区域。2000—2005 年,长三角地区生态用地快速减少地区集聚在以上海为中心的江苏南部与浙江北部区域;2005—2010 年,江苏盐城表现出明显聚集性生态用地减少情况;2010—2015 年,生态用地持续减少,江苏北部和安徽中部地区开始出现生态用地聚集性减少情况;2015—2020 年,生态用地减少情况进一步加剧,聚集性减少区域几乎覆盖安徽中北部以及江苏北部的大部分地区。由此,长三角地区生态用地减少面积的时空演变具有以上海、江苏南部和浙江北部为中心向周边地区扩散的趋势,扩散方向覆盖长三角全部地区,生态用地聚集性快速减少区域则以安徽中北部、江苏北部地区为主。

2.2 长三角地区生态用地变化影响因素分析

区域一体化背景下城市间人口流、物流、资金流、信息流等要素流动愈发频繁,城市交互关系是否影响生

态用地的演变、存在何种机制,是本研究进一步探讨的问题。

2.2.1 影响因素识别

本研究使用 GWR 模型分析长三角生态用地演变影响因素,因变量设置为生态用地演变面积。参考已有研究^[26—27],选择一系列社会经济因素及区域一体化因素共同构成初始指标体系。经过相关分析、共线性分析后确定指标,分别构建两个 GWR 模型,一个模型为考虑城市吸引强度和城市流强度的实验组,一个模型则是不考虑区域一体化因素的对照组。

表 1 为经过相关性检验和共线性检验确定的指标因素。

表 1 长三角地区生态用地演变相关指标

Table 1 The influencing factors of ecological land evolution in the Yangtze River Delta

变量 Variable	指标 Index	<i>P</i>	容差 Tolerance	方差膨胀因子(VIF) Variance inflation factor
X_1	常住人口变化	0.091	0.481	1.077
X_2	建设用地面积变化	0.009	0.631	1.586
X_3	单位面积道路里程变化	0.007	0.957	1.045
X_4	第二产业产值变化	0.058	0.719	1.391
X_5	第三产业产值变化	0.022	0.500	1.999
X_6	城镇化率变化	0.081	0.680	1.470
Y_1	城市吸引度变化	0.000	0.708	1.413
Y_2	城市流强度变化	0.080	0.845	1.062

本研究通过 AICc 值、 R^2 确定模型有效性。根据计算结果,实验组相对于对照组,AICc 值减小 46.77, R^2 值增加 0.128, R^2 值达到 0.592。此外,为了进一步验证模型有效性,研究基于所构建的两种模型分别预测长三角地区县域尺度 2020 年生态用地演变情况,计算两种模型的预测误差(表 2)。

表 2 两种 GWR 模型的预测误差比较

Table 2 Comparison of prediction errors of two GWR models

地区 Regions	最大值 Maximum		最小值 Minimum		中位数 Median		平均值 Average		方差 Variance	
	实验组	对照组	实验组	对照组	实验组	对照组	实验组	对照组	实验组	对照组
上海	0.230	0.450	0.011	0.020	0.071	0.205	0.090	0.191	0.005	0.020
江苏	0.330	0.422	0.010	0.012	0.030	0.030	0.055	0.073	0.004	0.010
浙江	0.190	0.750	0.002	0.010	0.030	0.041	0.049	0.090	0.002	0.011
安徽	0.210	0.370	0.004	0.010	0.030	0.056	0.073	0.070	0.002	0.010

整体看来,实验组的预测误差整体小于对照组,且实验组中各城市生态用地预测误差值的方差值也小于对照组,说明考虑了城市一体化特征的模型能够更加准确预测生态用地演变。基于上述分析,模型的 AICc 值小、 R^2 越大代表模型越优^[28],且考虑了区域一体化因素的 GWR 模型预测误差更小,因此可以得到结论:区域一体化因素对城市的生态用地演变具有不可忽视的影响作用。

2.2.2 影响因素分析

基于 GWR 模型分析结果,图 4 展示了指标回归系数的空间分布。

各类指标对生态用地的影响呈现明显的空间分异规律:

(1) 内生因子

指标 X_1 — X_6 对应人口、城市建设以及产业发展因子,共同组成生态用地演变的城市内生因素,是生态用地变化空间分异的基础性因子。

生态用地缩减与常住人口因子 X_1 整体呈正相关关系,即人口增长越多、生态用地减少越多。在空间分布上,人口因子对安徽、江苏生态用地演变的影响较小,在浙江的影响作用最为显著。2000—2020 年间,上海、

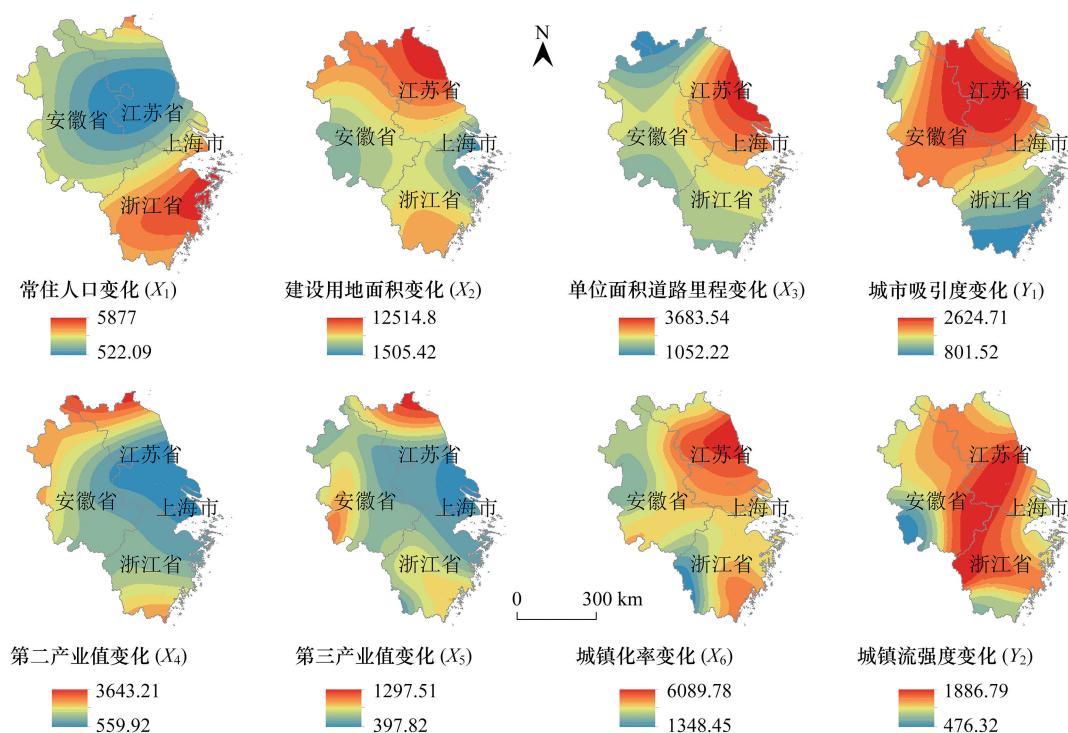


图4 指标因子回归系数的空间分布

Fig.4 Spatial distribution of regression coefficient of factors

江苏、安徽、浙江的人口年增长率分别为4.25%、1.32%、0.19%以及3.28%,上海和浙江的人口增长速率明显快于其余地区。人口对空间的使用需求是城市建设用地增长的主要动力,城市人口的增加直接改变城市形态与空间结构,建设用地快速扩张对生态用地带来直接影响,上海、浙江的生态用地对人口增长的敏感性强于其他地区。

城市建设因子包括建设用地 X_2 、单位面积道路里程 X_3 和城镇化率 X_6 ,因子涉及土地利用变化,直接关系生态用地的规模与空间形态,系数的空间分布具有相似规律,指标因子与生态用地演变呈正相关关系。城市建设因子与城市社会经济发展基础、发展潜力、基础设施建设等因素有关。江苏南部、上海以及浙江北部社会经济基础最好、道路网络最完善,同时这部分区域建设用地比例最大,城市增量扩张潜力最为受限。此外,安徽由于社会经济发展基础相对薄弱,建设用地扩张也相对受限,建设用地 X_2 和城镇化率 X_6 在江苏北部、浙江南部的作用最为显著;长三角是我国交通运输最为发达的地区,但其铁路以及公路运输建设均存在明显的空间不平衡,交通网络密度呈现以上海、苏南、浙北为中心局部密集、周边稀疏的特征。浙江境内道路网络建设受地形地貌限制较大,单位面积道路里程影响因子 X_3 在江苏中南部、上海以及浙江北部作用最强。

产业影响因子包括第二产业产值 X_4 和第三产业产值 X_5 ,指标的回归系数在空间上分布较相似,即在中部地区较微弱,在边缘区地区的作用较显著。安徽东部、江苏南部以及浙江北部分别是各自省内最发达的地区,共同组成长三角的中心地区,这部分区域产业结构以第二、三产业为主,第一产业产值较小,在二、三产业规模已经较大的基础上,产业产值的增长更多依托于产业结构的调整与产业升级,不再依赖于产业数量的增加,因此由产业产值增长带来的工业用地增加进而影响生态用地的作用有限。相反,长三角边缘地域的第二、三产业产值相对较小,产业发展中产业数量的增加占据主要作用,由此带来土地利用结构中工业用地的快速增长,对生态用地带来显著负面影响。

(2) 区域一体化因子

区域一体化因子包括城市吸引力 Y_1 和城市流强度 Y_2 ,对生态用地演变具有重要作用。根据分析结果,

江苏、安徽及浙江北部区域的人口流动对生态用地演变的影响作用明显,与生态用地核密度分析结果呈现一致特征。人口因子显著作用区域涵盖长三角大部分地区,仅安徽西部与浙江南部地区表现出非显著作用。人口流动强度大小受到城市社会经济吸引力、交通运输能力与服务能力的影响,其空间分布与单位面积道路里程影响因子 X_3 具有一定程度的相似性。人口流动对生态用地演变产生的压力可以分为直接压力和隐性压力两种类型^[29],人口流动强度越大,城市之间的人口要素互动越频繁,更易造成土地利用从生态用地向建设用地的转型。一方面,人口的空间集聚加大住宅用地、工业用地的使用需求,促使耕地、林地、草地等非建设用地向建设用地的转变,直接挤压生态用地空间;另一方面,人口流动也促使了仓储、物流、公共基础设施用地的开发建设。此外,各类生产、生活活动也加大了污染物的产生和扩散,为生态环境带来潜在风险。

城市流强度因子主要对区域中心地区生态用地缩减具有显著促进作用。具体来看,长三角中心区域的上海市第三产业的区位熵大于第一产业和第二产业部门,其中区位熵最大的部门为租赁和商务服务业、住宿和餐饮服务业、批发零售贸易业,其对外服务以第三产业为主。江苏省大部分地区城市流强度均较高,苏北地区中徐州、盐城具有较高城市流强度,但连云港、宿迁、淮安处于较低水平,城市流因子在苏北地区的影响作用相对较弱。城市流因子在浙江的大部分地区呈现明显作用,对浙江南部的丽水、温州作用较弱,主要原因是周边城市的发展削弱了要素的流入,以及温州的城市经济社会的发展水平与城市对外辐射能力并不对应。城市流因子在安徽对生态用地的影响主要集中在中东部地区,其余城市社会经济发展水平均较低,外向功能量、对外联系强度以及城市流强度均较低,2000—2020 年间发展变化较小,城市流因子在这部分区域的影响作用不显著。

2.2.3 影响机制分析

城市是区域的组成单元,区域为城市的发展提供物质环境空间,城市与区域之间存在复杂多样的交互作用^[30],共同影响生态用地的演变(图 5)。

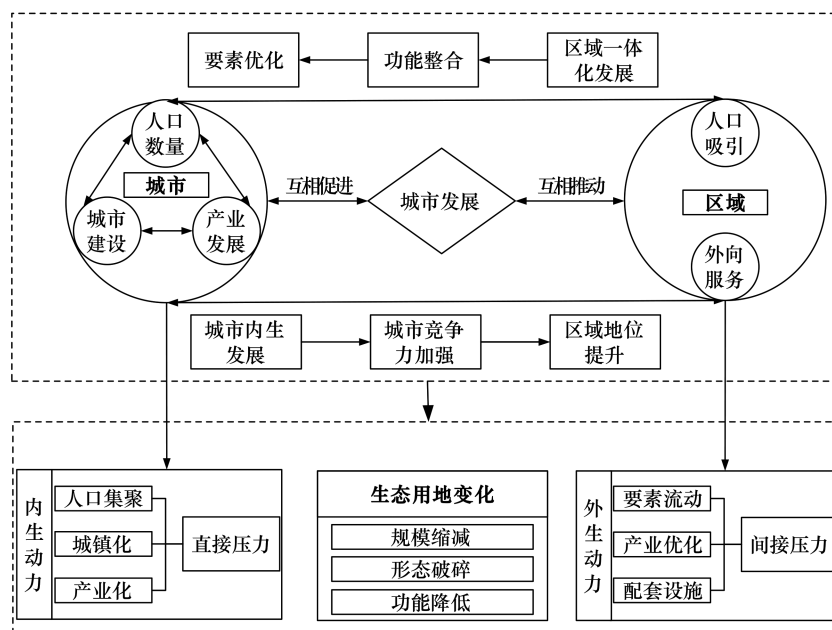


图 5 长三角生态用地演变影响机制分析

Fig.5 Analysis of the influencing mechanism of ecological land evolution in the Yangtze River Delta

生态用地演变的内生动力主要来自于影响城市发展的社会、经济、空间等因素。根据分析结果,浙江南部、江苏北部社会经济发展具有一定基础、城镇化潜力大的地区中城市内生影响因素对生态用地减少的作用更为显著,这是因为人口集聚、城镇化、产业化等过程直接影响土地利用转变,对生态用地呈现负面影响。生

态用地缩减呈现与城市社会经济发展的一致性,揭示了城市内生因素发展对生态用地演变的促进作用。

生态用地的外生动力主要来自于由于区域一体化发展产生的要素流动。首先,要素流动促使城市间形成各种连接通道,如高速公路、城际轨道交通、电信线路等。人工通道的建设需要大量新建土地,促进了非建设用地向建设用地的过渡,侵占了生态用地;其次,区域一体化使得不同城市之间通过交流加强合作。例如,大量连锁企业的建立需要土地来建设办公场所和存储货物,而企业之间频繁的人流、物流和信息流则进一步对配套公共基础设施提出了要求;第三,随着区域一体化程度的提高,城市之间的社会和经济互动也变得越来越活跃。为了保证城市在区域中的竞争力,城市往往会出台各种政策来吸引更多的人口和产业,如放宽落户政策、集中建设工业园区、降低企业税收、优化公共基础设施等,对建设用地的快速扩张具有一定促进作用。当城市发展缺乏规划指导和空间管控时,易出现城市蔓延现象、对生态用地造成压力。根据分析结果,长三角区域中部社会经济发展基础较好、城市吸引度大、城市对外服务能力强的区域中外生因子对生态用地的负面作用更为显著,对于这类城市,其发展已经逐渐减少对于城市用地扩张的依赖,存量用地挖潜、产业结构的升级优化、以及配套公共基础设施的完善等是这类城市发展的主要驱动力,在增加各类基础设施用地需求的同时,要素的频繁流动中人类干扰活动的增加也加大了区域生态环境风险。

长三角地区范围广大,多地呈现生态用地大规模、快速缩减的态势,生态用地保护压力巨大。然而,各类城市的社会经济发展水平、一体化程度呈现空间不平衡的特征,对于不同城市,其面临的生态用地演变压力有所不同,需要采取不同的应对措施。

(1) 内生驱动型

这类地区主要包括江苏北部与浙江南部地区,是具有一定社会经济发展基础、城镇化、工业化快速发展、土地利用转变迅速的区域,这类区域的生态用地演变主要以内生动力为主,区域一体化因子作用相对薄弱,主要由于人口集聚、城市建设、产业发展而带来的建设用地快速扩张而造成生态用地缩减。这部分区域城镇化率仍有较大提升空间,未来用地转型以建设用地扩张为主,根据生态用地演变规模分析结果,需要重点关注江苏徐州、连云港、宿迁以及浙江的温州。

(2) 外生驱动型

这类地区主要包括上海、江苏南部与浙江北部,是社会经济发展基础最好、城镇化、工业化水平最高的区域,其生态用地演变内生因子作用相对薄弱、区域一体化因子的作用显著。由于土地资源的有限性,在这类区域中土地利用从非建设用地到建设用地的转变速度有所减缓,但由于城市对区域人口的高吸引力、城市对区域的强服务力而带来的人口流、物流、信息流要素的频繁流动推动了相关基础设施建设用地的的发展,进而影响生态用地。

(3) 发展监测区

这类区域主要包括安徽西部城市,具有社会经济发展水平较薄弱、一体化程度较低的特征,城市内生发展动力与一体化外在动力对这类区域生态用地演变的作用相对轻微,表现在生态用地演变结果上,这部分区域在 2000—2020 年间生态用地变化量最小,但需要注意在未来加强城市发展与一体化程度的过程中对生态用地的保护,建立动态监测机制、有效保护生态用地。

3 讨论与结论

3.1 讨论

(1) 一体化背景下长三角地区生态用地时空演变异质性

伴随区域一体化进程推进,城市相互作用关系对生态用地时空演变呈现多样性、动态性、复杂性作用特征,对生态用地时空格局与异质性起重要作用。研究表明,在 2000—2020 年间,长三角地区社会经济发展快速、空间结构不断整合、城市各类要素流的交互愈加频繁;同时,其生态用地规模呈下降趋势,在 2015—2020 年间最为显著,生态用地集聚性缩减区域则以安徽中北部、江苏北部地区为主。生态用地演变的时空特

征与杨清可、欧维新等人的研究结果^[31-32]具有一致性。研究同时发现,区域空间交互作用的增强也伴随要素流动增强,为区域生态用地带来压力。一方面,人口流、物流要素流动需要客观环境的支撑,从而对道路设施、交通站点、物流仓储用地等提出需求,推动非建设用地向建设用地的转变,要素流动过程中伴随产生的各类污染也对生态环境带来潜在风险;另一方面,城市对外服务能力和竞争力的提升,促进人口和产业的空间集聚,同时也提升了对建设用地使用空间与使用强度的需求,对生态用地造成负面影响。刘殿锋等^[24]证明了区域一体化对耕地变化的影响,本质上反映了城市交互作用对区域土地利用变化的推动作用,进而影响区域生态安全格局,与本研究结论一致。

(2) 长三角地区生态用地保护与规划建议

长三角一体化作为国家战略,生态绿色一体化是重要内容,为了实现社会经济发展与生态环境保护利益协同,保护生态绿色本底、保障生态用地需求是前提条件。一要摸清区域生态用地本底条件,在生态用地敏感性与生态服务功能重要性评价的基础上,严格划定生态用地保护区;重点监测生态用地快速缩减区域,严控生态用地占用。二要合理规划区域一体化过程中工业发展、公共基础设施完善、人口流动等带来的各类建设用地扩张,评估其对生态用地的压力,通过空间布局合理、提高土地利用效率、保护生态用地重要区域等平衡开发与保护的关系。三要综合考虑城市社会经济发展基础与发展动力,预测生态用地演变趋势、优势条件与限制因素,制定因地制宜的生态用地保护策略。

(3) 未来研究优化

本研究可在以下方面进行优化:研究尺度上可依托多源地理数据,突破行政单元的限制,在空间格网尺度进行分析;指标选择上可增加能够表征城市空间交互过程的因子,例如高速公路出入口数据、手机信令数据、高铁数据等;实证方法上可选择考虑尺度效应的分层 GWR 模型、考虑因变量和自变量空间相关性的空间杜宾模型、以及基于空间分异特征识别自变量影响重要性与作用路径的地理探测器等对实证方法进行优化。此外,区域一体化对生态环境的影响可扩展至生态安全、生态系统服务功能价值、生态足迹等方面。

3.2 结论

本文在分析长三角地区生态用地时空演变特征基础上,对生态用地变化影响因素进行了分析,重点讨论了区域一体化因素对生态用地演变的作用机制,揭示了城市交互作用对生态用地演变的影响机理,主要得到以下结论:

(1) 2000—2020 年,长三角地区生态用地总体规模呈现减少趋势,减少速率在 2015—2020 年间达到最高;生态用地减少面积的时空演变具有以上海、江苏南部和浙江北部为中心向周边地区扩散的特征,扩散方向覆盖长三角全部地区,生态用地快速减少热点区域以安徽中北部、江苏北部地区为主。

(2) 区域一体化因素表现为生态用地演变的外生驱动因素,基于城市间各类要素的流动、通过土地利用转变、人类活动干扰等方式对生态用地产生显性和隐形压力,造成生态用地的减少和破碎化,带来生态系统质量降低、生态系统服务功能退化等问题。

(3) 根据长三角地区生态用地现状与驱动机制分析发现,各城市生态用地演变类型可划分为内生驱动型、外生驱动型及发展监测区。对于内生驱动型城市,主要由于城镇化水平的提升具有建设用地扩张需求,未来需要在坚持生态文明建设前提下,平衡国土空间开发与保护的关系;对于外生驱动型城市,在本身城镇化水平高、社会经济发达基础下,生态用地演变主要受区域一体化的外生驱动作用,未来需要合理评估土地利用效率,在生态环境承载力前提下推动存量用地开发使用,从而实现城市发展目标以及生态环境保护要求;对于发展监测区,由于城市发展水平薄弱、区域一体化程度较低,生态用地缩减在这类区域并不显著,但面临社会发展需要,未来仍需注意城乡发展中对生态用地的保护,可以通过划定生态保护区、构建生态廊道和生物多样性网络、严格遵守生态控制线等路径保障区域生态安全。

参考文献 (References):

[1] 刘纪远, 宁佳, 匡文慧, 徐新良, 张树文, 颜长珍, 李仁东, 吴世新, 胡云锋, 杜国明, 迟文峰, 潘涛, 宁静. 2010—2015 年中国土地利用

- 变化的时空格局与新特征. 地理学报, 2018, 73(5): 789-802.
- [2] Zhou Y, Li X H, Liu Y S. Land use change and driving factors in rural China during the period 1995—2015. *Land Use Policy*, 2020, 99: 105048.
- [3] Dadashpoor H, Azizi P, Moghadasi M. Land use change, urbanization, and change in landscape pattern in a metropolitan area. *Science of the Total Environment*, 2019, 655: 707-719.
- [4] 姚士谋, 徐丽婷, 郑涛, 马丽雅. 中国城市群快速成长的机理与新理念——以长三角城市群为例. 人文地理, 2020, 35(1): 11-18.
- [5] 闻熠, 高峻, 姚扬, 林章林. 基于改进参数的长三角城市群生态足迹时空动态及驱动因子分析. 环境工程技术学报, 2020, 10(1): 133-141.
- [6] 胡美娟, 李在军, 丁正山, 周年兴, 郭向阳, 李欣. 泛长三角城市资源环境压力演化特征及门槛效应. 地理科学, 2020, 40(5): 701-709.
- [7] 朱诚, 姜逢清, 吴立, 曾蒙秀, 贾天骄, 周生路, 宁越敏, 于军, 冯学智. 对全球变化背景下长三角地区城镇化发展科学问题的思考. 地理学报, 2017, 72(4): 633-645.
- [8] Surya B, Salim A, Hernita H, Suriani S, Menne F, Rasyidi E S. Land use change, urban agglomeration, and urban sprawl: a sustainable development perspective of Makassar City, Indonesia. *Land*, 2021, 10(6): 556.
- [9] Feng R D, Wang F Y, Wang K Y. Spatial-temporal patterns and influencing factors of ecological land degradation-restoration in Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area. *Science of the Total Environment*, 2021, 794: 148671.
- [10] 史娜娜, 肖能文, 王琦, 韩煜, 冯瑾, 全占军. 长江经济带生态系统格局特征及其驱动力分析. 环境科学研究, 2019, 32(11): 1779-1789.
- [11] 陈德权, 兰泽英, 李玮麒. 基于最小累积阻力模型的广东省陆域生态安全格局构建. 生态与农村环境学报, 2019, 35(7): 826-835.
- [12] 赵兵, 赵鹏蕾, 韦薇. 花桥典型地块景观格局及植被群落结构指数评价与制图研究. 长江流域资源与环境, 2017, 26(8): 1169-1179.
- [13] 张文慧, 蔡利平, 吕晓. 山东省生态用地时空演变格局及其影响因素. 资源开发与市场, 2019, 35(6): 794-799, 844.
- [14] 尹娟, 资本飞, 阳利永, 陈婧祎. 抚仙湖流域生态用地时空演变及其驱动因素. 水土保持通报, 2020, 40(6): 228-235, 331.
- [15] 李颖, 冯玉, 彭飞, 陈树登. 基于地理探测器的天津市生态用地格局演变. 经济地理, 2017, 37(12): 180-189.
- [16] 吴思佳, 吴伟, 陈文惠, 张文燕, 林金煌, 程瑞彤. 基于地理探测器的闽三角城市群植被覆盖时空变化及影响因素研究. 福建师范大学学报: 自然科学版, 2019, 35(5): 81-88.
- [17] 刘彦文, 刘成武, 何宗宜, 周霞, 韩冰华, 郝汉舟. 基于地理加权回归模型的武汉城市圈生态用地时空演变及影响因素. 应用生态学报, 2020, 31(3): 987-998.
- [18] 刘超, 霍永伟, 许月卿, 黄安, 孙丕苓, 卢龙辉. 生态退耕前后张家口市耕地变化及影响因素识别. 自然资源学报, 2018, 33(10): 1806-1820.
- [19] 邓红兵, 陈春娣, 刘昕, 吴钢. 区域生态用地的概念及分类. 生态学报, 2009, 29(3): 1519-1524.
- [20] 龙花楼, 刘永强, 李婷婷, 王静, 刘爱霞. 生态用地分类初步研究. 生态环境学报, 2015, 24(1): 1-7.
- [21] Simini F, González M C, Maritan A, Barabási A L. A universal model for mobility and migration patterns. *Nature*, 2012, 484(7392): 96-100.
- [22] 潘峰华, 方成, 李仙德. 中国城市网络研究评述与展望. 地理科学, 2019, 39(7): 1093-1101.
- [23] Tian Y S, Wang L. Mutualism of intra- and inter-prefecture level cities and its effects on regional socio-economic development: a case study of Hubei Province, Central China. *Sustainable Cities and Society*, 2019, 44: 16-26.
- [24] 刘殿锋, 周泊远, 何建华, 孔雪松, 刘耀林. 空间交互视角下中国城市群耕地变化影响因素分析. 农业工程学报, 2019, 35(16): 274-283.
- [25] 叶珊珊, 曹明明, 胡胜. 关中平原城市群经济联系网络结构演变及对经济增长影响研究. 干旱区地理, 2022, 45(1): 277-286.
- [26] 孔冬艳, 陈会广, 吴孔森. 中国“三生空间”演变特征、生态环境效应及其影响因素. 自然资源学报, 2021, 36(5): 1116-1135.
- [27] Yu J Q, Zhou K L, Yang S L. Land use efficiency and influencing factors of urban agglomerations in China. *Land Use Policy*, 2019, 88: 104143.
- [28] 薛陈利, 张会琼, 邹滔, 孙紫坚, 程细音. 中老铁路经济廊带生态质量及其与人类活动的关系. 应用生态学报, 2021, 32(2): 638-648.
- [29] Tian Y S. Mapping suburbs based on spatial interactions and effect analysis on ecological landscape change: a case study of Jiangsu Province from 1998 to 2018, Eastern China. *Land*, 2020, 9(5): 159.
- [30] 郑文升, 杜南乔, 杨瑶, 王晓芳, 熊志飞. 长江中游城市群空间结构的多分形特征. 地理学报, 2022, 77(4): 947-959.
- [31] 杨清可, 段学军, 王磊, 金志丰. 基于“三生空间”的土地利用转型与生态环境效应——以长江三角洲核心区为例. 地理科学, 2018, 38(1): 97-106.
- [32] 欧维新, 王宏宁, 陶宇. 基于土地利用与土地覆被的长三角生态系统服务供需空间格局及热点区变化. 生态学报, 2018, 38(17): 6337-6347.