

DOI:10.13870/j.cnki.stbxb.2025.05.009

CSTR:32310.14.stbxb.2025.05.009

马明,毛理虎,李久林,等.长三角地区城市土地绿色利用效率与高质量发展互动协调效应[J].水土保持学报,2025,39(5):276-289.

MA Ming, MAO Lihu, LI Jiulin, et al. Exploring interactive coordination effect between urban green land use efficiency and high-quality development in Yangtze River Delta region[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2025, 39(5): 276-289.

长三角地区城市土地绿色利用效率与 高质量发展互动协调效应

马明^{1,2}, 毛理虎^{1,2}, 李久林^{1,2}, 周梦茹¹, 胡素雯^{1,2}, 李鹏振³

(1.安徽建筑大学建筑与规划学院,合肥 230601; 2.安徽省城镇化建设协同创新中心,
合肥 230601; 3.南京林业大学风景园林学院,南京 210042)

摘要: [目的] 探究城市土地绿色利用效率和城市高质量发展的互动关系及协调效应,为促进城市土地绿色利用转型,实现区域高质量发展提供科学支撑。[方法] 以长三角地区41个地级市为对象,构建评价指标体系,分别运用非期望产出Super-EBM、熵权-TOPSIS模型测算2008—2022年城市土地绿色利用效率与高质量发展指数,采用PVAR模型揭示二者互动关系,借助修正后的耦合协调模型、GM(1,1)灰色预测模型探究二者协调时空特征及未来趋势。[结果] 1)长三角地区城市土地绿色利用效率呈波动上升态势,呈“西退东进-泛均质化”的空间特征;高质量发展非线性增长特征明显,“极化辐射-干线延伸”空间格局突出。2)二者存在双向因果交互关系,同时受自身和对方的双重冲击,但更多受自身结构影响,具有惯性依赖特征,并且高质量发展对城市土地绿色利用效率的促进作用更强。3)二者协调水平稳步增长,表现为上海市>江苏省>浙江省>安徽省,总体呈“南高北低、东高西低、中部隆起”的空间特征,以发达城市为核心的“Z”字形轴线格局逐渐明晰;未来协调水平持续改善,但“核心-边缘”分布态势得到巩固。[结论] 通过全面落实高质量发展要求,发挥核心增长极溢出效应,针对不同类型城市精准施策,从而实现区域整体交互协调发展。

关键词: 城市土地绿色利用效率; 城市高质量发展; 互动关系; 协调效应; 长三角地区

中图分类号: F301.24; X321

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2025)05-0276-14

Exploring Interactive Coordination Effect between Urban Green Land Use Efficiency and High-Quality Development in Yangtze River Delta Region

MA Ming^{1,2}, MAO Lihu^{1,2}, LI Jiulin^{1,2}, ZHOU Mengru¹, HU Suwen^{1,2}, LI Pengzhen³

(1.School of Architecture and Urban Planning, Anhui Jianzhu University, Hefei 230601, China; 2.Urbanization Co-creation Centre of Anhui Province, Hefei 230601, China; 3.College of Landscape Architecture, Nanjing Forestry University, Nanjing 210042, China)

Abstract: [Objective] To explore the interactive coordination effect between urban green land use efficiency and high-quality urban development, and to provide scientific insights for facilitating the green transition in urban land utilization and advancing regional high-quality development. [Methods] Taking 41 prefecture-level cities in the Yangtze River Delta region as research subjects, this study constructed an evaluation index system. Then, urban green land use efficiency and high-quality development index during 2008—2022 were assessed, employing the Super-EBM with undesirable outputs and the entropy-TOPSIS model, respectively. A panel vector autoregression (PVAR) model was also adopted to reveal their interactive relationships. Furthermore, an improved coupling coordination model and GM (1, 1) gray prediction model were applied to investigate their spatiotemporal coordination characteristics and future evolution trends. [Results] 1) The urban green land use efficiency in the Yangtze River Delta region demonstrated a fluctuating upward trend, exhibiting spatial patterns characterized by "westward retreat with eastward advancement and progressive homogenization". Meanwhile,

收稿日期: 2024-12-23

修回日期: 2025-02-25

录用日期: 2025-03-03

网络首发日期(www.cnki.net): 2025-06-10

资助项目: 国家自然科学基金青年项目(52408045); 安徽省教育厅人文社科重点项目(SK2021A0344); 安徽省高校省级人文社会科学研究优秀青年项目(2022AH030030)

第一作者: 马明(1979—), 男, 硕士, 副教授, 主要从事国土空间规划技术与方法研究。E-mail: ahjzu_mam@163.com

通信作者: 马明(1979—), 男, 硕士, 副教授, 主要从事国土空间规划技术与方法研究。E-mail: ahjzu_mam@163.com

http://stbxb.alljournal.com.cn

high-quality development displayed pronounced non-linear growth trends, forming a prominent spatial pattern marked by "core-periphery radiation with axial extension". 2) The analysis revealed a bidirectional causal relationship between urban green land use efficiency and high-quality development index. Both of them experienced bidirectional shocks (endogenous and cross-systemic), but were driven predominantly by endogenous structural factors, thus demonstrating inertial dependence characteristics. High-quality development exerted a stronger promoting effect on urban green land use efficiency. 3) The coupling coordination between the two systems showed consistent growth, exhibiting a clear regional hierarchy: Shanghai>Jiangsu>Zhejiang>Anhui. Spatially, it manifested characteristics as follows: southern regions outperformed their northern counterparts, coastal areas demonstrated superior coordination to inland zones, while central cities exhibited significant developmental uplift. A "Z-shaped" axis pattern centered on developed cities emerged clearly. The coordination was expected to continuously improve, but the core-periphery distribution situation would be consolidated. [Conclusion] By fully implementing the requirements of high-quality development, leveraging the spillover effect of core growth, and implementing targeted policies for different types of cities, overall interactive and coordinated regional development can be achieved.

Keywords: urban green land use efficiency; urban high-quality development; interactive relationships; coordination effect; Yangtze River Delta region

Received: 2024-12-23

Revised: 2025-02-25

Accepted: 2025-03-03

Online(www.cnki.net): 2025-06-10

土地是人类赖以生存和发展的物质基础和空间载体,土地利用伴随经济社会各项生产建设活动不断演进变化^[1]。快速城镇化进程中,以城市建设用地扩张为主导的传统发展模式,取得经济社会发展巨大成就的同时,也带来土地利用结构失衡、效率低下、资源浪费、环境破坏等一系列问题,严重影响城市高质量发展^[2]。党的二十大报告^[3]提出,高质量发展是当前全面建设社会主义现代化国家的首要任务,城市作为各类生产建设活动的空间载体,是实现高质量发展战略的基础形式,应聚焦绿色低碳、集约高效和新技术,向城市高质量发展阶段转变。2024年2月,中央全面深化改革委员会审议通过《关于改革土地管理制度增强对优势地区高质量发展保障能力的建议》^[4],明确提出要“深化土地制度改革,提高土地利用效率,增强土地要素对优势地区高质量发展的支撑作用”。对土地绿色利用效率与高质量发展进行定量测评,深入研究互动协调关系,为推进高质量发展提供理论方法支持,已经成为当前研究城市发展的热点之一。城市土地绿色利用效率与高质量发展具有相互影响和互相促进的关系。首先,二者在本质要求上一致。土地绿色利用和高质量发展均强调经济、社会、生态效益的协调统一,区别在于前者更加强调在土地利用过程中实现,而后者侧重于城市的综合性方面^[5]。其次,提高土地绿色利用效率是实现城市高质量发展的必要条件^[6]。城市土地不仅为经济社会发展提供空间支持和保障,土地利用结构的合理性,如生态用地、产业用地、各类基础设施与服务设施用地等的规划,直接影响城市的经

济效益、生态效益和社会效益;同时,在有限土地资源约束下,通过技术创新和制度优化,如土地功能的复合化利用、存量土地再开发及土地绿色利用全生命周期管理等,能够有力促进生态、经济、社会效益的协同提升,这与高质量发展的“效率优先、生态友好、社会公平”目标形成共生关系。再次,城市高质量发展能够为土地绿色利用提供政策指引,如经济方面的创新驱动发展,影响城市产业结构、产业用地布局和规模要求等;社会层面的公共服务均等化发展,要求更加科学地规划各类公共服务设施用地;绿色发展方面强调生态优先,成为土地利用的底线和前提。因此,研究城市土地绿色利用效率与高质量发展的互动协调关系,对提升国土空间治理水平和能力、优化土地资源配置与管控、实现城市高质量发展具有重要意义。

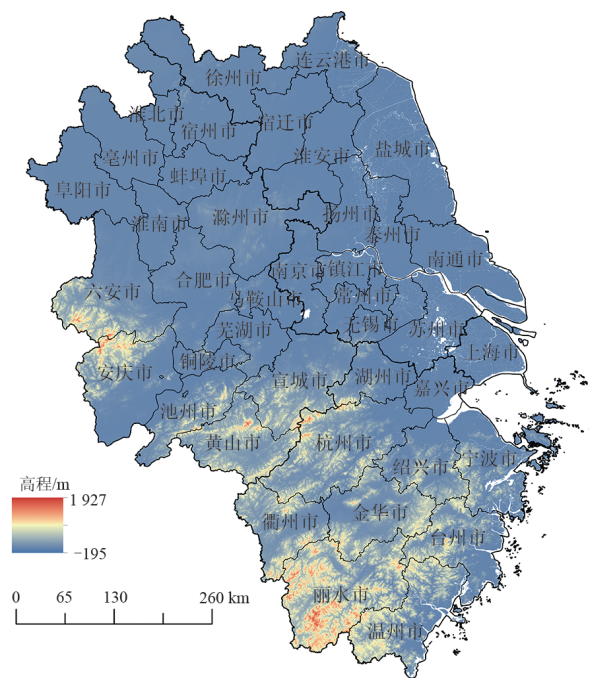
现有研究中,对于城市土地绿色利用效率研究主要集中在效率测评^[7]、影响因素^[8]等方面。在效率测度上,早期是围绕经济和社会发展建构评价指标体系,后期随着绿色发展理念深入,加入生态要素,建构起以经济、社会和生态三大维度为主的评价指标^[9],但缺少与碳排放相关的评价指标。评价方法主要是为SBM-Undesirable模型、非期望Super-SBM模型等,但SBM模型无法兼顾投入产出关系非比例调整,存在效率值偏差问题。对于城市高质量发展的研究,主要集中在发展路径、水平测度等方面。前者围绕发展要求,从经济和产业等角度探讨并提出发展建议^[10]。水平测度上,主要基于创新、协调、绿色、开放、共享等新发展理念进行表征^[11]。测度方法

上,大多采用熵权法、主成分分析法等客观赋权法,单一赋权法仍具有局限性。目前,将二者结合起来研究偏少,部分学者仅针对特定流域或单一省份,开展高质量发展视角下的城市土地绿色利用效率评价^[6],或围绕土地利用效率和高质量发展进行耦合协调研究^[12],不仅缺少对土地绿色利用效率的深入研究,对其与高质量发展的互动关系和协调效应的研究也偏少。2019年12月,中共中央、国务院颁布《长江三角洲区域一体化发展规划纲要》^[13],将长三角城市群范围划定上海市、江苏省、浙江省和安徽省全域共计41个城市,标志着长三角一体化发展上升为国家战略。在经济高速发展背景下,长三角城市群土地资源浪费、结构失调和效率低下等问题层出不穷,工业污染对生态环境的胁迫效应凸显^[14],区域内发展不平衡不充分、绿色低碳转型任务艰巨、产业发展协同性有待提高,深入探讨城市高质量发展与土地绿色利用互动与协调关系显得十分关键。基于此,以长三角地区41个地级市为研究对象,运用非期望产出Super-EBM模型、熵权-TOPSIS法,分别测度城市土地绿色利用效率及城市高质量发展指数,借助PVAR模型探究二者之间的因果关系、互动关系和互动强度,通过修正耦合协调度模型揭示二者协调状况,利用GM(1,1)灰色预测模型对未来协调发展状况进行预测,以期为促进长三角地区城市土地绿色利用转型与可持续发展提供理论依据与决策参考。

1 研究区域与方法

1.1 研究区概况

长三角地区(27°12'N~35°20'N, 114°54'~122°12'E)位于中国长江下游,濒临黄海、东海,涵盖沪、苏、浙和皖全域共41个城市,总面积约35.8万km²(图1)。地貌类型以丘陵、平原为主,地形地势由西南向东北递减,气候类型主要为亚热带季风气候。该地区是中国经济发展最好、城镇化率最高、开放力度最大、创新能力最强的区域之一,同时处于“一带一路”与长江经济带的交会区域,在全国新发展格局中地位突出。截至2022年底,全域常住人口为2.37亿人,GDP总量高达29.03万亿元,以不到全国占比4%的土地和16.8%的人口资源,创造24.1%的国内生产总值,长三角万亿城市占全国比重超1/3。目前,长三角地区正在着力推进区域一体化发展,2024年7月,《长三角地区一体化发展三年行动计划(2024—2026年)》明确提出要引领带动全国高质量发展的任务要求。作为推进区域一体化发展的先行区的典型地区,以长三角为研究对象,研究结果具有较强的示范作用,可为其他地区发展提供参考和借鉴。



注:基于中国科学院资源环境科学与数据中心网站的审图号为GS(2022)1873号的标准地图制作,底图无修改。

图1 研究区概况

Fig. 1 Overview of the study area

1.2 研究方法

1.2.1 非期望Super-EBM模型及指标体系构建

1) 非期望Super-EBM模型

TONE等^[15]提出EBM(epsilon-based measure)模型,与SBM模型相比,既考虑投入指标的径向比例关系,又能反映不同指标的非径向松弛变量;而纳入非期望产出的Super-EBM模型,进一步解决非期望产出环境变量问题,并能有效区分多个城市单元效率值同时为1的情况,增强测度结果的区分度和精确度。采用非期望Super-EBM模型测算城市土地绿色利用效率值,公式为:

$$\gamma^* = \min \frac{\theta - \epsilon_x \sum_{i=1}^m \frac{w_i^- s_i^-}{x_{ik}}}{\varphi + \epsilon_y \sum_{r=1}^s \frac{w_r^+ s_r^+}{y_{rk}} + \epsilon_z \sum_{p=1}^q \frac{w_p^- s_p^-}{z_{pk}}} \quad (1)$$

$$s.t. \begin{cases} \sum_{j=1, j \neq k}^n \lambda_j x_{ij} + s_i^- = \theta x_{ik}, i = 1, 2, 3, \dots, m \\ \sum_{j=1, j \neq k}^n \lambda_j y_{rj} - s_r^+ = \varphi y_{rk}, r = 1, 2, 3, \dots, s \\ \sum_{j=1, j \neq k}^n \lambda_j z_{pj} + s_p^- = \varphi z_{pk}, p = 1, 2, 3, \dots, q \\ \lambda_j \geq 0, s_i^- \geq 0, s_r^+ \geq 0, s_p^- \geq 0 \end{cases} \quad (2)$$

式中: γ^* 为规模报酬不变下的城市土地绿色利用效率测度值;当 $\gamma^* > 1$ 时,表示为有效决策单元, $\gamma^* < 1$ 时,即

表示效率存在损失; n 为决策单元(DMU)数量; x_{ik} 、 y_{rk} 、 z_{pk} 分别为第 k 个单元投入、期望产出和非期望产出; s_r^- 、 s_r^+ 、 s_p^- 分别为投入、期望产出和非期望产出松弛变量; w_i^- 、 w_r^+ 、 w_p^- 分别为投入、期望产出和非期望产出指标权重; θ 和 φ 为径向部分的规划参数; ε 为非径向部分权重参数,取值 $[0,1]$; λ 为参考单元相对权重。

2) 城市土地绿色利用效率评价指标体系

基于土地经济学投入-产出理论,参考已有研究^[16-19]成果,考虑综合效益与生态环境负效应,构建城市土地绿色利用评价指标体系(表1)。投入视角中,土地、资本、劳动力为决定土地利用系统运作的三大基础要素,分别用城市建成区面积、固定资产投资额、第二产业和第三产业从业人员进行表征;科技和能源作为影响

土地节约集约利用的重要因素,分别用研究与试验发展经费支出和能源消耗量进行表征。期望产出上,经济效益反映绿色产业发展水平,社会效益反映城市民生福祉,生态效益体现土地利用友好程度,分别用第二产业和第三产业增加值、在岗职工平均工资和建成区绿化覆盖率衡量。非期望产出上,主要考虑城市土地利用过程中带来的环境负效应,工业污染包括工业废水、工业SO₂和工业粉尘等工业废气排放量,为避免DEA指标过多,同时消除指标间单位量纲差异,采取熵权法计算工业污染综合指数^[20]。碳排放量由不同能源碳排放相加所得,天然气、液化石油气等直接能源碳排放参考2006年IPCC国家温室气体清单指南^[21],电能、热能等间接能源碳排放参考吴建新等^[22]的研究方法。

表 1 城市土地绿色利用效率评价指标体系

Table 1 Evaluation index system of urban land green utilization efficiency

一级指标	二级指标	三级指标	单位
投入指标	土地	城市建设区面积	km ²
	资本	固定资产投资额(以2008年为基期,采用永续盘存法计算) ^[23]	万元
	劳动力	第二产业和第三产业从业人员	万人
	科技	研究与试验发展经费支出	亿元
	能源	能源消耗量(参照《综合能耗计算通则》,将天然气、液化石油气与用电量折算为标准煤,折算系数依次为1.33 kg/m ³ 、1.714 3 kg/m ³ 、0.122 9 kg/(kW·h) ^[18]	万 t
期望产出指标	经济效益	第二、三产业增加值	亿元
	社会效益	在岗职工平均工资	万元
	环境效益	建成区绿化覆盖率	%
非期望产出指标	环境污染	工业污染综合指数	—
	碳排放量	CO ₂ 排放量(综合计算天然气、液化石油气等直接能源产生的碳排放与电能、热能等间接能源产生的碳排放)	万 t

1.2.2 熵权-TOPSIS法及指标体系构建

1) 熵权-TOPSIS法

熵权-TOPSIS法是一种解决多指标评价、排序问题的综合决策法,它能综合考虑不同指标间关系,利用熵权法进行客观赋权,同时结合TOPSIS法计算各方案与理想解的距离得到相对接近度,结果更加客观准确。采用熵值-TOPSIS法测算高质量发展指数,具体公式见文献^[24]。

2) 城市高质量发展评价指标体系

参考相关研究^[25-29]成果,基于“创新、协调、绿色、开放、共享”的新发展理念,构建综合评价指标体系(表2)。其中,创新是实现城市高质量发展的强大动力,创新能力提升需要资金、人才支持及良好孵化条件与城市氛围,从创新投入、产出、环境和效率4个层面选取7个指标;协调是实现高质量发展的内在诉求,长三角地区在城乡发展、产业结构、金融行业等方面区域发展不平衡显著,从城乡、产业、区域和金融协调4个层面选取7个指标;绿色是实现高质量发展的重要表现,旨在实现资源环境的可持续发展,主

要从污染排放、能源消耗、环境治理和质量4个层面选取8个指标;开放是实现高质量发展的必由之路,“双循环”背景下要重点解决内外发展联动问题,从对外和对内开放2个层面选取7个指标;共享是实现高质量发展的本质特征,努力让全体居民充分享受发展成果,主要从公共设施和就业民生2个层面选取7个指标。

1.2.3 PVAR模型 面板向量自回归(PVAR)模型结合面板数据和VAR模型的优点,它解决变量内生性、异质性和动态性问题,可以检验变量间因果关系并能预测外部扰动对变量的冲击效应^[30]。采用PVAR模型揭示城市土地绿色利用效率与高质量发展的动态响应关系,公式为:

$$Y_{mn} = \theta_0 + \sum_{j=1}^k \theta_j Y_{mn-j} + \alpha_m + \beta_n + \varepsilon_{mn} \quad (3)$$

式中: Y_{mn} 为包含城市土地绿色利用效率和高质量发展的被解释变量, m 、 n 分别为城市数量和年份; θ_0 为截距项; θ_j 为滞后 j 阶矩阵; α_m 、 β_n 分别为个体效应和时间效应; ε_{mn} 为随机误差。

表 2 城市高质量发展评价指标体系
Table 2 System of indicators for evaluating high-quality urban development

一级指标	二级指标	三级指标	单位	属性	权重系数 $w/\%$
创新	创新投入	科技支出比重	%	+	2.12
		研究与试验发展(R&D)人员	万人	+	6.38
	创新产出	发明专利授权量	件	+	7.44
		GDP 增长率	%	+	2.54
	创新环境	规模以上工业总产值	亿元	+	4.83
		规模以上工业企业单位数	个	+	4.24
	创新效率	城市创新指数 ^[29]	—	+	8.29
协调	城乡协调	城乡收入比	—	-	1.29
		城乡消费比	—	-	1.24
	产业协调	产业结构高级化	—	+	1.26
		产业结构合理化	—	+	0.90
	区域协调	各市人均 GDP 与全国人均 GDP 比	—	+	2.13
		人口城镇化率	%	+	1.51
	金融协调	金融机构存贷款比	—	+	2.39
绿色	污染排放	单位 GDP 工业废水排放	t/万元	-	0.97
		单位 GDP 工业二氧化硫排放	t/万元	-	0.78
		单位 GDP 工业烟尘排放	t/万元	-	1.05
	能源消耗	单位 GDP 电耗	(kW·h)/万元	-	1.09
	环境治理	生活垃圾无害化	%	+	1.25
		污水处理率	%	+	1.33
	环境质量	人均公园绿地面积	m ²	+	0.61
		PM _{2.5} 年平均浓度	mcg /m ³	-	1.24
开放	对外开放	外贸依存度	%	+	4.97
		利用外资强度	%	+	2.93
		港澳台和外商投资企业个数	个	+	7.29
		港澳台和外商投资企业产值	亿元	+	6.26
	对内开放	社会零售消费品总额占 GDP 比重	%	+	2.80
		人均公路客运量	万人	+	3.87
		人均公路货运量	万 t	+	2.36
共享	公共设施	万人拥有医疗床位数	张	+	0.83
		万人拥有公共图书数	百册	+	5.03
		百人国际互联网用户数	户/百人	+	1.86
		人均道路面积	m ²	+	1.75
	就业民生	教育从业人员数与总人口比	—	+	1.05
		城镇失业率	%		2.02
		城镇居民人均可支配收入	万元	+	2.21

1.2.4 修正的耦合协调度模型 协调度是衡量系统间协调程度及质量高低的重要指标,传统耦合协调模型大多将 α 、 β 设置为同等重要,与实际情况存在偏差,并存在缺少区分度的情况^[31]。通过对 α 、 β 值进行系数修正,探究城市土地绿色利用效率与高质量发展协调水平,可减少误差并显著提升区分度^[32],公式为:

$$C=2\sqrt{\frac{U_1\times U_2}{(U_1+U_2)^2}}\tag{4}$$

$$T=\alpha U_1+\beta U_2\tag{5}$$

$$\alpha=\frac{U_2}{U_1+U_2},\beta=\frac{U_1}{U_1+U_2}\tag{6}$$

$$D=\sqrt{CT}\tag{7}$$

式中: U_1 为城市土地绿色利用效率指数; U_2 为城市高质量发展指数; α 、 β 为修正后的贡献系数; C 为耦合度; D 为协调度,值域为 $[0,1]$,值越大,说明二者协调效应越好。结合相关研究^[33],对耦合协调度进行划分(表3)。

表 3 耦合协调度类型划分
Table 3 Classification of coupling coordination degree types

耦合协调度(D)	发展阶段	具体类型
[0,0.1]	失调衰退	极度失调
(0.1,0.2]		严重失调
(0.2,0.3]		中度失调
(0.3,0.4]		轻度失调
(0.4,0.5]		濒临失调
(0.5,0.6]	过渡转型	勉强协调
(0.6,0.7]		初级协调
(0.7,0.8]	协调发展	中级协调
(0.8,0.9]		良好协调
(0.9,1.0]		优质协调

1.2.5 GM(1,1)灰色预测模型 基于灰色预测理论的GM(1,1)模型通过构建数学模型揭示以往数据规律,对未来发展进行中短期预测,它具有数据可用性强、预测准确性高特点,在动态预测领域应用广泛^[34]。借助该模型对耦合协调水平进行预测,计算步骤为:

1)设原始时间序列 $X_0=\{x_0(1), x_0(1), x_0(2), \dots, x_0(n)\}$ 有 n 个观测值,累加后形成新序列 $X_1=\{x_1(1), x_1(1), x_1(2), \dots, x_1(n)\}$,则GM(1,1)模型公式为:

$$\frac{dX_1}{dt} + \theta X_1 = \mu$$

(8)

式中: t 为年份; θ 为发展灰数; μ 为内生控制灰数。

2)设待估参数向量 $\hat{\theta}=(\frac{\theta}{\mu})$,通过最小二乘法计算 $\hat{\theta}=(B^TB-1)B^TY_n$,对式(8)求解得到预测模型:

$$x_1^T \hat{X}(K+1) = \left[x_0(1) - \left(\frac{\mu}{\theta} \right) \right] e^{-\theta k} + \frac{\mu}{\theta},$$

(9)

$$k=1, 2, \dots, n$$

式中: $x_1^T \hat{X}(K+1)$ 为预测值; e 为自然对数。

3)对预测模型进行精度检验,若同时满足 $p>0.7$ 且 $C<0.65$ (表4),则预测值合理有效,否则需分析残差序列并修正公式。

表 4 灰色预测精度检验等级

Table 4 Gray prediction accuracy test level

模型精度等级	后验差比C值	相对精度p值
好	$C \leq 0.35$	$p > 0.95$
合格	$0.35 < C \leq 0.5$	$0.8 < p \leq 0.95$
勉强合格	$0.5 < C \leq 0.65$	$0.7 < p \leq 0.8$
不及格	$C > 0.65$	$p \leq 0.7$

1.3 数据来源

本研究选取长三角地区41个地级市为研究对象,鉴于数据完整性和可获取性,时间限定为2008—2022年。其中,行政区划数据来自中国科学院资源

环境科学与数据中心(<https://www.resdc.cn>),DEM数据来自地理空间数据云(<https://www.gscloud.cn/>),社会经济数据来自2009—2023年《中国城市统计年鉴》^[35]、各省、市统计年鉴及国民经济和社会发展统计公报,能源消费数据来自2009—2023年《中国能源统计年鉴》^[36],PM_{2.5}数据来自哥伦比亚大学社会经济与数据应用中心,城市创新创业指数来自北京大学开放研究数据平台。为消除价格影响,所有经济数据均以2008年为基期进行换算处理。部分年份有少量缺失数据,采用线性插值法或整体均值法补齐。考虑到研究期内长三角地区城市行政区划调整的影响,为保证数据完整性和统一性,以2022年城市行政区划为准,将调整前地区数据归入调整后地区。

2 结果与分析

2.1 城市土地绿色利用效率和城市高质量发展测评

2.1.1 城市土地绿色利用效率 由图2可知,长三角地区城市土地绿色利用效率整体平均值为0.768,未达到效率前沿。研究期内呈波动增长态势明显,2008—2010地区积极贯彻国家“节能减排”政策,由0.697水平增长至0.731;2011—2015年,地域范围扩张伴随城市土地低效开发利用,由0.777水平减至0.703;2016—2018年,注重科创集约并加强环境治理,由0.744大幅升至0.823;受重大公共卫生事件冲击影响,2019—2020年,由0.853骤减至0.749,跌幅达12.187%,后于2021年大幅回升。分区域来看,2008—2016年,安徽省处于领先地位,浙江省高于上海市和江苏省;2017—2022年,上海市、江苏省攀升至顶端,而安徽省滑落至最底端,与发达地区“先污染后治理”的发展路径有关,经济发展初期与土地绿色利用存在冲突。各地级市来看,采用平均值标准差法^[37]将效率值划分为低水平区(0,0.65]、较低水平区(0.65,0.77]、中等水平区(0.77,0.84]、较高水平区(0.84,1.00)、有效水平区(效率值 ≥ 1)等5个类型(图3),整体表现“西退东进-泛均质化”的空间特征。2008—2015年,安徽省实施强省会战略,西部、南部高值区向中部合肥市收缩,江苏省土地开发污染较高,仅有常州市这一极化中心,浙江省西南部自然资源禀赋好,高值区较为稳定。2015—2022年,安徽省南部地区与浙江省连接形成连绵区域,沿江地区以“上海市-南京市”为轴线进行干线延伸,北部地区淮北市、亳州市和徐州市的中心地位凸显,最终形成多点分布、带状延伸和片状绵延局面。

2.1.2 城市高质量发展 从图2还可看出,长三角地区城市高质量发展平均值仅为0.208。研究期内非线性增长特征突出,2008—2011年,受国际金融危机和国家宏观调控双重影响,由0.167呈“U”形增长至

0.207;2012—2016年,处于由“消费”向“出口”转变的社会结构调整期,由0.202水平下降至0.182;2017—2022年,国家提出“高质量发展”战略,由0.214波动上升至0.259。分区域来看,上海市经济发达、鼓励创新且注重协调发展,指数水平最高,江苏省和浙江省发展指数接近,而安徽省各方面条件相对较弱,一直处于底端。各地级市来看,采用固定标准法^[38]将发展指数分为低水平区(低于平均值的0.75倍)、较低水平区(平均值的0.75~1.00倍)、中等水平区(平均值的1.00~1.25倍)、较高水平区(平均值的1.25~

1.50倍)、高水平区(高于平均值的1.50倍)等5个等级(图3),整体呈现“极化辐射-干线延伸”的空间格局。2008—2015年,高质量发展高水平地区主要集中在上海市和苏州市,极化现象显著,周边地区受其辐射作用趋于改善;2015—2022年,高值区以沪宁合、沪杭甬线为走廊进行扩展,南京市、无锡市、合肥市、杭州市和宁波市等城市迅速成长,形成直辖市-省会城市-区域中心城市的多核心发展格局,低值区主要集中在安徽省大部分地区及江苏省的宿迁市、连云港市等地区。

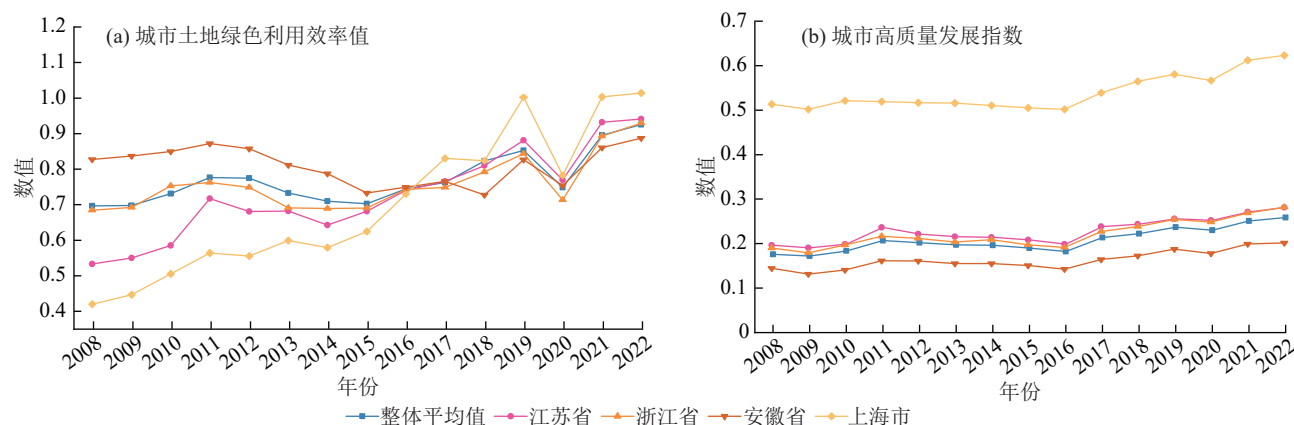


图2 城市土地绿色利用效率和高质量发展时序演进

Fig. 2 Time-series evolution of green land-use efficiency and high-quality development in cities

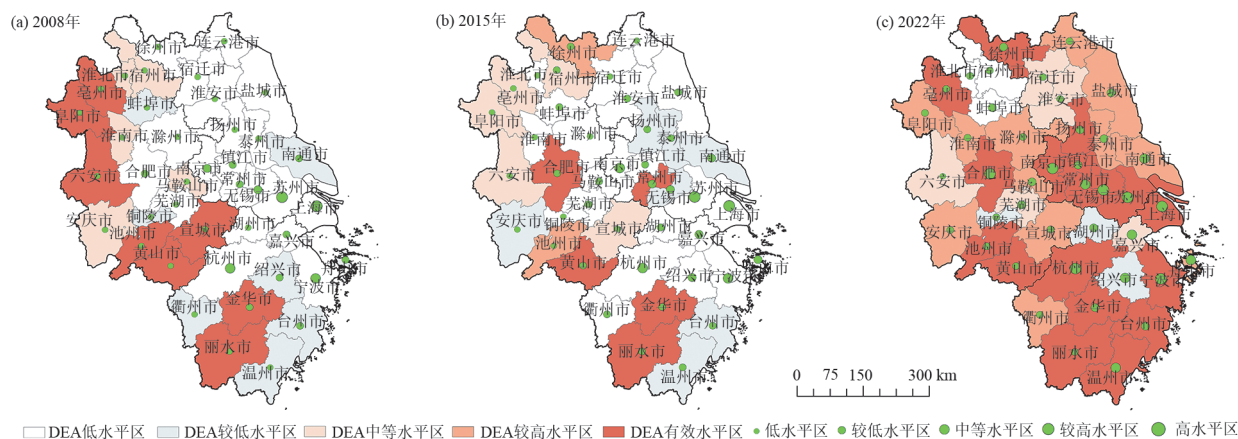


图3 城市土地绿色利用效率和高质量发展空间分布

Fig. 3 Spatial distribution of green land-use efficiency and high-quality development in cities

2.2 城市土地绿色利用效率与城市高质量发展的互动关系

2.2.1 单位根、格兰杰因果检验和GMM估计 通过数据对数化处理消除异方差,得到城市土地绿色利用效率($\ln ULGUE$)和城市高质量发展($\ln HQ$)。为杜绝“伪回归”现象,选择LLC、IPS和HT进行数据单位根检验,二者均通过1%的显著性检验,所有数据皆为平稳序列(表5)。格兰杰因果检验(表6)可知,城市土地绿色利用效率和城市高质量发展均在1%显著性水平下拒绝原假设,二者具有双向交互的

因果关系。以AIC、BIC、HQIC最小值确定GMM估计最优滞后阶数为1(表7),估计结果(表8)可知,城市土地绿色利用效率和城市高质量发展滞后1期对自身的影响均显著为正,反应系数分别为0.745和1.008,说明其对自身发展存在正向累积效应和惯性依赖特征。城市土地利用效率滞后1期对城市高质量发展的影响和城市高质量发展滞后1期对城市土地绿色利用效率的影响均显著为正,回归系数分别为0.041和1.267。表明二者存在正向交互关系,均促进对方发展水平的提高,且此机制得到充分发挥。

表 5 变量平稳性检验
Table 5 Variable smoothness test

变量	LLC 检验		IPS 检验		HT 检验		结果
	统计量	显著性	统计量	显著性	统计量	显著性	
InULGUE	-3.134 8	0.000 9***	-2.699 0	0***	0.307 3	0***	平稳
InHQ	-3.103 8	0.001 0***	-2.420 3	0***	0.165 4	0***	平稳

注:*,**、***分别表示在10%、5%、1%的显著性水平下通过检验。下同。

表 6 格兰杰因果检验
Table 6 Granger causality test

变量	原假设	Prob	结论
InULGUE InULGUE 不是 InHQ 的原因	24.900*** (0)		拒绝
InHQ InHQ 不是 InULGUE 的原因	7.227*** (0.007)		拒绝

表 7 最优滞后阶数选取
Table 7 Optimal lag order selection

滞后期数	AIC	BIC	HQIC
1	-4.733 6	-67.306 4	-29.590 6
2	-6.223 3	-53.152 9	-24.866 0
3	-1.283 3	-32.569 7	-13.711 8
4	0.895 1	-14.748 1	-5.319 1

表 8 GMM 估计
Table 8 GMM estimation

变量	h_InULGUE	h_InHQ
L1.h_InULGUE	0.745(11.56)***0	0.041(2.69)***0.007
L1.h_InHQ	1.267(4.99)***0	1.008(28.58)***0

注:括号中数值为t检验值。

2.2.2 脉冲响应分析 通过 200 次蒙特卡罗模拟,绘制城市土地绿色利用效率与城市高质量发展脉冲响应图(图 4)。城市土地绿色利用效率和城市高质量发展对自身冲击效应均显著为正,在第 1 期达到峰值,随后逐渐收敛直至不再显著。表明两大系统均具有自我增强机制和路径依赖特征,并随时间推移而减弱,与上文 GMM 估计结果吻合。对于 1 个标准差的城市土地绿色利用效率的冲击,城市高质量发展也在第 1 期也呈显著正向脉冲效应,在第 3 期达到峰值,随即弱化收敛于 0。说明当前城市土地绿色利用效率提升只能在短期内满足高质量发展要求,作用强度不具备长期带动能力。对于 1 个标准差的城市高质量发展的冲击,城市土地绿色利用效率脉冲效应在第 1 期便显著为正,于第 4 期到达峰值,而后降低收敛于 0,表明高质量发展对城市土地绿色利用效率影响具有一定滞后性,前期投入无法快速体现成效,通过新旧动能转换推动土地绿色利用,但边际效应随时间推移而减弱。整体来看,二者的相互冲击均表现为“倒 U”形正向积累效应,存在相互支撑、交互影响作用机制,但超过临界值之后,正向促进效应减弱。

2.2.3 方差分解 为揭示系统变量受外部冲击程度的相对累计贡献率,对脉冲关系进行方差分解。结果(表 9)显示,城市土地绿色利用效率分解中,其受自身冲击强度由第 1 期的 98.6% 减至第 20 期的 84.0%,受城市高质量发展冲击强度由第 1 期的 1.4% 升至第 20 期的 16.0%,说明城市土地绿色利用效率提升对高质量发展具有一定依赖性,高质量发展有利于促进生产要素高效配置、合理调整用地结构与功能布局,为土地绿色利用提供有力支持,但影响程度有限,其更多依赖自身发展,高质量发展的转化机制仍需完善。城市高质量发展分解中,其受自身冲击强度由第 1 期的 100.0% 减至第 20 期的 89.6%,受城市土地绿色利用效率冲击强度由第 1 期的 1.0% 升至第 20 期的 10.4%,由于城市土地绿色利用效率提升增加土地综合效益产出,为高质量发展不同模块提供支撑,由此形成驱动效应。高质量发展对城市土地绿色利用效率的贡献率较弱,更多还是受到自身结构冲击的影响,可能与高质量发展机制的复杂性有关,其本身除受到土地利用之外,还可能受到数字经济、环境规制、开放程度等诸多因素扰动。总而言之,两大系统对彼此的贡献度逐年增加,城市高质量发展对城市土地绿色利用效率的促进作用更大,但二者还是更多地依赖自身发展,交互影响程度有待加强。

2.3 城市土地绿色利用效率和城市高质量发展的协调效应

2.3.1 时序演变 由图 5 可知,两大系统耦合协调度平均值为 0.500,由 2008 年的 0.440 稳步增长至 2022 年的 0.566,实现从濒临失调到勉强协调的跃升,二者协同效应不断增强。分区域来看,各省市协调度不断增强,但发展形态和水平各异;上海市介于[0.70, 0.90],断层领先其他地区且波动性最大,江苏省、浙江省水平相近、交替领先,安徽省耦合协调水平最低。从各城市看,耦合协调度均实现不同程度上升,大部分城市从过渡阶段转型向协调发展阶段转移,处于整体趋良、局部创优的良好局面,但仍存在失调滞后区。2008 年,仅有上海市、苏州市处于协调阶段,23 个城市处于过渡转型,占比 56.098%,16 个城市处于失调衰退,占比 39.024%;2022 年,土地绿色利用和高质量发展愈受政府重视,有 11 个城市跃升至协调类

型,上海市、苏州市达到良好协调状态,南京市、杭州市为中级协调,无锡市、南通市、常州市、嘉兴市、舟山市和合肥市为初级协调,区域内系统有序发展的状态得到改善。其余 30 个城市均处于过渡转型阶段,大多数

出现在安徽省,占比高达 50.000%。截至研究期末,亳州市、六安市、池州市、安庆市、淮南市、宣城市等 6 市才实现从轻度失调向濒临失调的转变,因为这些地区土地利用效益低下、综合发展水平较低等问题突出。

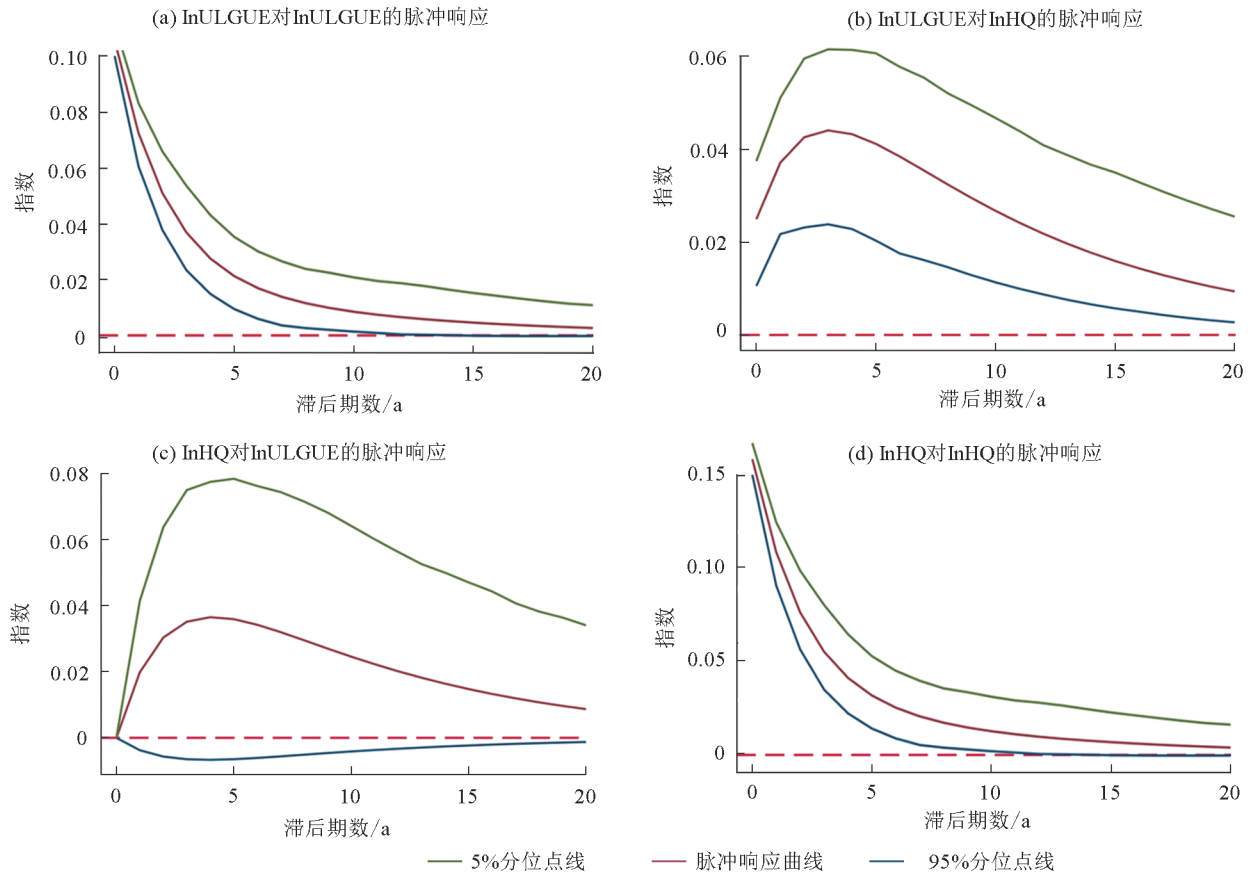


图 4 脉冲响应分析
Fig. 4 Impulse response analysis

表 9 方差分解
Table 9 Variance decomposition

期数	lnULGUE		lnHQ	
	lnHQ	lnULGUE	lnHQ	lnULGUE
1	1.4	98.6	100	0
5	8.2	91.8	94.9	5.1
10	13.5	86.5	91.2	8.8
15	15.4	84.6	90.0	10.0
20	16.0	84.0	89.6	10.4

2.3.2 空间格局 由图 6 可知,耦合协调度呈“极化辐射-干线延伸”空间演化特征,且“核心-边缘”分布特征明显。高值区以上海市为核心,以合肥市为起点,宁波市为终点,苏州市、南京市、杭州市为重要战略支点的“Z”字形轴线格局,这些城市经济基础雄厚,科创能力突出,产业体系完善,综合竞争力强,是长三角重点发展和优化区域;低值区主要集中在苏北、浙南和皖西等城市,大多依靠承接发达城市的产业转移而起步,产业集聚短期内能产生规模效应,但

内生发展动力不足,生态环境污染接踵而来,综合水平较低。其中上海、南京、苏州、杭州等中心城市的极化辐射作用突出,即距离越近的城市其协调度越高,中心城市与边缘城市间具有某种支配和依附关系。趋势面上看,曲线演进态势总体较为稳定,东西方向曲线较为平直,呈现“东高西低”偏态分布,东部沿海地区经济基础好,开放力度大,城市建设与治理水平高,协调水平始终优于西部;南北方向曲线弧度较大,以长江主航道为轴线呈现“南高北低、中部隆起”倒 U 形的空间分布,南部地区综合发展实力强,协调效应高于北部地区,但中部地区增长态势最佳。由于长江主航道自西向东高度集中人口和资本要素,国际大都市上海市作为航道终点,拥有世界级港口,但对南北方向的辐射作用随距离增长而衰减,因此形成“两头低、中间高”的倒“U”形分布格局。

2.3.3 未来预测 采用 GM(1,1)灰色预测模型预测长三角地区两大系统的耦合协调水平(图 7)。其中,极比值均在标准区间(0.882,1.133)内,满足模型构建

要求;后验差比 C 值均 <0.35 , 相对精度 p 值最小为 0.934, 精度均在合格范围内。2023—2030 年, 地区协调度呈现稳步增长态势, 由 0.574 稳步增长至 0.650, 整体平均值为 0.611, 属于初级协调。各城市协调水平持续改善, 截至 2030 年, 上海市实现最高水平的优质协调, 南京市、杭州市、苏州市处于良好协调状态, 无锡市、宁波市、合肥市达到中级协调, 初级协调城市高达 21 个, 数量最多, 其余城市均为勉强协调, 多集中于安徽省内;增速较快的分别为南京市、上海市

和合肥市。从空间上看, 地区协调的空间分异性显著, 总体呈现上海市 $>$ 江苏省 $>$ 浙江省 $>$ 安徽省的基本格局, 且地区差异逐渐扩大, “核心-边缘” 的分布态势得到巩固, 表现为上海市、南京市、杭州市和合肥市等区域中心城市的核心地位不断强化, 而边缘地区城市的发展则受到挤压。因此, 各城市需补齐自身短板, 加强地区间协作交流, 发挥核心地区扩散和带动作用, 将成为区域土地绿色利用和高质量发展协调共生的重要路径。

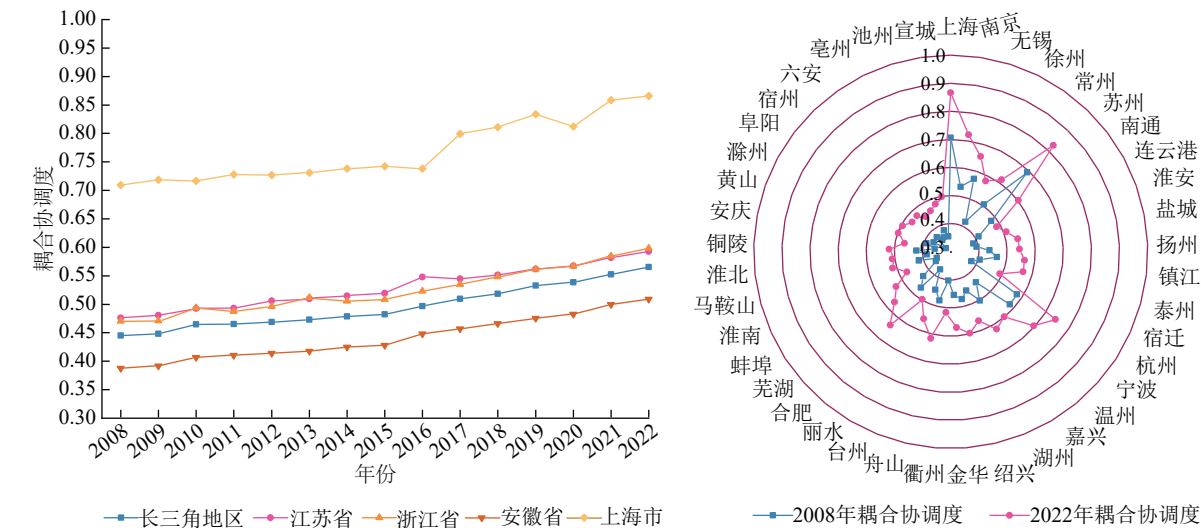


图 5 系统耦合协调度时序演进
Fig. 5 Time-series evolution of system coupling coordination degrees

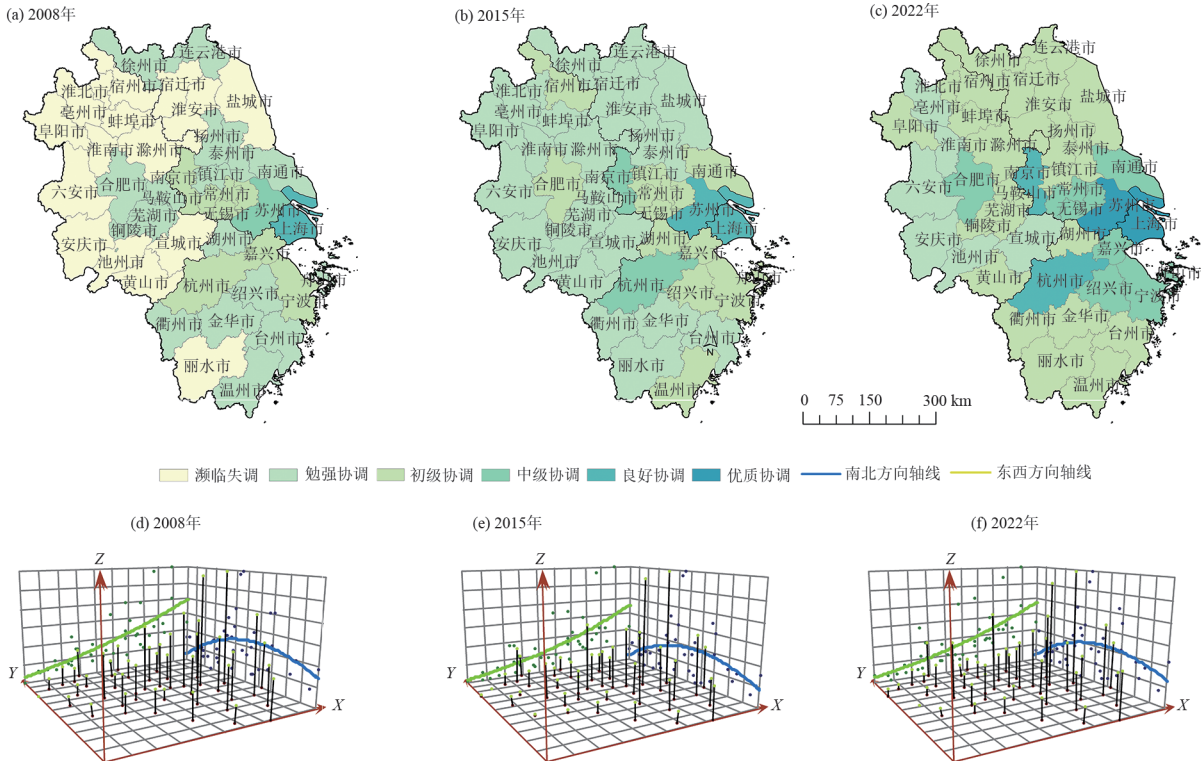


图 6 系统耦合协调度空间分布
Fig. 6 Spatial distribution of system coupling coordination
<http://stbcbx.alljournal.com.cn>

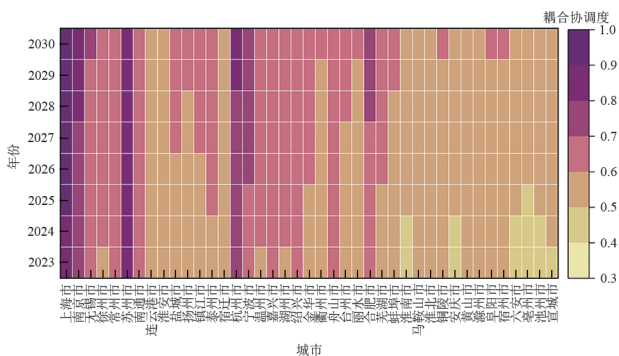


图 7 系统耦合协调度预测
Fig. 7 Prediction of system coupling coordination

3 讨论

世界各主要国家和地区经济社会发展的普遍规律表明,早期追求发展速度对应的是城市建设用地的快速扩张,而中后期更加注重发展质量的同时,建设用地利用也逐步转向节约集约发展。土地绿色利用效率更加注重节约集约、低碳循环及可持续的利用模式,与高质量发展所要求的经济绿色化、科技高投入化、环境破坏最小化、能源消耗最低化等要求,从目标角度来说具有一致性。本文在相关研究基础上,进一步探究土地绿色利用效率与高质量发展的交互协调关系,研究发现二者具有相互支撑和促进作用,相关之间产生影响作用,但对不同城市,其影响的强烈程度和主要因素具有差异性。

在土地绿色利用效率和高质量发展水平方面,对比已有研究,土地绿色利用效率的演进趋势与章屹桢等^[39]研究结果相似,但是局部略有差异,主要是由于评价指标体系中加入碳排放量等指标,同时采用更为科学的非期望 Super-EBM 模型。在效率值方面,安徽省波动增长态势最为明显,主要是由于早期安徽省生态环境保护压力较小,正在快速推进工业化、城镇化发展,中期生态环境保护压力逐渐增大且创新发展不足,效率值难以快速提升。城市高质量发展水平与陈枳宇等^[40]研究结果一致,高值区在江浙沪等中心城市点状分布,低值区集中在苏北、皖北等欠发达地区。在互动协调效应方面,由于已有研究较少,且仅在单个省份开展^[41],故无法判定结果是否存在一致性。在互动关系上,研究结果表明,土地绿色利用效率和高质量发展之间存在正向交互关系,能够互相促进水平的提高,但高质量发展对土地绿色利用效率的促进作用更为明显。可能是由于土地开发利用的成效具有一定的时间滞后性,土地的“开发-建设-运营-产出”需要一定周期,其经济社会价值并不一定在短期内呈现,因而使土地绿色利用效率对高质量发展的促进作用不够明显。在协调效

应上,水平较高的是上海市、苏州市、南京市、杭州市等中心城市,能够清晰地表明,国家和区域中心城市在发展政策、产业基础、城市规模等方面具有显著优势,通过极化效应集聚优势资源,而位于中心城市周边、产业基础薄弱、城市规模较小、生态保护压力较大的城市,如亳州市、六安市、池州市、安庆市等城市,面临较多的约束因素,需要统筹区域协调、交通设施、产业分工、资源利用、环境保护等方面的支持条件,应建立良好的扶持机制以支持该类城市突破发展困境。

基于此,研究建议在长三角地区推进一体化发展进程中,应全面贯彻落实高质量发展要求,着力完善一体化发展体制机制,加快提升区域市场一体化水平,统筹发展战略、产业、土地、资源和生态等方面的政策引导,因地制宜制定产业发展和资源利用措施。加强跨区域协同的科技创新,加快推进产业集群建设,充分发挥中心城市辐射带动作用,以上海、杭州、南京、合肥等都市圈一体化协同发展为引领,率先实现重点区域的高质量发展目标。积极推进长三角区域高层次协同开放,深化区域合作模式,完善常态化联系机制,发展区域增长极的正向空间溢出效应,同时合力保护重要生态空间,保障生态系统的完整性。对于互动协调效应较好的中心城市,大力推进产业升级、城市更新的同时,向边缘低水平协调城市转移先进技术和产业,努力探索存量发展新路径。其他一般和较低水平的城市,以落实区域一体化发展建设项目为重点,做好土地利用储备,更新土地管理模式,适当调整土地利用结构,促进建设用地结构优化;盘活低效闲置用地,严控建设用地增量,完善数字化网络监测评估机制,加强低效污染用地整治,实现精细智慧化治理。同时要积极推进城乡融合发展,深入学习借鉴浙江省全域土地综合整治经验,以县域或者乡镇为单元开展全域土地综合整治,促进城乡要素平等交换、双向流动,优化乡村地区国土空间布局,助力乡村地区的高质量发展。

本研究尚有不足之处有待完善,首先,在指标体系建构方面,随着相关政策和理念的深化,还可以继续拓展,科学客观遴选评价指标;其次,在研究尺度上,囿于部分数据获取困难,未能选择更具有代表性的县域尺度作为研究对象;最后,在研究内容上,虽然已验证城市土地绿色利用效率与高质量发展的互动协调效应,但未能进一步探究二者互动协调的影响机制。今后,可借助大数据、人工智能与机器学习算法,构建更为科学的评估模型,以县域单元为研究尺度,从生态系统服务价值评估、土地经济价值核算、社会公平与公众参与等多维度,进一步深入挖掘

二者互动协调的影响机制;并立足区域资源禀赋、经济基础和发展阶段,进一步探索差异化提升机制,为实现整体协调发展提供支持。

4 结论

1)2008—2022年,长三角地区城市土地绿色利用效率平均值为0.768,整体呈“M”形波动上升态势;上海市、江苏省不断攀升、后来居上,安徽省持续下降,浙江省与平均值持平,呈“西退东进-泛均质化”的空间演化特征。城市高质量发展平均值为0.207,整体非线性增长特征明显,分为“U”形“上升-直线下降-波动增长”3个阶段。上海市发展水平最高,安徽省发展水平最低,呈“极化辐射-干线延伸”空间格局发展特征。

2)2008—2022年,长三角地区城市土地绿色利用效率和城市高质量发展具有稳定均衡关系,且互为格兰杰因果关系。二者均受到自身和对方的双重冲击影响,其中受自身的冲击作用更大,正向累积效应和惯性依赖特征显著,但效应随时间演化而逐年下降,其中城市土地绿色利用效率的衰减趋势更为明显。交互影响中,二者均呈倒“U”形发展趋势,城市高质量发展对城市土地绿色利用效率促进更明显。

3)2008—2022年,长三角地区两大系统协调水平稳步增长,整体平均值为0.500。上海市发展水平断层领先其他省份,各城市水平提升显著,过渡类占据主导,协调类不断增多,失调类全部消失,处于整体趋良、局部创优的局面。空间上,以上海市、苏州市、南京市、合肥市、杭州市、宁波市等为核心的“Z”形轴线格局逐渐明晰,总体呈现“南高北低、东高西低、中部隆起”的空间特征。未来区域协调水平将持续改善,依旧呈上海市>江苏省>浙江省>安徽省的基本格局,但地区差异逐渐扩大,“核心-边缘”分布态势得到巩固。

参考文献:

- [1] 刘彦随. 现代人地关系与人地系统科学[J]. 地理科学, 2020,40(8):1221-1234.
LIU Y S. Modern human-earth relationship and human-earth system science [J]. Scientia Geographica Sinica, 2020,40(8):1221-1234.
- [2] 陈红梅,张彩莉,李建豹. 长三角地区新型城镇化对城市土地绿色利用效率的影响及空间效应[J]. 长江流域资源与环境, 2024,33(7):1382-1396.
CHEN H M, ZHANG C L, LI J B. Research on influence and spatial effect of new-type urbanization on urban land green use efficiency in the Yangtze River Delta Region [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2024,33(7):1382-1396
- [3] 毛艳. 中国城市群经济高质量发展评价[J]. 统计与决策, 2020,36(3):87-91.
MAO Y. Evaluation on high quality economy development of China's urban agglomeration [J]. Statistics and Decision, 2020,36(3):87-91.
- [4] 中国共产党中央全面深化改革委员会. 关于改革土地管理制度增强对优势地区高质量发展保障能力的建议[EB/OL]. [2024-02-19]. <https://www.gov.cn/yaowen/liebiao/202402/content6932052.htm>.
Central Committee of the CPC for Comprehensively Deepening Reform. Suggestions on reforming the land management system to enhance the ability to ensure high quality development in advantageous areas [EB/OL]. [2024-02-19]. https://www.gov.cn/yaowen/liebiao/202402/content_6932052.htm.
- [5] 段琳琼,郝铭,赵修研,等. 黄河流域城市高质量发展与城市土地利用效率耦合协调时空演化分析[J]. 区域经济评论, 2024(2):119-129.
DUAN L Q, HAO M, ZHAO X Y, et al. Spatio-temporal evolution analysis of coupling coordination between urban high-quality development and urban land use efficiency in the Yellow River Basin [J]. Regional Economic Review, 2024(2): 119-129.
- [6] 冯雨豪,童文,李子杰,等. 高质量发展视角下江苏省城市土地绿色利用效率时空分异与影响因素研究[J]. 水土保持通报, 2022,42(6):351-360.
FENG Y H, TONG W, LI Z J, et al. Spatiotemporal differentiation and influencing factors of urban land green use efficiency in Jiangsu Province from perspective of high-quality development [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2022,42(6):351-360.
- [7] 曾鹏,蒋晓昆,陈意. 中国城市群土地绿色利用效率时空演变及爬升曲线模拟[J]. 资源科学, 2024,46(1):187-204.
ZENG P, JIANG X K, CHEN Y. Spatiotemporal evolution and climbing curve simulation of land green use efficiency in urban agglomerations of China [J]. Resources Science, 2024,46(1):187-204.
- [8] HE S C, GONG X Y, DING J, et al. Environmental regulation influences urban land green use efficiency: Incentive or disincentive effect? Evidence from China [J]. Heliyon, 2024,10(9):e30122.
- [9] 梁流涛,雍雅君,袁晨光. 城市土地绿色利用效率测度及其空间分异特征:基于284个地级以上城市的实证研究[J]. 中国土地科学, 2019,33(6):80-87.
LIANG L T, YONG Y J, YUAN C G. Measurement of urban land green use efficiency and its spatial differentiation characteristics: An empirical study based on 284 cities [J]. China Land Science, 2019,33(6):80-87.
- [10] 段永彪,董新宇. 新质生产力助推城市高质量发展的内

- 在逻辑与实现路径[J]. 西安交通大学学报(社会科学版), 2025, 45(2): 41-52.
- DUAN Y B, DONG X Y. The internal logic and realization path of new quality productivity to promote high-quality urban development[J]. Journal of Xi'an Jiaotong University (Social Sciences), 2025, 45(2): 41-52.
- [11] 孙久文, 蒋治, 胡俊彦. 新时代中国城市高质量发展的时空演进格局与驱动因素[J]. 地理研究, 2022, 41(7): 1864-1882.
- SUN J W, JIANG Z, HU J Y. Spatio-temporal evolution pattern and driving factors of high-quality development of Chinese cities in the new era [J]. Geographical Research, 2022, 41(7): 1864-1882.
- [12] 韩禄, 何佟佟, 杨勇. 城市群高质量发展与土地利用效率耦合协调度评价: 基于黄河流域七大城市群的实证分析[J]. 河南师范大学学报(哲学社会科学版), 2021, 48(1): 95-101.
- HAN L, HE T T, YANG Y. Coupling coordination evaluation of high quality development and land use efficiency of urban agglomeration: Empirical analysis of seven urban agglomerations in the Yellow River Basin [J]. Journal of Henan Normal University (Philosophy and Social Sciences Edition), 2021, 48(1): 95-101.
- [13] 中共中央、国务院. 长江三角洲区域一体化发展规划纲要 [EB/OL]. [2019-12-01]. https://www.gov.cn/zhengce/2019-12/01/content_5457442.htm.
- The Central Committee of the Communist Party of China and the State Council. Outline of the Yangtze River Delta Regional Integration Development Plan [EB/OL]. [2019-12-01]. https://www.gov.cn/zhengce/2019-12/01/content_5457442.htm.
- [14] 郭政, 陈爽, 董平, 等. 长江三角洲城市群工业污染时空演化及其驱动因素[J]. 中国环境科学, 2019, 39(3): 1323-1335.
- GUO Z, CHEN S, DONG P, et al. Spatio-temporal evolution of industrial pollution in the Yangtze River Delta urban agglomeration and its driving factors [J]. China Environmental Science, 2019, 39(3): 1323-1335.
- [15] TONE K, TSUTSUI M. An epsilon-based measure of efficiency in DEA: A third pole of technical efficiency[J]. European Journal of Operational Research, 2010, 207(3): 1554-1563.
- [16] LI H Y, WANG Z Q, ZHU M Y, et al. Study on the spatial-temporal evolution and driving mechanism of urban land green use efficiency in the Yellow River Basin cities[J]. Ecological Indicators, 2023, 154: e110672.
- [17] LI W M, CAI Z Y, JIN L S. Urban green land use efficiency of resource-based cities in China: Multidimensional measurements, spatial-temporal changes, and driving factors[J]. Sustainable Cities and Society, 2024, 104: e105299.
- [18] 郭沛, 梁栋. 低碳试点政策是否提高了城市碳排放效率: 基于低碳试点城市的准自然实验研究[J]. 自然资源学报, 2022, 37(7): 1876-1892.
- GUO P, LIANG D. Does the low-carbon pilot policy improve the efficiency of urban carbon emissions: Quasi-natural experimental research based on low-carbon pilot cities[J]. Journal of Natural Resources, 2022, 37(7): 1876-1892.
- [19] 任文琴, 卢新海, 杨浩, 等. 能源利用对城市土地绿色利用效率的影响机制: 基于长江经济带的空间计量分析[J]. 长江流域资源与环境, 2024, 33(3): 525-536.
- REN W Q, LU X H, YANG H, et al. Influencing mechanisms of energy utilization on urban land green utilization efficiency: A spatial econometric analysis based on the Yangtze River economic belt[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2024, 33(3): 525-536.
- [20] 卢新海, 陶向前, 匡兵, 等. 环保考核、政府环境注意力与城市土地绿色利用效率[J]. 中国土地科学, 2023, 37(8): 104-112.
- LU X H, TAO X Q, KUANG B, et al. Environmental assessment, environmental attention of government and green utilization efficiency of urban land [J]. China Land Science, 2023, 37(8): 104-112.
- [21] 柯楠, 卢新海, 匡兵. 中国城市土地绿色低碳利用时空演化及影响因素: 基于碳中和目标的实证研究[J]. 城市问题, 2021(7): 33-40.
- KE N, LU X H, KUANG B. Spatio-temporal evolution and influencing factors of urban land green and low-carbon utilization under the goal of carbon neutrality in China[J]. Urban Problems, 2021(7): 33-40.
- [22] 吴建新, 郭智勇. 基于连续性动态分布方法的中国碳排放收敛分析[J]. 统计研究, 2016, 33(1): 54-60.
- WU J X, GUO Z Y. Research on the convergence of carbon dioxide emissions in China: A continuous dynamic distribution approach [J]. Statistical Research, 2016, 33(1): 54-60.
- [23] 单豪杰. 中国资本存量K的再估算: 1952—2006年[J]. 数量经济技术经济研究, 2008, 25(10): 17-31.
- SHAN H J. Reestimating the capital stock of China: 1952—2006 [J]. The Journal of Quantitative and Technical Economics, 2008, 25(10): 17-31.
- [24] 黄敦平, 叶岩松, 姚旭敏, 等. 淮河生态经济带乡村产业振兴水平评价及障碍因素研究[J]. 长江流域资源与环境, 2024, 33(7): 1412-1423.
- HUANG D P, YE Y S, YAO X M, et al. Evaluation and obstacle factors of rural industrial revitalization level in Huaihe River ecological economic belt [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2024, 33(7): 1412-1423.
- [25] 张国俊, 王运喆, 陈宇, 等. 中国城市群高质量发展的时空特征及分异机理[J]. 地理研究, 2022, 41(8): 2109-2124.
- ZHANG G J, WANG Y Z, CHEN Y, et al. Spatiotemporal characteristics and differentiation mechanism of high-quality development of urban agglomerations in China [J]. Geographical Research, 2022, 41(8): 2109-2124.
- [26] 伏润得, 杨振山. 中国城市区域高质量发展时空分异及

- 影响因素[J].地理学报,2024,79(4):819-836.
- FU R D, YANG Z S. Spatio-temporal differentiation and influencing factors of high-quality development of cities in China[J].Acta Geographica Sinica,2024,79(4):819-836.
- [27] QIN X J, QIN X L. Research on the level of high-quality urban development based on big data evaluation system: A study of 151 prefecture-level cities in China[J].Sustainability,2025,17(3):e836.
- [28] ZHAIG, ZHANG MX, HET T, et al. Spatiotemporal analysis of high-quality development and coordination in cities along the lower Yellow River[J].Land,2024,13(11):e1863.
- [29] 赵涛,张智,梁上坤.数字经济、创业活跃度与高质量发展:来自中国城市的经验证据[J].管理世界,2020,36(10):65-76.
- ZHAO T, ZHANG Z, LIANG S K. Digital economy, entrepreneurship, and high-quality economic development: Empirical evidence from urban China[J].Management World,2020,36(10):65-76.
- [30] 秦晓楠,王悦,韩苗苗.中国旅游产业与文化产业交互响应的区域差异研究[J].旅游科学,2023,37(5):142-157.
- QIN X N, WANG Y, HAN M M. A study on regional differences of interactive responses between tourism and cultural industry in China[J].Tourism Science,2023,37(5):142-157.
- [31] 王淑佳,孔伟,任亮,等.国内耦合协调度模型的误区及修正[J].自然资源学报,2021,36(3):793-810.
- WANG S J, KONG W, REN L, et al. Research on misuses and modification of coupling coordination degree model in China[J].Journal of Natural Resources,2021,36(3):793-810.
- [32] 马昊楠,储金龙,李久林.安徽省城市韧性与城镇化水平耦合协调状态研究[J].调研世界,2023(7):28-37.
- MA H N, CHU J L, LI J L. A study on the coupling coordination between urban resilience and urbanization in Anhui Province[J].The World of Survey and Research,2023(7):28-37.
- [33] 颜平,周闻宇,王瑞荣,等.长三角城市群数字经济与制造业高质量发展耦合协调时空演化及影响因素[J].经济地理,2024,44(7):87-95.
- YAN P, ZHOU W Y, WANG R R, et al. Spatial-temporal evolution and influencing factors of the coupling coordination of digital economy and high-quality development of manufacturing industry in the Yangtze River Delta urban agglomeration [J].Economic Geography,2024,44(7):87-95.
- [34] 彭翀,陈梦雨,王强,等.长短周期下长江中游城市群经济韧性时空演变及影响因素研究[J].长江流域资源与环境,2024,33(1):14-26.
- PENG C, CHEN M Y, WANG Q, et al. Spatio-temporal evolution and influencing factors of economic resilience of urban agglomeration in middle reaches of Yangtze River under short-cycle and long-cycle scenarios[J].Resources and Environment in the Yangtze Basin,2024,33(1):14-26.
- [35] 国家统计局.中国城市统计年鉴[M].北京:中国出版社,2009—2023.
- National Bureau of Statistics. China urban statistics year book[M].Beijing: China Statistics Press,2009—2023.
- [36] 国家统计局,能源统计局.中国能源统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2009—2023.
- National Bureau of Statistics, Department of Energy Statistics. China urban statistics year book [M]. Beijing: China Statistics Press,2009—2023.
- [37] 李长健,苗苗.长江中游城市群土地利用效率测算:现实机理与时空分异[J].中国人口·资源与环境,2017,27(12):157-164.
- LI C J, MIAO M. Urban land use efficiency measurement of city group in middle reaches of Yangtze River: Reality mechanism and spatiotemporal diversities[J].China Population,Resources and Environment,2017,27(12):157-164.
- [38] 金昌东,张宝雷,康洁铭.经济高质量发展水平及其耦合协调性研究:基于山东省17地市面板数据[J].生态经济,2021,37(7):65-72.
- JIN C D, ZHANG B L, KANG J M. Research on the level of high-quality economic development and its coupling and coordination based on the panel data of 17 cities in Shandong Province[J].Ecological Economy,2021,37(7):65-72.
- [39] 章屹祯,邓珍,曹继,等.城市扩张、高铁网络对城市土地绿色利用效率的空间效应:理论分析及经验证据[J].地理研究,2024,43(10):2523-2540.
- ZHANG Y Z, DENG Z, CAO J, et al. Spatial effects of urban expansion and high-speed rail network on urban land green use efficiency: Theoretical analysis and empirical evidence[J].Geographical Research,2024,43(10):2523-2540.
- [40] 陈枳宇,曹卫东,魏海鹏,等.基于新发展理念长三角地区高质量发展时空分异及其影响因素[J].人文地理,2022,37(6):139-149.
- CHEN Z Y, CAO W D, WEI H P, et al. Spatio-temporal differentiation of high-quality development in the Yangtze River Delta region based on the new development concept and its influencing factors[J].Human Geography,2022,37(6):139-149.
- [41] 何莎莎,方斌,李欣,等.城市土地利用效率与高质量发展时空演变及交互响应:以江苏省为例[J].地理与地理信息科学,2022,38(5):79-87.
- HE S S, FANG B, LI X, et al. Spatiotemporal pattern evolution and interactive response of urban land use efficiency and high-quality development level: A case study of Jiangsu Province [J].Geography and Geo-Information Science,2022,38(5):79-87.