

DOI:10.13869/j.cnki.rswc.2023.04.028.

陶倩, 兰安军, 范泽孟, 等. 长三角城市群城市韧性与城市土地利用效益的耦合协调性分析[J]. 水土保持研究, 2023, 30(4): 373-383.

TAO Qian, LAN Anjun, FAN Zemeng, et al. Coupling Coordination Analysis of Urban Resilience and Urban Land Use Efficiency in Urban Agglomeration of Yangtze River Delta [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2023, 30(4): 373-383.

长三角城市群城市韧性与城市土地利用效益的 耦合协调性分析

陶倩, 兰安军, 范泽孟, 钱方艳, 邹永偲

(贵州师范大学地理与环境科学学院, 贵州 贵安 500025)

摘要: [目的]探索长三角城市群 2010—2020 年的城市韧性和城市土地利用效益的时空演变特征、耦合协调程度及相对发展状况,为推动长三角城市群的协调可持续发展提供参考借鉴。[方法]以长三角城市群 26 个城市为研究对象,基于熵值法、耦合协调度模型及相对发展度模型,通过构建综合评价指标体系,对长三角城市群城市韧性和城市土地利用效益的耦合协调关系展开了相关研究。[结果](1) 研究时间段内,长三角城市群城市韧性总体呈上升趋势,其中超过 80% 的城市其韧性水平出现上升;城市土地利用效益呈波动变化趋势。二者皆呈现出“东中部高、南北边缘低”的空间分布格局,且城市韧性由相对零散分布向集聚分布转变,城市土地利用效益由“7”字形分布向“大”字形分布转变;(2) 二者的耦合度总体较高,以高水平耦合为主;协调程度总体较低,但呈现出上升的发展趋势和“东高西低、中心高外围低”的空间分布格局;(3) 近 1/2 城市的城市韧性和城市土地利用效益实现了同步发展,其余城市在 2010—2015 年多以超前型(城市韧性超前于城市土地利用效益)为主,2015—2020 年多以滞后型(城市韧性滞后于城市土地利用效益)为主。[结论]长三角城市群城市韧性和城市土地利用效益的耦合协调度水平较低、发展不平衡,二者没有实现同步发展,未来应加强城市产业结构及土地利用布局的调控和引导,促进城市经济及土地利用的区域协调,统筹城市韧性与城市土地利用协调发展。

关键词: 城市韧性; 城市土地利用效益; 耦合协调分析; 长三角城市群

中图分类号: F299.27; F301.2

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2023)04-0373-11

Coupling Coordination Analysis of Urban Resilience and Urban Land Use Efficiency in Urban Agglomeration of Yangtze River Delta

TAO Qian, LAN Anjun, FAN Zemeng, QIAN Fangyan, ZOU Yongcai

(School of Geography and Environmental Science, Guizhou Normal University, Gui'an, Guizhou 500025, China)

Abstract: [Objective] The aim of this study is to explore the spatial and temporal evolution characteristics, coupling coordination degree and relative development of urban resilience and urban land use efficiency of the Yangtze River Delta urban agglomeration from 2010 to 2020, and to provide reference for promoting the coordinated and sustainable development of the Yangtze River Delta urban agglomeration. [Methods] Taking 26 cities of the Yangtze River Delta urban agglomeration as the research object, based on the entropy method, the coupling coordination degree model and the relative development degree model, the coupling coordination relationship between urban resilience and urban land use efficiency of the Yangtze River Delta urban agglomeration was studied by constructing a comprehensive evaluation index system. [Results] (1) During the study period, the urban resilience of urban agglomeration of the Yangtze River Delta showed an overall upward trend, with more than 80% of the cities' resilience levels rising, The urban land use efficiency showed a fluctuating trend. Both of them presented a spatial distribution pattern of 'high in the east and middle,

收稿日期: 2022-05-25

修回日期: 2022-06-16

资助项目: 国家自然科学基金“生态过渡带土地覆被变化情景模拟及归因研究”(41971358)

第一作者: 陶倩(1997—), 女, 贵州毕节人, 硕士研究生, 研究方向为地理信息系统与遥感。E-mail: 1914691270@qq.com

通信作者: 兰安军(1974—), 男, 贵州黔南人, 硕士, 副教授, 主要从事喀斯特环境遥感研究。E-mail: 493486980@qq.com

<http://stbcyj.paperonce.org>

low in the south and north margins', and the urban toughness changed from relatively scattered distribution to the concentrated distribution, and the urban land use efficiency changed from '7' to 'large' distribution. (2) The degree of coupling between the two was relatively high, mainly at a high level. The overall coordination degree was low, but it showed an upward trend of development and a spatial distribution pattern of 'high in the east and low in the west, high in the center and low in the periphery'. (3) The urban resilience and urban land use efficiency of nearly 1/2 of the cities had achieved synchronous development. The rest of the cities were mainly advanced (urban resilience was ahead of urban land use efficiency) from 2010 to 2015, and mainly lagged (urban resilience lags behind urban land use efficiency) from 2015 to 2020. [Conclusion] The coupling and coordination level of urban resilience and urban land use efficiency in urban agglomeration of the Yangtze River Delta was low, and the development was unbalanced. The two had not achieved synchronous development. In the future, we should strengthen the regulation and guidance of urban industrial structure and land use layout, promote the regional coordination of urban economy and land use, and coordinate the coordinated development of urban resilience and urban land use.

Keywords: urban resilience; urban land use efficiency; coupling coordination analysis; urban agglomeration of Yangtze River Delta

城市韧性指城市系统在遭受外部扰动后,通过合理准备、缓冲和应对,能够有效抵御外界风险,保持和恢复城市各系统正常运行的能力^[1],主要包括城市经济、社会、生态、制度及基础设施建设等各个方面的保障力。其核心强调的是城市对外界不确定扰动因素的适应和调整能力。受全球气候变暖和经济全球化的影响,各种自然灾害及公共安全卫生事件等全球性问题对人类社会的可持续发展带来严重影响。随着城市化进程的不断加快,城市规模急剧膨胀,所面临的外界扰动因素也愈加复杂多变。2020年突发的大规模新型冠状病毒感染,对世界经济和社会发展带来了巨大冲击,一个城市的基础设施建设、经济社会发展能力等是在疫情防控中能否取得胜利的重要因素之一。此次疫情防控,充分体现了发展韧性城市的重要性。“韧性”一词的概念最早由加拿大生态学家Holling^[2]提出,之后于20世纪90年代引入城市领域^[3],由此,世界各国学者开始对城市防灾减灾等进行探索,城市韧性研究发展成为一种新的研究范式^[4]。国外学者关于城市韧性的研究,主要关注其概念解释、韧性评价、驱动因子等方面。Godschalk^[5]从其概念出发,对城市韧性进行了重新定义,讨论了建设韧性城市的重要性,并提出新的城市韧性恢复计划。Cutter^[6]从自然灾害视角,提出新的研究框架,构建城市韧性综合评价指标体系对地方或社区的抗灾能力进行评估。Parizi等^[7]基于弹性视角,详细阐述了城市韧性的物理韧性,并对其驱动因素进行了研究分析。中国关于城市韧性的研究起步较晚,目前主要侧重于应对城市灾害^[8-10]、应对气候变化等^[11-13]方面,部分学者开始关注城市韧性的综合评价,邵亦文

等^[14]、周利敏^[15]、孙阳等^[16]构建城市韧性综合评价指标体系,对城市韧性进行相应研究。

土地资源是人类社会生活的基础^[17],是城市运行与发展的基本保障。随着社会经济的快速发展及城镇化进程的加快,城市土地的需求日益增大,城市土地供需矛盾日益突出,人们越来越重视土地利用过程中的经济、社会等各方面效益,城市发展过程中愈发注重城市土地利用的集约高效。关于城市土地利用效益的研究,已有文献大多集中于土地利用效益的评价体系、作用因素及优化方法等方面。且目前关于评价体系方面的研究,研究内容多由城市土地利用单项效益的研究^[18-19]转变为城市土地利用综合效益的研究^[20-21],研究方向也多由关注土地利用经济、社会、生态效益及其耦合关系的研究^[22-23]转变为土地利用效益与其他系统,尤其是与城市化的关系研究^[24-26]。城市土地资源作为城市发展的空间载体,其利用效益的高低直接影响着城市的发展和建设,提升城市土地利用效益有利于促进城镇生产、生活、生态空间的高效合理配置,实现以较小的土地资源投入获得较大的经济、社会、生态效益^[27],进而促进韧性城市建设进程。同样,城市韧性水平的高低也会对城市土地资源的利用产生相应影响。高韧性城市在面临外部干扰时,能够迅速反应并做出及时调整,保障城市的正常运转与城市土地资源的集约高效利用。低韧性城市应对外界冲击的抵抗力与恢复力均较弱,在面临诸如新冠疫情等巨大灾难冲击时,难以从中缓冲过来,城市土地资源、基础设施、经济建设等均会受到严重影响。城市韧性与城市土地利用效益相辅相成,一方的前进或衰退均会对另一方带来巨大影响。但目前关

于城市韧性与城市土地利用效益耦合协调性展开研究分析的文献十分有限,尤其是针对长三角城市群这一地区还缺乏相关的实证研究。长三角城市群作为“一带一路”与长江经济带的重要交汇地带,为中国经济社会发展做出重大贡献,是中国经济发展的重要引擎。2016年《长江三角洲城市群发展规划》中明确提出要将其建设为具有全球影响力的世界级城市群。实现该目标须将“高质量”“可持续”作为主题,而实现城市韧性与城市土地利用效益的协调发展,保障土地资源的集约节约高效利用,打造现代化新型韧性城市,是实现长三角地区高质量可持续发展的关键一招。因此,研究长三角城市群城市韧性与城市土地利用效益的耦合协调关系,具有重大理论与现实意义。基于此,本文对2010—2020年长三角城市群城市韧性与城市土地利用效益进行综合测度,并利用耦合协调度模型及相对发展度模型对二者的耦合协调关系及相对发展程度展开分析,以期对长三角城市群的高质量可持续发展提供参考与借鉴。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

长三角城市群位处中国的长江下游地区,地理坐标为 $115^{\circ}46'—123^{\circ}25'E, 29^{\circ}20'—32^{\circ}34'N$,邻近东海与黄海,沿江沿海港口众多,是中国外贸出口最大基地。城市群涉及江苏省的南京、无锡、常州、苏州、南通、盐城、扬州、镇江、泰州9市,浙江省的杭州、宁波、嘉兴、湖州、绍兴、金华、舟山、台州8市,安徽省的合肥、芜湖、马鞍山、铜陵、安庆、滁州、池州、宣城8市以及上海市3省一市共26个城市,区域面积 $2.117 \times 10^5 \text{ km}^2$,约占中国的2.2%,是中国经济最发达、经济发展最活跃、城镇化率最高、对外开放力度最大的地区,在中国经济社会发展中占据了极其重要的地位,号称中国的“金三角”。

1.2 数据来源

本研究以2010年、2015年及2020年长三角城市群26个城市的社会经济数据为主要数据源。数据来源于2010—2020年的《中国城市统计年鉴》《上海市统计年鉴》《江苏省统计年鉴》《浙江省统计年鉴》《安徽省统计年鉴》、中经网统计数据库以及各城市2010—2020年的统计年鉴、国民经济和社会发展公报及政府公报等,个别缺失数据采用插值法补齐。

2 指标体系构建与研究方法

2.1 指标体系构建

结合Cutter等^[6]、周利敏^[15]、修春亮等^[28]研究成果

及研究区域的实际情况,在遵循系统性、科学性、数据可获得性的原则下,城市韧性从经济韧性、社会韧性、生态韧性、基础设施韧性4个维度,选取17项指标,城市土地利用效益从经济效益、社会效益、生态效益3个维度,选取13项指标,分别构建长三角城市群城市韧性与城市土地利用效益耦合协调的评价指标体系(表1)。

城市经济韧性指城市在遭受外界风险时经济系统能够有效应对冲击、减少城市经济损失的能力,是城市发展水平的重要体现。城市社会韧性指城市应对社会变化的能力,反映城市的社会福利水平,是城市活力水平的重要体现及应对外界危机时的重要保障。城市生态韧性指城市应对外部自然灾害的能力,表现为城市发展过程中城市的生态承载力及恢复力,体现城市的宜居程度。城市基础设施韧性指城市的供水、供电、交通等基础设施建设对外界风险的应对缓冲能力,强调能够在城市面临外界重大冲击时保障居民的基本生活需要。

城市土地利用经济效益主要指对土地的投入与取得的产出结果的比较,强调土地资源在利用过程中所带来的经济价值。社会效益指在土地利用过程中为社会发展带来的效益,强调其为社会发展所带来的贡献。生态效益指在城市土地开发利用过程中对自然环境造成某种程度的影响,强调改善城市生态和生存环境。城市土地利用的经济、社会、生态效益均是城市土地资源集约节约高效利用的重要体现。

2.2 研究方法

2.2.1 熵值法 熵值法是一种客观赋权法,根据各项指标的大小来确定指标的权重,相对主观赋权具有较高的可信度和准确度^[29]。本文采用熵值法来确定各指标的权重,具体计算过程如下:

(1) 数据的非负数化处理,采用极差归一化法对各项指标进行标准化,以消除量纲的影响:

正向指标:

$$X'_{ij} = \frac{X_{ij} - \min\{X_{ij}, \dots, X_{nj}\}}{\max\{X_{1j}, \dots, X_{nj}\} - \min\{X_{ij}, \dots, X_{nj}\}} \quad (1)$$

正向指标:

$$X'_{ij} = \frac{\max\{X_{1j}, \dots, X_{nj}\} - X_{ij}}{\max\{X_{1j}, \dots, X_{nj}\} - \min\{X_{ij}, \dots, X_{nj}\}} \quad (2)$$

式中: X'_{ij} 为标准化后的值; X_{ij} 为第 j 个城市第 i 个指标的原始值; $\max\{X_{1j}, \dots, X_{nj}\}$ 分别为第 j 个城市中第 i 个评价指标的最小值和最大值。

(2) 计算第 j 项指标下第 i 个城市下占该指标的权重:

$$P_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^n x_{ij}} \quad (j=1, 2, \dots, m) \quad (3)$$

(3) 计算第 j 项指标的熵值,其中 k 为调节系数

($k=1/\ln m$)。

$$e_j = -k \sum_{i=1}^n P_{ij} \ln P_{ij} \quad (4)$$

(4) 计算权重:

$$w_j = \frac{G_j}{\sum_{j=1}^m G_j} \quad (j=1, 2, \dots, m) \quad (5)$$

表1 城市土地利用效益与城市韧性评价指标体系及权重

目标层	维度层	2010年 权重	2015年 权重	2020年 权重	指标层	2010年 权重	2015年 权重	2020年 权重
城市韧性	经济韧性	0.205	0.217	0.278	人均地区生产总值(元)	0.021	0.023	0.028
					地方财政收入(亿元)	0.091	0.092	0.128
					城镇常住居民人均可支配收入(元)	0.027	0.025	0.03
					实际使用外商投资金额(万美元)	0.066	0.077	0.092
					建成区面积(km ²)	0.067	0.111	0.061
	社会韧性	0.257	0.297	0.253	城镇人口(万人)	0.053	0.056	0.057
					普通高校学生在校人数(人)	0.069	0.074	0.077
					卫生医疗机构床位数(张)	0.052	0.045	0.046
					城镇失业率(%)	0.016	0.011	0.012
					工业固体废物综合利用率(%)	0.006	0.016	0.015
	生态韧性	0.188	0.166	0.167	污水处理厂集中处理率(%)	0.02	0.01	0.006
					建成区绿化覆盖面积(hm ²)	0.069	0.056	0.059
					公园绿地面积(hm ²)	0.093	0.084	0.087
					城市供水总量(10 ⁴ t)	0.101	0.093	0.072
					城市供气总量(10 ⁴ m ³)	0.147	0.119	0.109
基础设施韧性	0.35	0.32	0.302	全社会用电量(10 ⁸ kW·h)	0.07	0.074	0.054	
				公路客运量(万人次)	0.032	0.034	0.067	
				地均GDP(万元/km ²)	0.05	0.083	0.088	
				地均工业生产总产值(万元/km ²)	0.185	0.168	0.169	
				地均固定资产投资总额(万元/km ²)	0.059	0.051	0.054	
城市土地利用效益	经济效益	0.399	0.414	0.461	地均社会消费品零售总额(万元/km ²)	0.081	0.086	0.1
					第三产业增加值占GDP的比例(%)	0.024	0.026	0.05
					人口密度(人/km ²)	0.053	0.066	0.065
					人均城市道路面积(m ²)	0.036	0.027	0.022
					地均货物总量(t/km ²)	0.066	0.057	0.074
	社会效益	0.203	0.214	0.221	地均从业人数(人/km ²)	0.048	0.064	0.06
					园林绿地面积(hm ²)	0.191	0.17	0.157
					人均公园绿地面积(m ²)	0.042	0.015	0.016
					日均污水处理能力(10 ⁴ m ³ /d)	0.142	0.15	0.13
					建成区绿化覆盖率(%)	0.023	0.037	0.015

2.1.2 城市韧性与城市土地利用效益的耦合协调度模型 (1) 耦合度评价模型。耦合概念源自物理学范畴,指两个或两个以上系统之间的相互作用影响,可以反映系统之间的相互依赖相互制约程度^[30]。耦合度评价模型如下所示:

$$C = \sqrt{\frac{U_1 U_2}{U_1 + U_2}} \quad (6)$$

式中: C 为城市韧性与城市土地利用效益的耦合度; U_1 和 U_2 分别为城市韧性和城市土地利用效益的综合指数。参考已有研究^[31],将耦合过程分为低水平

耦合(0.0~0.3)、拮抗(0.3~0.5)、磨合(0.5~0.8)、高水平耦合(0.8~1.0)4个阶段。

(2) 协调度评价模型。耦合协调度指两系统相互作用关系中良性耦合程度的大小,可体现二者协调状况的好坏。协调度模型如下所示:

$$D = \sqrt{CT}, T = \alpha U_1 + \beta U_2 \quad (7)$$

式中: D 为城市韧性和城市土地利用效益的耦合协调度; T 为城市韧性与城市土地利用效益的综合协调指数; α 和 β 为待定系数,分别为城市土地利用效益和城市韧性的重要性,本文将城市土地利用效益和

城市韧性视为同等重要,取 $\alpha = \beta = 0.5$ 。结合研究区的实际情况,参考相关研究^[32-33],将耦合协调度划分为6个等级,即严重失调阶段(0.00~0.19)、中度失调阶段(0.2~0.29)、轻度失调阶段(0.3~0.39)、初级协调阶段(0.4~0.49)、中级协调阶段(0.5~0.79)和高级协调阶段(0.8~1.00)。

2.1.3 城市韧性与城市土地利用效益的相对发展度
相对发展度模型能够有效反映出城市韧性与城市土地利用效益在一定时期内的相对发展状况及变化程度,计算公式如下:

$$E = U_1 / U_2 \quad (8)$$

式中: U_1, U_2 分别为城市韧性综合指数和城市土地利用效益综合指数。本文参考刘浩等^[34]的研究,将城市韧性与城市土地利用效益的相对发展状况分为3种类型,即 $0.8 < E < 1.2$,城市韧性与城市土地利用效益同步优化,协调发展。 $E \geq 1.2$,城市韧性滞后于城市土地利用效益,城市韧性不足,与城市土地利用效益发展水平不相匹配。 $E \leq 0.8$,城市韧性超前于城市土地利用效益发展,城市应对外界不确定扰动的能力较强。

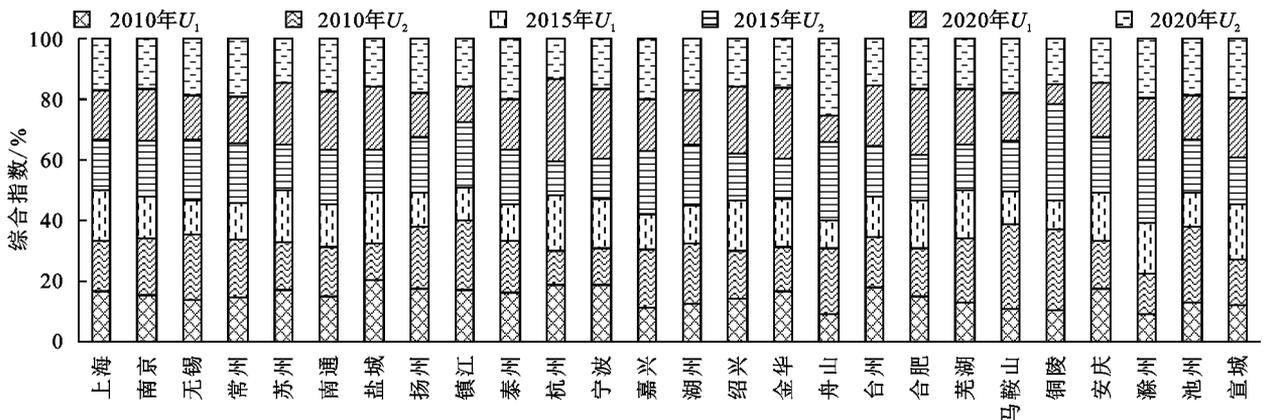


图1 长三角城市群城市韧性与土地利用效益综合指数

3.1 城市韧性分析

利用 ArcGIS 10.7 软件,采用自然断裂法将长三角城市群 26 个城市的城市韧性综合指数值按分值大小划分为低韧性区、较低韧性区、中等韧性区、较高韧性区、高韧性区 5 个等级(图 2)。

结合图 1—2 可以看出,在时间演化趋势上,2010—2020 年,长三角城市群城市韧性水平总体呈现上升趋势。研究期内仅有上海、扬州、镇江、铜陵、池州 5 个城市的城市韧性水平出现下降,且下降幅度均在 4% 以内,其余城市韧性水平均呈上升趋势。具体来看,2010—2015 年,南京、无锡、常州、扬州、镇江、宁波、金华、铜陵等城市的城市韧性水平有所下降,镇江、扬州、无锡、南京的下降幅度较大,分别为 5%,3%,3%,2%,其余城市的下降

3 城市韧性与城市土地利用效益水平综合测度

由图 1—3 可知,在时间演化趋势上,2010—2020 年长三角城市群的城市韧性总体呈现出上升的变化趋势,超过 80% 的城市其韧性水平均出现上升。城市土地利用效益呈波动变化趋势。在空间分布格局上,二者皆呈现出“东中部高、南北边缘低”的空间格局,即东中部地区的上海、苏州、无锡、南京、嘉兴等城市的城市韧性水平与城市土地利用效益水平相对较高;而安庆、池州、滁州、盐城等边缘城市相对较低。且城市韧性由 2010 年的零散分布转变为 2020 年的聚集型分布。城市土地利用效益由 2010 年的“7”字形分布转变为 2020 年的“大”字形分布。接近 1/2 城市(2010 年 14 个,2015 年 12 个,2020 年 12 个)的城市韧性和城市土地利用效益实现了同步协调发展,其余城市在 2010—2015 年期间多以超前型为主(城市韧性超前于城市土地利用效益),2015—2020 年多以滞后型为主(城市韧性滞后于城市土地利用效益)。

幅度均在 1% 以内。这可能与 2007—2010 年金融危机后城市发展受限,城市活力不足有关,导致城市应对外部环境变化的韧性不足。除韧性水平下降的这 8 个城市以外,其余城市韧性水平呈现不变或上升趋势,绍兴市、南通市由较低韧性水平发展为中等韧性水平。2015—2020 年,南京、无锡、常州、宁波、金华等城市的城市韧性水平开始迅速回升并增强。在此期间,88.46% 的城市,即 23 个城市的城市韧性水平呈现上升的发展趋势,嘉兴市由较低韧性水平发展为中等韧性水平,马鞍山市由低韧性水平发展为较低韧性水平。上海、铜陵、池州的韧性水平出现下降态势,其中韧性水平下降幅度最大的为上海市,为 4%,这可能与 2020 年爆发的新冠疫情有关,新冠病毒肆虐

全球,城市经济遭到巨大打击,失业人口膨胀,严重影响经济社会发展。上海市作为经济高度发达的大都市,人口规模庞大,疫情对其影响更加巨大。从空间分布来看,长三角城市群城市韧性总体呈现出“东中部高、南北边缘低”的空间分布格局,具体表现为以上海市为中心,省会城市为副中心,边缘最弱,即“高中心、低外围”的分布特征。其空间分布差异显著,逐渐

表现出空间集聚的特征,由2010年的相对零散分布转变为2020年的聚集型分布,中等及以上等级韧性水平相对较高的城市主要聚集分布在东中部地区。其中城市韧性水平最高的为上海市,属高韧性发展水平。省会城市南京、杭州及邻近上海市的苏州3个城市处于较高韧性发展水平。池州、安庆、铜陵等边缘城市的城市韧性水平最低。

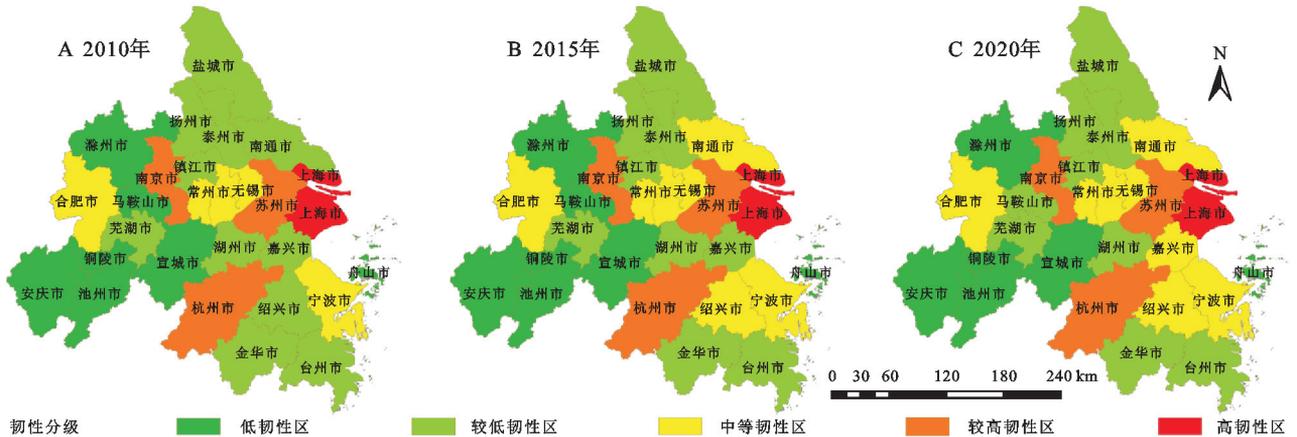


图2 长三角城市群城市综合韧性分布

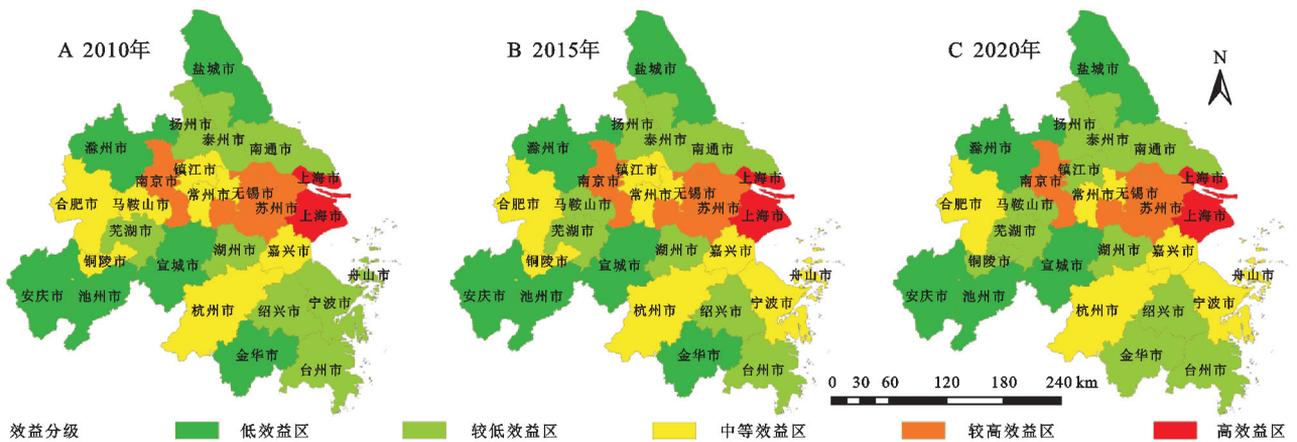


图3 长三角城市群城市土地利用综合效益分布

3.2 城市土地利用效益分析

采用和城市韧性相同的分级方式,将长三角城市群26个城市的土地利用效益综合指数值按分值大小划分为低综合效益区、较低综合效益区、中等综合效益区、较高综合效益区、高综合效益区共5个等级,等级越高代表城市土地利用效益逐渐增高(图3)。

结合图1及图3可以看出,2010—2020年长三角城市群城市土地利用效益呈现波动变化趋势,研究期内上海、盐城、泰州、杭州、宁波、舟山等12个城市的土地利用效益水平出现上升,上升幅度最大的是宁波市,为6%,其次是上海市及杭州市,均为4%。南京、无锡、苏州、镇江、马鞍山、铜陵等11个城市的土地利用效益水平出现下降,下降幅度最大的是铜陵市,为8%,其次为马鞍山市、镇江、无锡、南京,分别为7%,6%,5%,4%,其余城市的下降幅度均在3%

以内。常州、绍兴及安庆3个城市的土地利用效益水平发展较为稳定,研究期间未发生明显变化。具体来看,2010—2015年,上海、常州、南通、盐城、宁波、嘉兴、舟山、铜陵、安庆、滁州等城市的城市土地利用效益均呈现上升态势,且舟山、铜陵、滁州等城市的上升幅度最大,为3%,宁波、嘉兴的其次,为2%。马鞍山、芜湖、无锡、池州等城市的土地利用效益水平出现下降,下降幅度分别为8%,4%,2%,2%,其余城市的变化幅度均在1%以内。2015—2020年,宁波、杭州、上海、合肥、金华等城市的土地利用效益水平呈上升趋势,上升幅度分别为4%,4%,3%,2%,2%。铜陵、南京、镇江、无锡、湖州等城市的土地利用效益水平出现下降,下降幅度分别为11%,4%,5%,2%,其余城市的变化幅度均在1%以内。总体来看,

宁波市及舟山市的土地利用效益水平由2010年的较低效益水平上升为2020年的中等效益水平,铜陵市、马鞍山市及镇江市由2010年的中等效益水平下降为2020年的较低效益水平。在空间分布上,呈现出与城市韧性相同的空间分布格局,即“东中部高,南北边缘低”的空间格局,其中上海市的土地利用效益水平最高,且呈增长趋势;安庆、池州、滁州、盐城等边缘城市整体最低,且变化缓慢,上升或下降幅度均保持在2%以内。同时中等及以上等级土地利用效益相对较高的城市在空间格局上发生了明显变化,呈现出由2010年的“7”字形分布向2020年的“大”字形分布转变的空间演化趋势。

4 长三角城市群城市韧性与城市土地利用效益耦合协调度分析

4.1 耦合度分析

由表2—4可知,长三角城市群2010—2020年城市韧性和城市土地利用效益的耦合程度除2010年、2015年的铜陵市及2020年的安庆市属于磨合阶段以外,其余城市均一直属于高水平耦合阶段。且耦合度的均值分别为0.9609,0.9608,0.9536,耦合度较好且发展较为稳定。表明长三角城市群城市韧性与城市土地利用效益的整体耦合程度较好,二者存在显著的强关联作用。

表2 长三角城市群2010年城市韧性与城市土地利用效益耦合协调度

城市	耦合度	耦合阶段	协调度	耦合协调程度	相对发展度	空间类型
上海市	1.0000	高水平耦合	0.9950	高级协调	1.0069	高级协调
南京市	0.9991	高水平耦合	0.6724	中级协调	0.9185	中级协调
无锡市	0.9835	高水平耦合	0.5431	中级协调	0.7011	中级协调-城市土地利用效益滞后
常州市	0.9944	高水平耦合	0.4497	初级协调	0.8001	初级协调
苏州市	0.9980	高水平耦合	0.5858	中级协调	1.1099	中级协调
南通市	0.9986	高水平耦合	0.3575	轻度失调	1.0285	轻度失调
盐城市	0.8673	高水平耦合	0.2325	中度失调	1.8152	中度失调-城市韧性滞后
扬州市	0.9999	高水平耦合	0.3677	轻度失调	0.9288	轻度失调
镇江市	0.9960	高水平耦合	0.4135	初级协调	0.8201	初级协调
泰州市	0.9999	高水平耦合	0.3002	轻度失调	0.8984	中度失调
杭州市	0.9343	高水平耦合	0.5040	中级协调	1.9111	初级协调-城市韧性滞后
宁波市	0.9659	高水平耦合	0.4158	初级协调	1.5160	初级协调-城市韧性滞后
嘉兴市	0.9619	高水平耦合	0.3671	轻度失调	0.5903	轻度失调-城市土地利用效益滞后
湖州市	0.9886	高水平耦合	0.3129	轻度失调	0.7273	中度失调-城市土地利用效益滞后
绍兴市	1.0000	高水平耦合	0.3472	轻度失调	0.9426	轻度失调
金华市	0.9905	高水平耦合	0.2800	中度失调	1.1156	中度失调
舟山市	0.8922	高水平耦合	0.2962	中度失调	0.4320	中度失调-城市土地利用效益滞后
台州市	0.9965	高水平耦合	0.3114	轻度失调	1.0527	轻度失调
合肥市	0.9993	高水平耦合	0.4439	初级协调	1.0295	初级协调
芜湖市	0.9717	高水平耦合	0.3227	轻度失调	0.6314	轻度失调-城市土地利用效益滞后
马鞍山市	0.8395	高水平耦合	0.3246	轻度失调	0.3500	轻度失调-城市土地利用效益滞后
铜陵市	0.7564	磨合	0.2720	中度失调	0.2843	中度失调-城市土地利用效益滞后
安庆市	0.9758	高水平耦合	0.1705	严重失调	1.0347	严重失调
滁州市	0.9811	高水平耦合	0.1687	严重失调	1.0020	严重失调
池州市	0.8938	高水平耦合	0.1561	严重失调	0.5012	严重失调-城市土地利用效益滞后
宣城市	1.0000	高水平耦合	0.1000	严重失调	0.7278	严重失调-城市土地利用效益滞后
均值	0.9609	高水平耦合	0.3735	轻度失调		

4.2 协调度分析

由表2—4、图4可知,在时间分布上,2010—2020年长三角城市群城市韧性与城市土地利用效益的耦合协调

度均值分别为0.3735,0.3659,0.3839,整体上均属于轻度失调阶段。研究期间除上海、南京、无锡、常州、苏州、杭州、宁波、合肥8个城市一直处于协调阶段,2010年的镇

江、2020年的嘉兴等城市处于协调阶段以外,其余城市全部处于失调阶段,表明在研究期内长三角城市群城市韧性与城市土地利用效益整体的耦合协调水平还不高,存在极大的发展空间。研究期内协调城市数量变化不大,但协调等级明显提升,因此二者的协调程度总体呈现出

上升的发展态势。2010—2020年,嘉兴市由轻度失调上升为初级协调,金华市由中度失调上升为轻度失调,滁州市由严重失调上升为中度失调,表明研究期间内长三角城市群城市韧性和城市土地利用效益协调度呈现出良好的发展态势,逐渐向协调性发展方向好转。

表3 长三角城市群2015年城市韧性与城市土地利用效益耦合协调度

城市	耦合度	耦合阶段	协调度	耦合协调程度	相对发展度	空间类型
上海市	1.0000	高水平耦合	0.9950	高级协调	0.9945	高级协调
南京市	0.9984	高水平耦合	0.6605	中级协调	0.8851	中级协调
无锡市	0.9784	高水平耦合	0.5131	初级协调	0.6681	初级协调-城市土地利用效益滞后
常州市	0.9900	高水平耦合	0.4439	初级协调	0.7544	初级协调-城市土地利用效益滞后
苏州市	0.9935	高水平耦合	0.5821	中级协调	1.2103	中级协调-城市韧性滞后
南通市	0.9985	高水平耦合	0.3758	轻度失调	1.0467	轻度失调
盐城市	0.9326	高水平耦合	0.2531	中度失调	1.5419	中度失调-城市韧性滞后
扬州市	0.9959	高水平耦合	0.3282	轻度失调	0.8189	中度失调
镇江市	0.9649	高水平耦合	0.3653	轻度失调	0.6126	轻度失调-城市土地利用效益滞后
泰州市	0.9965	高水平耦合	0.2946	中度失调	0.8231	中度失调
杭州市	0.9368	高水平耦合	0.5005	中级协调	1.8694	初级协调-城市韧性滞后
宁波市	0.9825	高水平耦合	0.4236	初级协调	1.3324	初级协调-城市韧性滞后
嘉兴市	0.9425	高水平耦合	0.3719	轻度失调	0.5372	轻度失调-城市土地利用效益滞后
湖州市	0.9843	高水平耦合	0.3060	轻度失调	0.7140	中度失调-城市土地利用效益滞后
绍兴市	0.9913	高水平耦合	0.3593	轻度失调	1.1815	轻度失调
金华市	0.9889	高水平耦合	0.2594	中度失调	1.1360	中度失调
舟山市	0.8159	高水平耦合	0.2980	中度失调	0.3465	轻度失调-城市土地利用效益滞后
台州市	0.9990	高水平耦合	0.3044	轻度失调	1.0031	中度失调
合肥市	0.9927	高水平耦合	0.4434	初级协调	1.1949	初级协调
芜湖市	0.9996	高水平耦合	0.2821	中度失调	0.8921	中度失调
马鞍山市	0.9540	高水平耦合	0.2730	中度失调	0.5927	中度失调-城市土地利用效益滞后
铜陵市	0.6245	磨合	0.2620	中度失调	0.2146	轻度失调-城市土地利用效益滞后
安庆市	0.9995	高水平耦合	0.1802	严重失调	0.9080	严重失调
滁州市	0.9891	高水平耦合	0.2097	中度失调	0.7492	中度失调-城市土地利用效益滞后
池州市	0.9723	高水平耦合	0.1126	严重失调	0.7119	严重失调-城市土地利用效益滞后
宣城市	0.9583	高水平耦合	0.1158	严重失调	0.9992	初级协调
均值	0.9608	高水平耦合	0.3659	轻度失调		

在空间分布格局上,呈现出“东高西低、中心高外围低”的分布格局,即以上海市为核心,省会城市为次核心,耦合协调程度东部城市高于西部城市、中心城市高于边缘城市。研究期内城市韧性与城市土地利用效益的耦合协调度取值范围为 $[0.1000, 0.9995]$,跨度较大,表现出长三角城市群城市韧性与城市土地利用效益差距明显,城市发展不平衡的空间特征。其中,上海市的耦合协调度最高,是长三角城市群唯一的高级协调城市。上海市的经济发展水平、基础设施、城市运行管理与综合防灾减灾系统等方面均较为完善,同时注重土地资源的集约节约高效利用,使得

城市韧性水平与城市土地利用效益同步协调推进。杭州、南京、合肥等省会城市作为省级行政中心,近年来更加注重城市应对公共卫生安全事件等外界风险的能力及城市土地资源的合理集约,充分调动自身发展经济,不断向打造高质量韧性城市前进。铜陵市由中度失调下降为严重失调,安庆、池州、宣城3个城市的严重失调状态没有得到改善的主要原因可能是由于这几个城市均属于边缘城市,受到中心城市的辐射作用不强,经济水平不高,基础设施建设不够完善,土地利用资源长期缺乏合理性等,导致城市韧性和城市土地利用效益的协调效果不佳。

4.3 相对发展度分析

由表2—4分析可知,长三角城市群2010—2020年城市韧性和城市土地利用效益相对发展度总体表现出超过46%的城市(2010年14个、2015年12个、2020年12个)处于同步优化状况。除处于同步优化类型的城市以外,其余城市在2010—2015年多表现为城市韧性超前于城市土地利用效益发展(无锡、嘉兴、湖州、舟山、马鞍山、铜陵等10个城市),2015—2020年多表现为城市韧性滞后于城市土地利用效益发展(苏州、杭州、宁波、绍兴、金华、台州、合肥等11个城市)。研究期内,上海、南京、扬州、泰州4个城市的城市韧性与城市土地利用效益的相对发展度始终表现为同步协调发展状态,其主要原因可能是因为上海及南京两市的经济基础良好,城市基础设施建设等比较完备,城市抵御外界不确定风险和自我恢复的能力较强,同时注重土地资源的集约节约利用,实现了

城市韧性水平与城市土地利用效益同步协调推进。而扬州、泰州两市的经济发展水平相对较低,同时土地利用效益水平也有待提升,因此城市韧性与城市土地利用效益二者未出现一方超前于另一方发展的情况。南通、绍兴、金华、台州、合肥、安庆等城市由2010年及2015年的同步发展转为城市韧性水平滞后于城市土地利用效益水平,其主要原因可能是因为这几个城市近几年更加注重土地利用资源的高效利用,使得城市土地利用效益提升,而当前的经济发展水平和基础设施建设水平较低,跟不上城市发展步伐,导致城市韧性水平比城市土地利用效益水平相对滞后发展。舟山、铜陵、池州等城市始终表现为城市韧性水平超前于城市土地利用效益水平,这可能与这些城市单方面地注重自身经济发展,忽略了城市土地利用效益的提升等因素有关,使得城市土地利用效益滞后于城市韧性发展。

表4 长三角城市群2020年城市韧性与城市土地利用效益耦合协调度

城市	耦合度	耦合阶段	协调度	耦合协调程度	相对发展度	空间类型
上海市	1.0000	高水平耦合	0.9950	高级协调	0.9296	高级协调
南京市	0.9941	高水平耦合	0.6700	中级协调	1.1156	中级协调
无锡市	0.9995	高水平耦合	0.5248	中级协调	0.8410	中级协调
常州市	1.0000	高水平耦合	0.4599	初级协调	0.8743	初级协调
苏州市	0.9702	高水平耦合	0.5928	中级协调	1.4194	中级协调-城市韧性滞后
南通市	0.9701	高水平耦合	0.3928	轻度失调	1.2920	轻度失调-城市韧性滞后
盐城市	0.8861	高水平耦合	0.2701	中度失调	1.5969	中度失调-城市韧性滞后
扬州市	0.9961	高水平耦合	0.3371	轻度失调	0.9547	轻度失调
镇江市	0.9996	高水平耦合	0.3314	轻度失调	0.8645	轻度失调
泰州市	0.9955	高水平耦合	0.3299	轻度失调	0.9588	轻度失调
杭州市	0.9010	高水平耦合	0.5693	中级协调	2.0894	中级协调-城市韧性滞后
宁波市	0.9642	高水平耦合	0.4892	初级协调	1.4282	初级协调-城市韧性滞后
嘉兴市	0.9995	高水平耦合	0.4222	初级协调	0.9139	初级协调
湖州市	0.9611	高水平耦合	0.3279	轻度失调	1.2837	轻度失调-城市韧性滞后
绍兴市	0.9474	高水平耦合	0.3896	轻度失调	1.4809	轻度失调-城市韧性滞后
金华市	0.9149	高水平耦合	0.3207	轻度失调	1.5859	轻度失调-城市韧性滞后
舟山市	0.9224	高水平耦合	0.3267	轻度失调	0.4324	中度失调-城市土地利用效益滞后
台州市	0.9221	高水平耦合	0.3250	轻度失调	1.5487	轻度失调-城市韧性滞后
合肥市	0.9810	高水平耦合	0.4781	初级协调	1.2451	初级协调-城市韧性滞后
芜湖市	0.9862	高水平耦合	0.3150	轻度失调	1.0563	轻度失调
马鞍山市	1.0000	高水平耦合	0.3155	轻度失调	0.8099	轻度失调
铜陵市	0.8241	高水平耦合	0.1871	严重失调	0.3452	严重失调-城市土地利用效益滞后
安庆市	0.7328	磨合	0.1514	严重失调	1.3988	严重失调-城市韧性滞后
滁州市	0.9865	高水平耦合	0.2123	中度失调	0.8964	中度失调
池州市	0.9941	高水平耦合	0.1056	严重失调	0.5523	严重失调-城市土地利用效益滞后
宣城市	0.9450	高水平耦合	0.1432	严重失调	0.8609	严重失调
均值	0.9536	高水平耦合	0.3839	轻度失调		

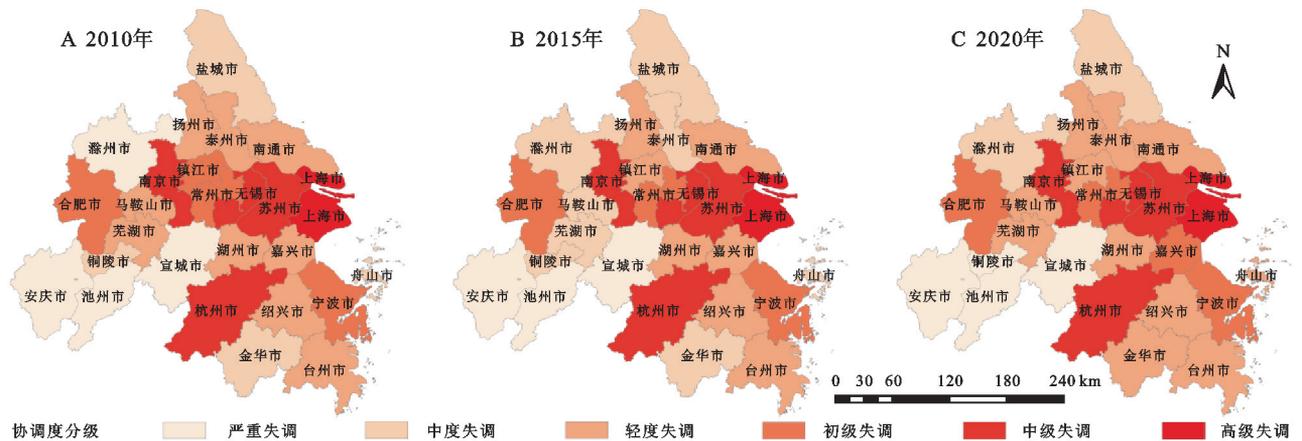


图4 长三角城市群城市韧性与城市土地利用效益协调度空间分布

5 结论与建议

5.1 结论

(1) 2010—2020年期间,长三角城市群仅有上海、扬州、镇江、铜陵、池州5个城市的城市韧性水平出现下降,其余城市均呈上升趋势,城市韧性水平总体呈现上升发展趋势;城市土地利用效益表现为波动变化,26个城市中上海市的土地利用效益整体最高,且呈增长趋势;安庆、池州、滁州、盐城等边缘城市整体最低,且变化缓慢,研究期内均为低效益水平。空间分布上二者均呈现出“东中部高、南北边缘低”的空间格局,且城市韧性由2010年的零散分布转变为2020年的聚集型分布。城市土地利用效益由2010年的“7”字形分布转变为2020年的“大”字形分布。

(2) 2010—2020年,长三角城市群城市韧性与城市土地利用效益的耦合程度除2010年、2015年的铜陵市及2020年的安庆市属于磨合阶段以外,其余城市均表现为高水平耦合阶段,耦合度的均值分别为0.960 9,0.960 8,0.953 6,耦合度较好且发展较为稳定,二者存在显著的强关联作用。

(3) 协调度总体较低,2010—2020年的协调度均值分别为0.373 5,0.365 9,0.383 9,整体上均属于轻度失调。研究期内协调城市数量变化不大,分别为9,8,9,但协调等级明显提升,嘉兴市由轻度失调上升为初级协调,金华、舟山等城市由中度失调上升为轻度失调,滁州市由严重失调上升为中度失调,因此协调度总体呈现出上升的发展态势。在空间分布上,协调度总体呈“东高西低、中心高外围低”的空间分布格局,即上海、苏州、无锡、杭州等东部及中部城市的协调度等级高,而安庆、池州、铜陵、盐城、台州等边缘城市的协调度较低。

(4) 长三角城市群26个城市中,上海、南京、扬州、

泰州等近1/2的城市(2010年14个,2015年12个,2020年12个),其城市韧性和城市土地利用效益实现了同步协调发展,其余城市在2010—2015年多以超前型为主(城市韧性超前于城市土地利用效益),2015—2020年多以滞后型为主(城市韧性滞后于城市土地利用效益)。

5.2 建议

(1) 加快提升城市韧性水平,推动韧性城市建设。强化城市基础设施及安全设施建设,进一步提升城市抵御外界风险与自我恢复的能力。长三角城市群近几年的韧性水平总体上有了明显提升,但安庆、池州、铜陵、盐城等边缘城市的韧性水平相对较为低下,在以后的城市发展建设过程中,还须进一步提升此类城市的韧性水平,发挥中心城市带动作用,进一步缩小区域差异,促进边缘城市发展。

(2) 优化土地利用结构,提升城市土地利用效益。长三角城市群近几年的城市土地利用效益水平总体不高,大部分城市还处于低效益、较低效益水平,土地资源未得到充分有效利用,土地开发利用尚存在极大的发展空间。在未来的发展中应根据各城市的自身情况,因地制宜,充分发挥自身资源优势,合理配置土地资源,坚持“集约节约高效”利用原则,以保障土地资源的可持续利用。

(3) 推动城市韧性与城市土地利用协调发展,打造可持续发展新型城市。根据城市群城市韧性与城市土地利用效益耦合协调度水平较低、发展不平衡的现状,应针对各个城市独特的产业优势,实施差别化政策,加强对不同区域产业结构及土地利用布局的调控和引导,促进城市经济及土地利用的区域协调,统筹城市韧性与城市土地利用协调发展。

(4) 促进城市合作,推动长三角城市群区域协调发展。长三角城市群各城市的差距较大,在今后的发展建设中,须发挥大城市的中心辐射作用,推动城市

交流合作,平衡资源差距,以大城市带动小城市战略缩小城市发展差距,建设安全韧性城市,推动长三角区域城市群的协调可持续发展,建设面向全球、辐射亚太、引领全国的世界级城市群。

参考文献:

- [1] 邵亦文,徐江.城市韧性:基于国际文献综述的概念解析[J].国际城市规划,2015,30(2):48-54.
- [2] Holling C S. Resilience and stability of ecological systems[J]. Annual Review of Ecology and Systematics, 1973,4(1):1-23.
- [3] 西亚姆巴巴拉·伯纳德·曼耶纳,张益章,刘海龙.韧性概念的重新审视[J].国际城市规划,2015,30(2):13-21.
- [4] 徐江,邵亦文.韧性城市:应对城市危机的新思路[J].国际城市规划,2015,30(2):1-3.
- [5] Godschalk D R. Urban hazard mitigation: Creating resilient cities[J]. Natural Hazards Review, 2003,4(3):136-143.
- [6] Cutter S L, Barnes L, Berry M, et al. A place-based model for understanding community resilience to natural disasters [J]. Global Environmental Change, 2008, 18(4):598-606.
- [7] Parizi S M, Taleai M, Sharifi A. Integrated methods to determine urban physical resilience characteristics and their interactions[J]. Natural Hazards, 2021,109(1):725-754.
- [8] 戴维·R·戈德沙尔克,许婵.城市减灾:创建韧性城市[J].国际城市规划,2015,30(2):22-29.
- [9] 李亚,翟国方.我国城市灾害韧性评估及其提升策略研究[J].规划师,2017,33(8):5-11.
- [10] 滕五晓,罗翔,万蓓蕾.韧性城市视角的城市安全与综合防灾系统:以上海市浦东新区为例[J].城市发展研究,2018,25(3):39-46.
- [11] 谢欣露,郑艳.气候适应型城市评价指标体系研究:以北京市为例[J].城市与环境研究,2016,17(4):50-66.
- [12] 戴伟,孙一民,韩·迈尔.气候变化下的三角洲城市韧性规划研究[J].城市规划,2017,41(12):26-34.
- [13] Jabareen Y. Planning the resilient city: Concepts and strategies for coping with climate change and environmental risk[J]. Cities, 2013,31:220-229.
- [14] 邵亦文,徐江.城市韧性:基于国际文献综述的概念解析[J].国际城市规划,2015,30(2):48-54.
- [15] 周利敏.韧性城市:风险治理及指标建构:兼论国际案例[J].北京行政学院学报,2016,18(2):13-20.
- [16] 孙阳,张落成,姚士谋.基于社会生态系统视角的长三角地级城市韧性度评价[J].中国人口·资源与环境, 2017,27(8):151-158.
- [17] 苏欣,杨华,贾静涛,等.基于 TM 数据的土地利用动态变化研究:以重庆市潼南县为例[J].安徽农业科学, 2013,41(15):6932-6935.
- [18] 陈士银,陈爱珠,周飞.区域土地利用的社会效益及其时空特征研究[J].资源开发与市场,2008,24(11):975-978.
- [19] 宋戈,高楠.基于 DEA 方法的城市土地利用经济效益分析:以哈尔滨市为例[J].地理科学,2008,28(2):185-188.
- [20] 朱珠,张琳,叶晓雯,等.基于 TOPSIS 方法的土地利用综合效益评价[J].经济地理,2012,32(10):139-144.
- [21] 刘畅,师学义,梁旭琴,等.基于物元模型的资源型城市土地利用效益动态评价研究[J].水土保持研究,2015, 22(4):122-126,131.
- [22] 佟香宁,杨钢桥,李美艳.城市土地利用效益综合评价指标体系与评价方法:以武汉市为例[J].华中农业大学学报:社会科学版,2006,51(4):53-57.
- [23] 倪维秋.中国三大城市群城市土地利用经济、社会、生态效益的耦合协调性及其空间格局[J].城市发展研究,2016,23(12):69-77.
- [24] 左乃先,白永平,左京平,等.城市土地利用效益与城市化耦合协调发展研究:以陕甘宁 27 个城市为例[J].水土保持研究,2015,22(6):267-272,278.
- [25] 武京涛,涂建军,阎晓,等.中国城市土地利用效益与城市化耦合机制研究[J].城市发展研究,2011,18(8):42-45,63.
- [26] 孙东琪,张京祥,张明斗,等.长江三角洲城市化效率与经济发展水平的耦合关系[J].地理科学进展,2013,32(7):1060-1071.
- [27] 金贵,郭柏枢,成金华,等.基于资源效率的国土空间布局及支撑体系框架[J].地理学报,2022,77(3):534-546.
- [28] 修春亮,魏冶,王绮.基于“规模-密度-形态”的大连市城市韧性评估[J].地理学报,2018,73(12):2315-2328.
- [29] 周倩,刘德林.长三角城市群城市韧性与城镇化水平耦合协调发展研究[J].水土保持研究,2020,27(4):286-292.
- [30] 马长发,朱晓旭.西部地区新型城镇化和乡村振兴互动关系研究[J].生态经济,2021,37(5):99-105.
- [31] 张明斗,莫冬燕.城市土地利用效益与城市化的耦合协调性分析:以东北三省 34 个地级市为例[J].资源科学, 2014,36(1):8-16.
- [32] 张明斗,张蕊.东北地区城市韧性与城市土地利用效益的耦合协调研究[J].工业技术经济,2021,40(9):105-114.
- [33] 吴玉鸣,张燕.中国区域经济增长与环境的耦合协调发展研究[J].资源科学,2008,6(1):25-30.
- [34] 刘浩,张毅,郑文升.城市土地集约利用与区域城市化的时空耦合协调发展评价:以环渤海地区城市为例[J].地理研究,2011,30(10):1805-1817.