

引用格式:赵宏波,魏甲晨,孙东琪,等.大城市内部“生产-生活-生态空间”多尺度耦合协调度:以郑州市为例[J].资源科学, 2021, 43(5): 944-953. [Zhao H B, Wei J C, Sun D Q, et al. Multi-scale analysis on the coupling coordination degree of production-living-ecological spaces in cities: A case study of Zhengzhou City[J]. Resources Science, 2021, 43(5): 944-953.] DOI: 10.18402/resci.2021.05.08

大城市内部“生产-生活-生态空间”多尺度耦合协调度 ——以郑州市为例

赵宏波¹,魏甲晨¹,孙东琪²,王 爽¹,刘雅馨¹,谭俊涛³

(1. 河南大学 黄河文明与可持续发展研究中心暨黄河文明省部共建协同创新中心, 开封 475001;

2. 中国科学院地理科学与资源研究所 中国科学院区域可持续发展分析与模拟重点实验室, 北京

100101; 3. 江苏师范大学地理测绘与城乡规划学院, 徐州 221116)

摘 要:城市“生产-生活-生态空间”的耦合协调发展是国土空间格局优化的重要基础。本文以郑州市为例, 利用POI数据与随机森林模型精准识别2007年和2017年城市内部“生产-生活-生态空间”的分布特征, 并运用定量模型多尺度分析“生产-生活-生态空间”的耦合协调度。结果表明:①整体结构特征上, 郑州城市内部生态空间数量和所占比例均明显增加, 生活空间所占比例相对稳定, 生产空间的数量与所占比例变化波动较大。②辖区尺度上, 郑州市“生产-生活-生态空间”耦合度不断提高, 部分区域呈现出由拮抗时期向协调耦合时期的转化, 协调度与耦合度存在一定的空间一致性。③街道尺度上, 郑州市“生产-生活-生态空间”耦合度平均水平从磨合时期转为协调耦合时期, 其空间差异明显减小, “生产-生活-生态空间”的协调度平均水平由中度失调转为基本协调, 协调度水平明显提升。本文通过对城市内部“生产-生活-生态空间”耦合协调度的多尺度分析, 旨在为城市层面不同尺度的国土空间规划提供理论参考。

关键词:“生产-生活-生态空间”; 随机森林; 耦合协调; POI数据; 郑州市

DOI: 10.18402/resci.2021.05.08

1 引言

生产空间、生活空间和生态空间简称“三生空间”, 是自然-经济-社会(Nature-Economy-Society, N-E-S)系统耦合协调的产物。改革开放以来, 随着中国城镇化进程的快速推进, 城镇土地盲目扩张引发不同功能用地结构失衡、利用效率较低与空间布局不合理等一系列国土空间问题^[1,2], 导致“三生空间”功能冲突日益加剧, 带来了生态系统失衡、环境污染加剧、土地功能退化等一系列可持续发展问题^[3]。如何促进“三生空间”协调发展成为国土空间优化的重要目标。对“三生空间”的结构和耦合

协调水平进行评估, 有利于了解“三生空间”的空间格局和发展状态, 发现城市发展进程中遇到的问题, 缓解不同空间之间的矛盾, 对于城市生态文明建设, 推动可持续发展和优化国土空间开发格局具有一定应用价值。

近年来, 学者从国家^[4]、省域^[5]与流域^[6]等不同空间尺度对“三生空间”展开研究^[7-10]。研究内容上, 多为采用不同类型数据建立指标体系对“三生空间”进行识别、评价、空间布局和时空演化分析^[11-15]。研究方法上, 多采用经典的地理学方法, 如核密度估计、空间自相关分析、网格法来分析区域“三生空

收稿日期: 2020-05-20; 修订日期: 2020-08-06

基金项目: 国家自然科学基金项目(41501128; 41430637)。

作者简介: 赵宏波, 男, 河南长垣人, 副教授, 研究方向为经济地理与区域发展。E-mail: zhaohbhhwm@163.com

通讯作者: 魏甲晨, 男, 河南邓州人, 硕士, 研究方向为经济地理与区域发展。E-mail: weijiachen96@163.com

2021年5月

间”的时空格局,此外其他方法还包括耦合协调度模型、SFA模型与多样化指数等。数据运用上,不同研究尺度因数据的获得性和可用性不同而有所差异,在大尺度如国家尺度分析中常采用土地利用数据或遥感影像解译来对“三生空间”进行识别;而在县域或市域尺度上,常采用全国土地调查数据或土地利用数据等。综上,已有文献为“三生空间”的研究奠定了良好基础,但是涉及城市内部层面的相关研究较少,特别是受数据精度限制无法有效识别城市内部的“三生空间”,导致更小尺度上的“三生空间”耦合协调度分析存在一定难度。

近年来,POI(Point of Interest)作为新兴的地理大数据,已广泛应用于城市功能识别等方面^[16],POI数据描述了地理实体的空间和属性信息^[17],为“三生空间”的精准化识别提供了一个新的思路。例如曹根榕等^[18]采用POI数据识别出了上海市中心城区的“三生空间”,本文利用随机森林模型改进了其专家打分法确定权重进而识别“三生空间”的方法,在此基础上进行“三生空间”的耦合协调度分析。随机森林模型广泛应用于生态学^[19,20]、土壤学^[21]等领域,在地理学中也有涉及^[22-24],在算法上具有明显而独特的优势,可以有效识别城市内部“三生空间”,为分析“三生空间”耦合协调度奠定基础。当前,郑州市正加快建设现代化国家中心城市,推动城市功能布局更加完善,逐步形成“三生空间”结构优化的新格局。鉴于此,本文基于郑州市2007年和2017年POI数据,首先运用随机森林模型与样方比例法对“三生空间”进行识别,然后利用耦合度和协调度模型对郑州市“三生空间”耦合协调度进行多尺度分析,旨在为城市内部层面“三生空间”的精准识别提供方法参考,为城市国土空间规划提供理论支撑。

2 研究区域、数据来源与研究方法

2.1 研究区域与数据来源

郑州市是河南省会,是国家中心城市和重要的综合交通枢纽。全市总面积7446 km²,现辖6区5市1县及航空港经济综合实验区、郑东新区、经济技术开发区(简称“经开区”)、高新技术产业开发区(简称“高新区”)。郑州市中心城区由新城区与老城区构成,是郑州市城市功能布局完善与“三生空间”耦合协调发展的核心区域。本文的研究区域为郑州

市中心城区,包括二七区、金水区、惠济区、管城区、中原区、高新区、经开区和郑东新区。

郑州市2007年和2017年全要素POI数据获取于高德地图^[25]。本文借鉴曹根榕等^[18]POI数据分类方法,按照“三生空间”的属性和功能对POI数据进行分类,然后与POI数据类型一一对应。生产空间是用于生产经营管理活动的场所,主要包括生产性服务空间、工业空间、管理空间和交通空间4个大类。生活空间是人们居住、消费与休闲场所,包含生活性服务业空间和居住空间两方面。生态空间是为人类提供生态产品和服务的绿地空间,因POI数据类型受限,如POI数据不包含防护绿地,本文中绿地空间主要包括公园绿地和风景名胜两类POI数据。

按照郑州市POI数据的一般覆盖范围,将研究范围划分为300 m×300 m基本的网格识别单元,采用地理配准方法将郑州市城市总体规划(2010—2020年,2017年修订)的中心城区用地规划图与POI数据进行空间匹配,结合规划图的用地类型,在空间上均匀选取“三生空间”POI数据样本点各100个左右,统计这些网格单元中交通设施、生活服务、公园绿地等16个小类POI的点数,将这些样本点作为机器学习的训练数据导入随机森林模型,经过多次测试,选取最优模型计算结果与真实值进行对比,最终总体样本预测准确率达93.32%,说明模型适用于本研究。最后根据格网POI点数数据构建模型,识别出每个格网空间类型,并运用标准化方法初步求出POI类型的权重(表1),依据上述权重计算结果,采用综合加权模型进一步计算辖区尺度和街道尺度“三生空间”的得分,将生产、生活、生态空间得分结果分别用D、R、E表示。

2.2 研究方法

2.2.1 随机森林

随机森林模型是一种现代分类与数据处理技术,属于一类新兴的机器学习算法,该模型可以评估变量的重要性^[28]。本文随机森林模型是在R Studio平台上运行,利用importance()函数对“三生空间”重要性进行排序。从金融保险、工厂及产业园等6个种类中选取2类影响度最大的POI数据作为生产空间识别,从购物服务、生活服务与居住区等8个种类中选取2类POI数据作为生活空间,将2类绿

表1 基于“生产-生活-生态空间”的POI分类表

Table 1 Point of interest (POI) classification based on production-living-ecological spaces

三生空间	大类	种类	权重	
生产	生产性服	公司企业	0.4695	
	务业空间	金融保险	0.0967	
	工业空间	工厂及产业园	0.1238	
		仓储物流	0.0152	
	管理空间	政府机构	0.0861	
	交通空间	交通设施	0.2087	
	生活	生活性服	餐饮服务	0.0945
务业空间		购物服务	0.1311	
		生活服务	0.1885	
		医疗保健	0.1638	
		科教文化	0.1029	
		体育休闲	0.0488	
		住宿服务	0.0792	
居住空间		居住区	0.1912	
生态		绿地空间	公园绿地	0.7414
			风景名胜	0.2586

资料来源:用地类型参照GB50137-2011《城市用地分类与规划建设用地标准》。

地空间作为生态空间。以IncMSE方法为参考,将Mean Decrease Accuracy (MDA)标准化值作为权重(表2)。

各类POI数量乘以其MDA值作为加权POI数量,公式如下:

$$P_i = N_i \times MDA_i \tag{1}$$

$$S = \sum_{i=1}^n N_i \times MDA_i \tag{2}$$

式中: P_i 为第*i*类POI加权数量; N_i 为第*i*类POI个数; MDA_i 为第*i*类POI重要性; S 为每个网格中6类POI的总量。

2.2.2 耦合度模型

耦合度是用来反映多个系统或运动形式之间相互作用影响的程度^[29]。本文运用耦合度模型表征“三生空间”之间的相互影响程度,具体公式如下:

$$C_i = 3 \times \left\{ \frac{D_i \times R_i \times E_i}{(D_i + R_i + E_i)^3} \right\}^{1/3} \tag{3}$$

式中: C_i 为第*i*个辖区/街道“三生空间”耦合度, C 值越大耦合程度越高; D_i 为第*i*个辖区/街道生产空间总得分; R_i 为第*i*个辖区/街道生活空间总得分; E_i 为第*i*个辖区/街道生态空间总得分。参考已有成果^[30],并结合本文研究情况,将耦合度类型划分为4种类型。 $C \in (0.0, 0.3]$ 时,处于低耦合时期; $C \in (0.3, 0.5]$ 时,处于拮抗时期; $C \in (0.5, 0.8]$ 时,处于磨合时期; $C \in (0.8, 1.0]$ 时,处于协调耦合时期。

2.2.3 协调度模型

利用协调度模型能够表征“三生空间”之间在不同水平上的相互作用关系,引入协调度模型^[31]具体公式如下:

$$K = \sqrt{C \times T}, T = \alpha D + \beta R + \gamma E \tag{4}$$

式中: K 为“三生空间”协调度; α, β, γ 分别为生产空间、生活空间和生态空间的系数值,由于“三生空间”在城市中都具有重要价值, α, β, γ 值取平均数,全部为1/3。参考已有研究文献^[21],将郑州市“三生空间”的协调度分为5种类型。 $K \in (0.0, 0.2]$ 时,为高度失调类型, $K \in (0.2, 0.4]$ 时,为中度失调类型, $K \in (0.4, 0.5]$ 时,为基本协调类型; $K \in (0.5, 0.8]$ 时,为中度协调类型; $K \in (0.8, 1.0]$ 时,为高度协调类型。

3 结果与分析

3.1 “三生空间”的分布与结构

3.1.1 “三生空间”分布特征

利用公式(1)和(2)计算出各类型POI加权数量和总量,分别用生产空间、生活空间和生态空间POI加权数量除以总量得出比例,进行“三生空间”的精准识别^[32],并将结果同郑州市相关规划图叠加验证,基本与城市片区功能布局相匹配,表明“三生空间”识别结果比较准确。如图1所示,空间分布上,生产空间在高新技术产业开发区、经济技术开发区等辖区,以工厂及产业园区类POI为主,呈面状分布,在

表2 影响因子权重表

Table 2 Weights of the influencing factors

	生产空间		生活空间		生态空间	
	公司企业	工厂及产业园	生活服务	居住区	公园绿地	风景名胜
MDA	30.12	19.63	23.12	42.80	121.04	48.98
MDA标准化值	10.54	6.87	8.09	14.98	42.37	17.14

2021年5月

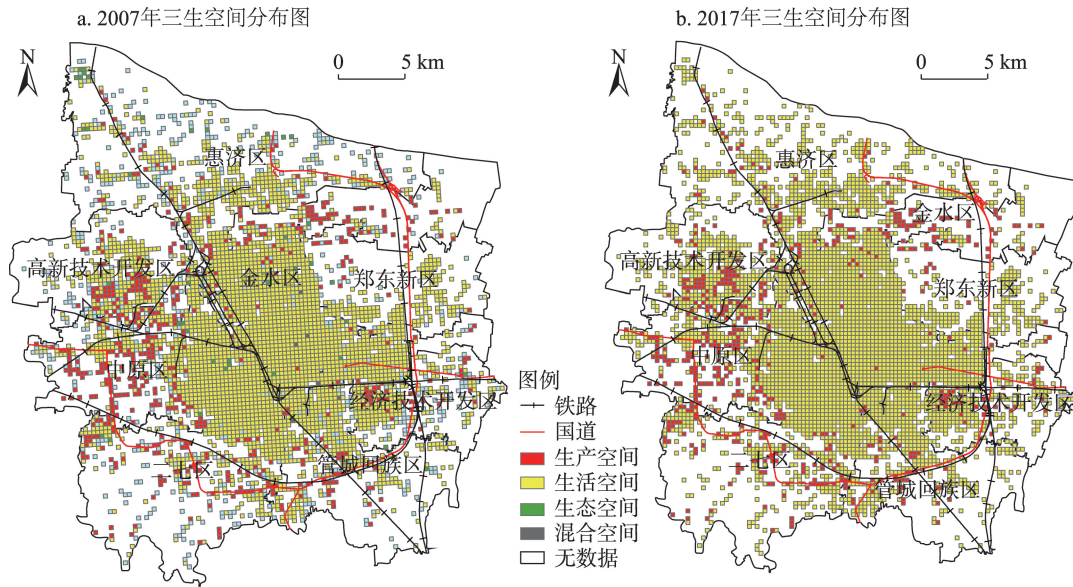


图1 2007年和2017年郑州市“三生空间”分布特征

Figure 1 Distribution characteristics of production-living-ecological spaces in Zhengzhou City, 2007 and 2017

市中心区(三环以内)以公司企业类POI为主,呈零星分布。整体来看生活空间在老城区,呈面状分布,其中生活性服务业空间依赖于居住区的位置而分布。生态空间不仅具有生态服务功能,还为居民提供了娱乐和休憩空间,多镶嵌于生活空间中呈点状分布。

3.2 “三生空间”结构特征

将“三生空间”300 m×300 m格网统计到郑州市

各区中,计算各区2007年和2017年3种空间类型的数量,并用2017年各空间数量减去2007年数量来表征郑州市10年来“三生空间”的数量变化情况,结果如图2。

从图中可以看出,各区生产空间数量变化有增有减,其中惠济区生产空间数量增幅明显,而中原区生产空间数量明显减少。各区生活空间数量有所减少,其中惠济区数量减少最多。各区生态空间

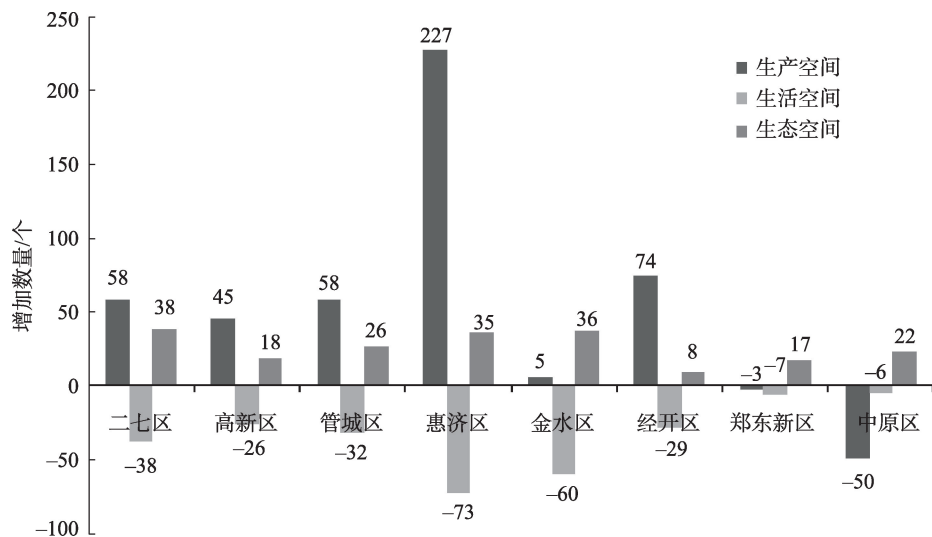


图2 2007年与2017年郑州市各区“三生空间”变化情况

Figure 2 Change of production-living-ecological spaces in the districts of Zhengzhou City, 2007 and 2017

数量均有所增加,这与郑州市近年来贯彻绿色发展理念,提升城市绿化覆盖率有关,从而使得各区生态空间数量有所提升。

图3为郑州市2007年与2017年“三生空间”在各区所占比例的分布雷达图。2007年中原区和高新技术产业开发区的生产空间数量占比明显高于其他区,至2017年高新区、惠济区和经开区生产空间所占比例较高,而其在中原区的所占比例明显降低。2007年与2017年各区生活空间所占比例相对稳定,但10年来在惠济区、高新区与经开区生活空间所占比例减少较多。2017年郑州市各区生态空间所占比例明显提高,其中,郑东新区以生态城市和共生城市为发展理念,故其生态空间所占比例最大。

3.3 不同尺度“三生空间”耦合协调分异特征

3.3.1 市辖区尺度“三生空间”耦合度与协调度时空分异特征

根据耦合度模型计算出郑州市2007年和2017年各区的耦合度,结果如图4a和4b。2007年与2017年耦合度均值分别为0.790和0.854,10年间耦合度水平由磨合时期转向协调耦合时期。空间分布上,2007年惠济区和高新区处于拮抗时期,郑东新区处于磨合时期,其余区处于协调耦合时期。随着城市的建设和发展,到2017年高新区和郑东新区的耦合度水平上升为协调耦合时期,惠济区上升为磨合时期。但值得注意的是经开区耦合度有所降低,进入磨合时期,这是因为10年间经开区通过大力招商引资形成了以汽车及零部件、装备制造与现代物流为主导的产业集聚区,生产空间快速的增加而导致“三生空间”的耦合度下降。

利用协调度模型得出郑州市“三生空间”的协调度空间分布如图4c和4d。从图4可以看出在市辖区尺度上,2007年与2017年郑州市各辖区的协调度与耦合度具有明显的空间一致性,即耦合度高值区与协调度高值区基本对应。中原区、金水区、二七区和管城区“三生空间”属于中度协调,而惠济区和郑东新区2007年与2017年“三生空间”保持中度失调类,经开区由基本协调类下降为中度失调,今后应加强这些区域的管理,促进“三生空间”协调发展。

3.3.2 街道尺度“三生空间”耦合度与协调度时空分异特征

为进一步明确郑州市耦合度和协调度的空间分布特征,将研究尺度细化至街道尺度。通过耦合度模型计算出郑州市2007年和2017年各街道的“三生空间”耦合度值,其空间分布特征如图5a和5b。2007年和2017年耦合度均值分别为0.662和0.863,说明街道尺度上耦合度平均水平从磨合时期转为协调耦合时期。空间分布上,2007年郑州市街道尺度耦合度水平比2017年空间分异特征明显,表明10年来郑州市街道尺度“三生空间”耦合度水平整体有所提升,且街道之间的耦合度水平差异在缩小。这种变化体现了郑州市坚持面向国土空间优化战略需求,统筹推进城市内部“三生空间”耦合有序发展所取得的成果。

2007年郑州市街道尺度耦合度水平包括低耦合时期、拮抗时期、磨合时期和协调耦合时期4种类型,其占比分别为:21.60%、9.50%、18.90%和50.00%,说明该时期郑州市“三生空间”耦合类型多样,空间功能矛盾突出。从空间分布上来看,郑州

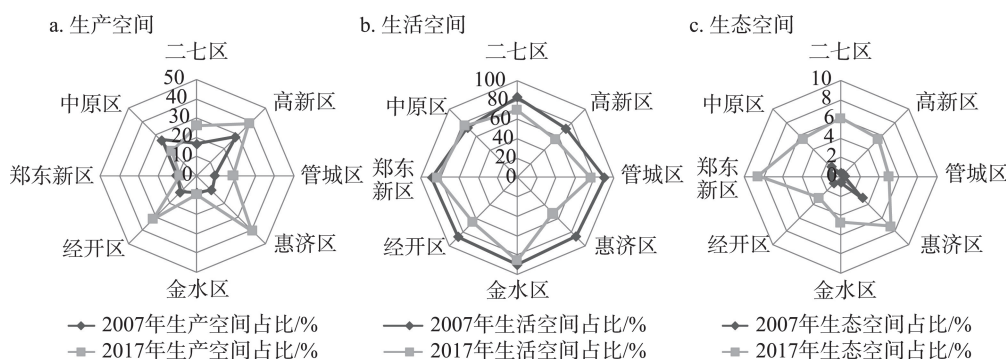


图3 2007、2017年郑州市“三生空间”各区所占比例分布雷达图

Figure 3 Radar chart of the proportional distribution of production-living-ecological spaces in Zhengzhou City, 2007 and 2017

2021年5月

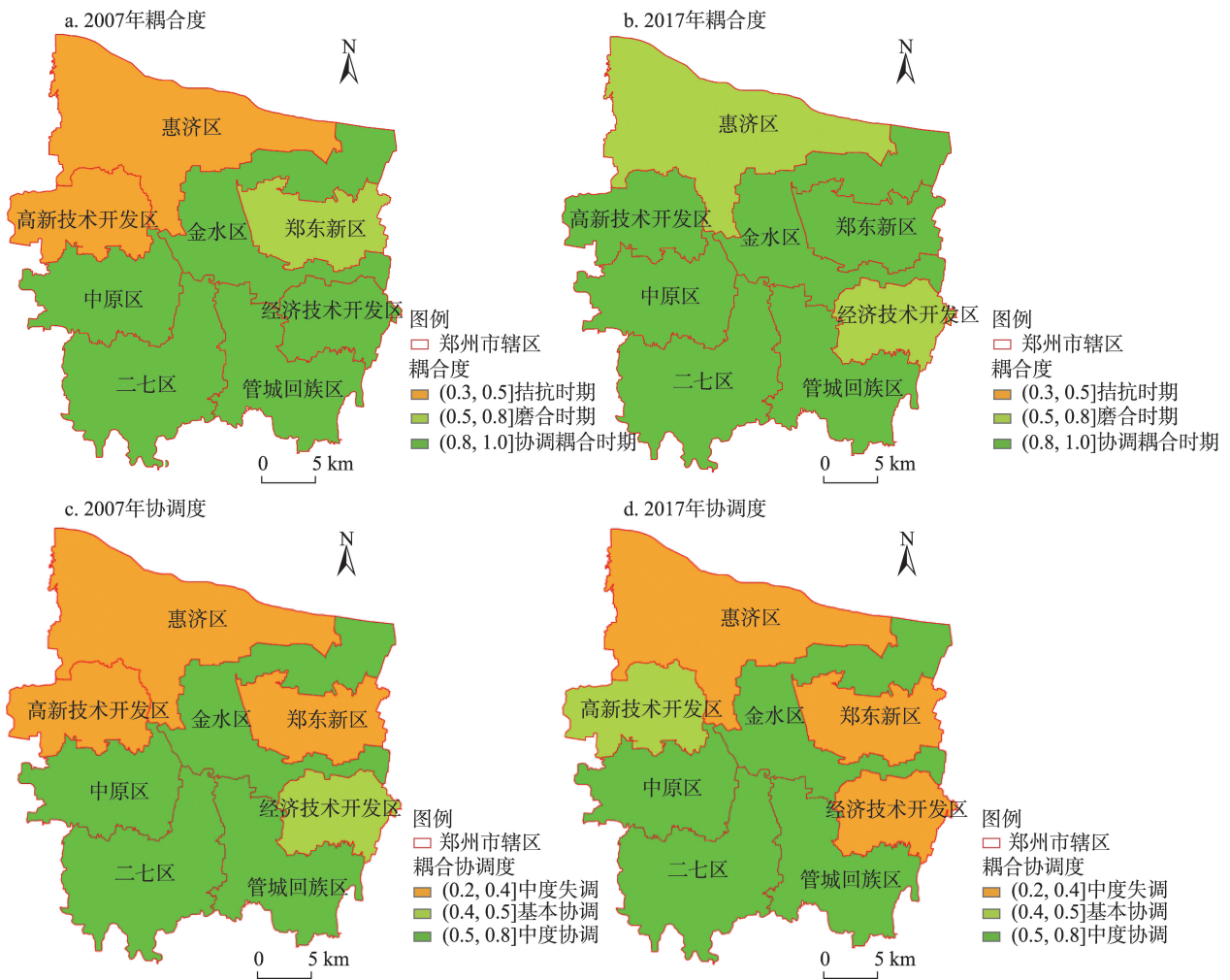


图4 2007、2017年郑州市尺度“三生空间”耦合度与协调度空间分布图

Figure 4 Spatial distribution of coupling degree and coordinating degree of production-living-ecological spaces in Zhengzhou City at the district scale, 2007 and 2017

市“三生空间”耦合度水平自西向东呈现“高-低-高”的分布状态,以二七塔为中心的商圈周围,郑州市南部的侯寨乡、十八里河镇和郑州市北部的迎宾路街道、丰庆路街道、枫杨街道的“三生空间”耦合度水平较低,处于低耦合时期。市中心是郑州市的商业区,布局了大量的商业设施,压缩了生态空间和生活空间的数量,导致“三生空间”耦合水平较低。耦合度高值区的街道数量占街道总数量的一半,协调耦合类型的街道数量占据优势比重,然而耦合度高值区与低值区相间分布,“三生空间”耦合度水平整体处于磨合时期。

2017年“三生空间”处于低耦合时期的街道消失,耦合度水平仅有拮抗时期、磨合时期和协调耦合时期3种类型,其占比分别为:4.10%、20.30%和

75.60%。2017年郑州市耦合度低值街道数量减少,高值街道数量明显增多,仅国基路街道、龙湖街道和大石桥街道处于拮抗时期,75.6%的街道处于协调耦合时期,表明郑州市街道尺度的“三生空间”系统逐渐趋向耦合有序状态。

利用协调度模型进一步计算郑州市各街道“三生空间”的协调水平,其空间分布如图5c和5d。总体上,2007年与2017年郑州市街道尺度的协调度均值分别为0.309和0.402,“三生空间”的协调度水平由中度失调类转为基本协调类,表明“三生空间”由失调发展逐步转变为协调发展。2007年,高度失调类、中度失调类、基本协调类和中度协调类4种类型街道数量分别占有所有街道的35.10%、33.80%、18.90%和12.20%。到2017年高度失调类街道数量

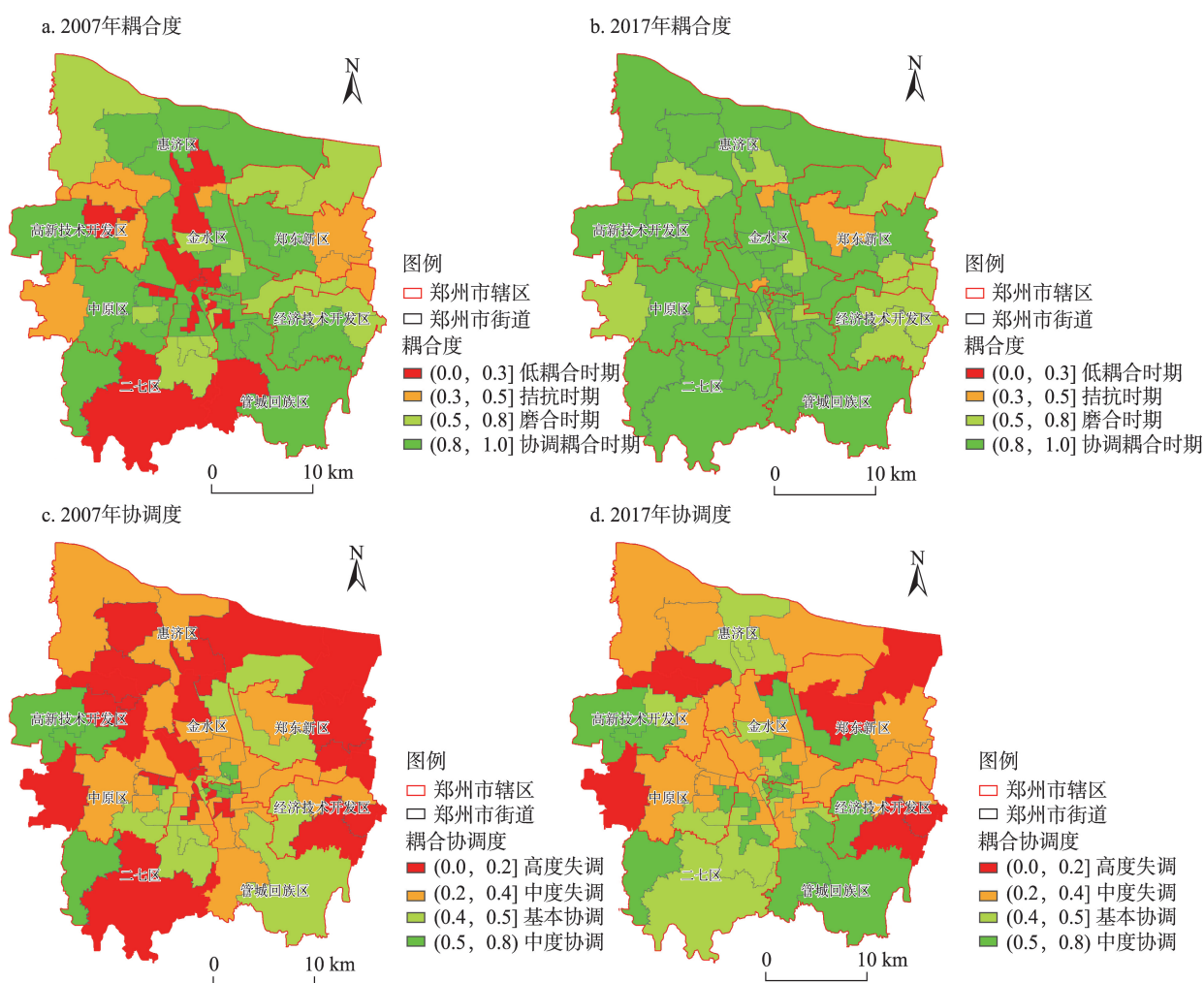


图5 2007、2017年郑州市街道尺度“三生空间”耦合度与协调度空间分布图

Figure 5 Spatial distribution of coupling degree and coordinating degree of production-living-ecological spaces in Zhengzhou City at the residential community scale, 2007 and 2017

明显减少,中度协调类数量相对增多,由低至高4种协调类型数量占比分别为10.80%、37.80%、23.00%和28.40%,空间分布上,2007年4类协调度类型呈分散无序分布,发展到2017年为中心高-四周低的分布格局。这表明街道尺度上郑州市“三生空间”协调度水平逐步提升,生产-生活-生态空间的数量配比和空间配置更加合理,为推动整个城市实现国土空间管制、统筹发展“三生空间”功能奠定基础。

4 结论

本文以郑州市中心城区为研究区域,基于2007年和2017年郑州市POI数据和随机森林模型,在300 m×300 m网格尺度下识别出郑州市“三生空间”的分布格局,并对城市内部的耦合协调水平进行多尺度分析,主要结论如下:

(1)整体结构特征上,2007年与2017年间郑州市城市内部生态空间数量和所占比例均明显增加,生活空间在市辖区内所占比例相对稳定,生产空间的数量与所占比例变化波动较大,其中10年来惠济区的生产空间增幅明显,而中原区的生产空间显著减少。

(2)市辖区尺度上,从“三生空间”耦合度来看,2007年与2017年耦合度整体上增幅明显,其耦合度水平呈现由磨合时期转向协调耦合时期。10年间惠济区由拮抗时期转为磨合时期,高新区和郑东新区分别由拮抗时期和磨合时期共同转为协调耦合时期,但是经开区耦合度有所降低;从协调度来看,郑州市各区协调度与耦合度具有明显的空间一致性。

2021年5月

(3)街道尺度上,从耦合度来看,2007年与2017年郑州市“三生空间”耦合度平均水平从磨合时期转为协调耦合时期,其空间差异明显减小。2007年郑州市“三生空间”耦合类型包括低耦合时期、拮抗时期、磨合时期和协调耦合时期4种类型。空间分布上,耦合度高值区与低值区相间分布,“三生空间”耦合度水平处于分散无序状态。2017年耦合度低值街道数量减少,高值街道数量明显增多,“三生空间”系统逐渐趋向耦合有序状态。从协调度来看,2007年与2017年“三生空间”的协调水平由中度失调类转为基本协调类。与2007年相比,2017年高度失调类街道数量明显减少,中度协调类数量相对增多,协调度在空间上呈现中心高-四周低的分布格局。

总体来看,无论是辖区尺度还是街道尺度,郑州市“三生空间”耦合协调程度逐渐提升,空间差异明显缩小。在今后的政策制定中,应该密切关注低耦合时期和基本失调类区域,重点改善这些区域的“三生空间”结构与资源配置方式,促进郑州市国土空间开发格局协同优化与可持续发展。本文仅运用POI数据对“三生空间”进行识别,由于数据类型单一可能会造成部分数据存在一定偏差,比如生态空间不仅包括公园绿地和风景名胜,还包括其他绿地空间如防护绿地、小区绿地等,本文仅用公园绿地和风景名胜两种POI数据识别生态空间。因此,在以后的研究中,将结合遥感影像、城市规划图和实地调研来更好地完善成果。另外,本文后续将结合夜间灯光、移动轨迹、居民行为感知等多源数据进行影响机制探讨,从而为优化城市内部国土空间开发格局提供更有价值的理论参考。

参考文献(References):

- [1] 傅伯杰, 张立伟. 土地利用变化与生态系统服务: 概念、方法与进展[J]. 地理科学进展, 2014, 33(4): 441-446. [Fu B J, Zhang L W. Land-use change and ecosystem services: Concepts, methods and progress[J]. Progress in Geography, 2014, 33(4): 441-446.]
- [2] 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[J]. 地理学报, 2019, 74(10): 2027-2044. [Zhou L, Che L, Zhou C H. Spatio-temporal evolution and influencing factors of urban green development efficiency in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2019, 74(10): 2027-2044.]
- [3] 金贵, 邓祥征, 赵晓东, 等. 2005-2014年长江经济带城市土地利用效率时空格局特征[J]. 地理学报, 2018, 73(7): 1242-1252. [Jin G, Deng X Z, Zhao X D, et al. Spatio-temporal patterns of urban land use efficiency in the Yangtze River Economic Zone during 2005-2014[J]. Acta Geographica Sinica, 2018, 73(7): 1242-1252.]
- [4] 刘继来, 刘彦随, 李裕瑞. 中国“三生空间”分类评价与时空格局分析[J]. 地理学报, 2017, 72(7): 1290-1304. [Liu J L, Liu Y S, Li Y R. Classification evaluation and spatial-temporal analysis of “production-living-ecological” spaces in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2017, 72(7): 1290-1304.]
- [5] 李欣, 殷如梦, 方斌, 等. 基于“三生”功能的江苏省国土空间特征及分区调控[J]. 长江流域资源与环境, 2019, 28(8): 1833-1846. [Li X, Yin R M, Fang B, et al. Research on the functional zoning and regulation of Jiangsu Province's territorial space based on the “production-living-ecological” function[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2019, 28(8): 1833-1846.]
- [6] 李江苏, 孙威, 余建辉. 黄河流域三生空间的演变与区域差异: 基于资源型与非资源型城市的对比[J]. 资源科学, 2020, 42(12): 2285-2299. [Li J S, Sun W, Yu J H. Change and regional differences of production-living-ecological space in the Yellow River Basin: Based on comparative analysis of resource-based and non-resource-based cities[J]. Resources Science, 2020, 42(12): 2285-2299.]
- [7] 马晓冬, 李鑫, 胡睿, 等. 基于乡村多功能评价的城市边缘区“三生”空间划分研究[J]. 地理科学进展, 2019, 38(9): 1382-1392. [Ma X D, Li X, Hu R, et al. Delineation of “production-living-ecological” space for urban fringe based on rural multifunction evaluation[J]. Progress in Geography, 2019, 38(9): 1382-1392.]
- [8] 李欣, 方斌, 殷如梦, 等. 江苏省县域“三生”功能时空变化及协同/权衡关系[J]. 自然资源学报, 2019, 34(11): 2363-2377. [Li X, Fang B, Yin R M, et al. Spatial-temporal change and collaboration/trade-off relationship of “production-living-ecological” functions in county area of Jiangsu Province[J]. Journal of Natural Resources, 2019, 34(11): 2363-2377.]
- [9] 李广东, 方创琳. 城市生态-生产-生活空间功能定量识别与分析[J]. 地理学报, 2016, 71(1): 49-65. [Li G D, Fang C L. Quantitative function identification and analysis of urban ecological-production-living spaces[J]. Acta Geographica Sinica, 2016, 71(1): 49-65.]
- [10] 李晓青, 刘旺彤, 谢亚文, 等. 多规合一背景下村域“三生空间”划定与实证研究[J]. 经济地理, 2019, 39(10): 146-152. [Li X Q, Liu W T, Xie Y W, et al. The delineation and empirical study of production-living-ecological space in village under the background of multiple planning integration[J]. Economic Geography, 2019, 39(10): 146-152.]
- [11] 李科, 毛德华, 李健, 等. 湘江流域三生空间时空演变及格局分析[J]. 湖南师范大学自然科学学报, 2020, (2): 9-19. [Li K, Mao D H, Li J, et al. On the evolution of Spatial-Temporal patterns of production-living-ecological Space in Xiangjiang River basin[J].

- Journal of Natural Science of Hunan Normal University, 2020, (2): 9-19.]
- [12] 廖李红, 戴文远, 陈娟, 等. 平潭岛快速城市化进程中三生空间冲突分析[J]. 资源科学, 2017, 39(10): 1823-1833. [Liao L H, Dai W Y, Chen J, et al. Spatial conflict between ecological-production-living spaces on Pingtan Island during rapid urbanization [J]. Resources Science, 2017, 39(10): 1823-1833.]
- [13] 吴艳娟, 杨艳昭, 杨玲, 等. 基于“三生空间”的城市国土空间开发建设适宜性评价: 以宁波市为例[J]. 资源科学, 2016, 38(11): 2072-2081. [Wu Y J, Yang Y Z, Yang L, et al. Land spatial development and suitability for city construction based on ecological-living-industrial space: Take Ningbo City as an example[J]. Resources Science, 2016, 38(11): 2072-2081.]
- [14] 龚亚男, 韩书成, 时晓标, 等. 广东省“三生空间”用地转型的时空演变及其生态环境效应[J]. 水土保持研究, 2020, 27(3): 203-209. [Gong Y N, Han S C, Shi X B, et al. Temporal and spatial evolution and associated Eco-environment effects of the land use transformation of ecological-production-living spaces in Guangzhou Province[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2020, 27(3): 203-209.]
- [15] 张军涛, 翟婧彤. 中国“三生空间”耦合协调度测度[J]. 城市问题, 2019, (11): 38-44. [Zhang J T, Zhai J T. The coupling coordination degree evaluation on China's production-living-ecological space[J]. Urban Problems, 2019, (11): 38-44.]
- [16] 池娇, 焦利民, 董婷, 等. 基于POI数据的城市功能区定量识别及其可视化[J]. 测绘地理信息, 2016, 41(2): 68-73. [Chi J, Jiao L M, Dong T, et al. Quantitative identification and visualization of urban functional area based on POI data[J]. Journal of Geomatics, 2016, 41(2): 68-73.]
- [17] 许泽宁, 高晓路. 基于电子地图兴趣点的城市建成区边界识别方法[J]. 地理学报, 2016, 71(6): 928-939. [Xu Z N, Gao X L. A novel method for identifying the boundary of urban built-up areas with POI data[J]. Acta Geographica Sinica, 2016, 71(6): 928-939.]
- [18] 曹根榕, 顾朝林, 张乔扬. 基于POI数据的中心城区三生空间识别及格局分析: 以上海市中心城区为例[J]. 城市规划学刊, 2019, (2): 44-53. [Cao G R, Gu C L, Zhang Q Y. Recognition of "ecological space, living space, and production space" in the urban central area based on POI data: The case of Shanghai[J]. Urban Planning Forum, 2019, (2): 44-53.]
- [19] 张雷, 王琳琳, 张旭东, 等. 随机森林算法基本思想及其在生态学中的应用-以云南松分布模拟为例[J]. 生态学报, 2014, 34(3): 650-659. [Zhang L, Wang L L, Zhang X D, et al. The basic principle of random forest and its applications in ecology: A case study of Pinus yunnanensis[J]. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(3): 650-659.]
- [20] 项涛, 董响红, 郭超, 等. 基于随机森林模型预测气候变化对黄颡鱼适生区的影响[J]. 水生生物学报, 2019, 43(6): 1262-1270. [Xiang T, Dong X H, Guo C, et al. The impacts of climate change on the distribution of pelteobagrus fulvidraco by random forest model[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2019, 43(6): 1262-1270.]
- [21] 赵彦锋, 程道全, 巫振富, 等. 基于空间分析的河南省小麦施肥问题诊断与地理优化[J]. 土壤学报, 2020, 57(5): 1206-1218. [Zhao Y F, Cheng D Q, Wu Z F, et al. Problem diagnosis and geographic optimization for fertilization of wheat in Henan Province based on spatial analysis[J]. Acta Pedologica Sinica, 2020, 57(5): 1206-1218.]
- [22] 王超, 阚珂珂, 曾业隆, 等. 基于随机森林模型的西藏人口分布格局及影响因素[J]. 地理学报, 2019, 74(4): 664-680. [Wang C, Kan A K, Zeng Y L, et al. Population distribution pattern and influencing factors in Tibet based on random forest model[J]. Acta Geographica Sinica, 2019, 74(4): 664-680.]
- [23] Simbera J. Neighborhood features in geospatial machine learning: The case of population disaggregation[J]. Cartography and Geographic Information Science, 2020, 47(1): 79-94.
- [24] Luciano A C D S, Picoli M C A, Rocha J V, et al. A generalized space-time OBIA classification scheme to map sugarcane areas at regional scale, using Landsat images time-series and the random forest algorithm[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2019, 80: 127-136.
- [25] 赵宏波, 余涤非, 苗长虹, 等. 基于POI数据的郑州市文化设施的区位布局特征与影响因素研究[J]. 地理科学, 2018, 38(9): 1525-1534. [Zhao H B, Yu D F, Miao C H, et al. The location distribution characteristics and influencing factors of cultural facilities in Zhengzhou based on POI data[J]. Scientia Geographica Sinica, 2018, 38(9): 1525-1534.]
- [26] Breiman L. Random forests[J]. Machine Learning, 2001, 45(1): 5-32.
- [27] 金宇, 周可新, 高吉喜, 等. 基于随机森林模型的国家重点保护陆生脊椎动物物种优先保护区的识别[J]. 生态学报, 2016, 36(23): 7702-7712. [Jin Y, Zhou K X, Gao J X, et al. Identifying the priority conservation areas for key national protected terrestrial vertebrate species based on a random forest model in China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(23): 7702-7712.]
- [28] 方匡南, 吴见彬, 朱建平, 等. 随机森林方法研究综述[J]. 统计与信息论坛, 2011, 26(3): 32-38. [Fang K N, Wu J B, Zhu J P, et al. A review of technologies on random forests[J]. Statistics & Information Forum, 2011, 26(3): 32-38.]
- [29] 王成, 唐宁. 重庆市乡村三生空间功能耦合协调的时空特征与格局演化[J]. 地理研究, 2018, 37(6): 1100-1114. [Wang C, Tang N. Spatio-temporal characteristics and evolution of rural production-living-ecological space function coupling coordination in Chongqing Municipality[J]. Geographical Research, 2018, 37(6): 1100-1114.]
- [30] 张旺, 周跃云, 胡光伟. 超大城市“新三化”的时空耦合协调性分析: 以中国十大城市为例[J]. 地理科学, 2013, 33(5): 562-569. [Zhang W, Zhou Y Y, Hu G W. Coupling mechanism and space-

- time coordination of new-approach urbanization, new-approach industrialization and service industry modernization in megacity behemoths: A case study of ten cities in China[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2013, 33(5): 562–569.]
- [31] 张玉萍, 瓦哈甫·哈力克, 党建华, 等. 吐鲁番旅游-经济-生态环境耦合协调发展分析[J]. *人文地理*, 2014, 29(4): 140–145. [Zhang Y P, Wahap H, Dang J H, et al. Coupled coordination degree of tourism-economy-ecological system in Turpan Area[J]. *Human Geography*, 2014, 29(4): 140–145.]
- [32] 康雨豪, 王玥瑶, 夏竹君, 等. 利用POI数据的武汉城市功能区划分与识别[J]. *测绘地理信息*, 2018, 43(1): 81–85. [Kang Y H, Wang Y Y, Xia Z J, et al. Identification and classification of Wuhan urban districts based on POI[J]. *Journal of Geomatics*, 2018, 43(1): 81–85.]

Multi-scale analysis on the coupling coordination degree of production-living-ecological spaces in cities: A case study of Zhengzhou City

ZHAO Hongbo¹, WEI Jiachen¹, SUN Dongqi², WANG Shuang¹, LIU Yaxin¹, TAN Juntao³

(1. Key Research Institute of Yellow River Civilization and Sustainable Development & Collaborative Innovation Center on Yellow River Civilization, Henan Province and Ministry of Education, Henan University, Kaifeng 475001, China;

2. Key Laboratory of Regional Sustainable Development Modeling, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China; 3. School of Geography, Geomatics and Planning, Jiangsu Normal University,

Xuzhou 221116, China)

Abstract: The coupling coordinated development of urban production-living-ecological spaces is an important basis for the optimization of territorial spatial pattern. Taking Zhengzhou City as an example, the point of interest (POI) data and random forest model were used to accurately identify the distribution characteristics of production-living-ecological spaces within the city between 2007 and 2017, and quantitative models were applied to analyze the coupling coordination degree of production-living-ecological spaces at multiple scales. The results show that: (1) With regard to the overall structural characteristics, the number and proportion of ecological spaces in Zhengzhou City increased significantly, the proportion of living spaces was relatively stable, and the number and proportion of production spaces fluctuated greatly. (2) At the scale of municipal districts, the coupling degree of production-living-ecological spaces had been continuously improved, and some regions showed the transformation from moderate level coupling to coordinated coupling. There is a certain spatial consistency between the coordination degree and the coupling degree. (3) At the scale of residential community, the average coupling degree of production-living-ecological spaces in Zhengzhou City changed from preliminary coupling to coordinated coupling type, and the spatial difference decreased significantly. The average coordination degree of production-living-ecological spaces changed from moderate incongruous to elementary coordination type, and the coordination degree improved significantly. Through the multi-scale analysis of the coupling coordination degree of production-living-ecological spaces within the city, this study provides a theoretical reference for territorial spatial planning on different scales at the city level.

Key words: production-living-ecological spaces; random forest; coupling coordination degree; POI data; Zhengzhou City