

DOI:10.13869/j.cnki.rswc.2024.04.027.

颜俊君, 佟涛, 马泉来, 等. 近 30 年来河南省国土“三生”空间转型特征及其情景模拟[J]. 水土保持研究, 2024, 31(4): 374-382, 394.

Yan Junjun, Tong Tao, Ma Quanlai, et al. Spatial Transformation Characteristics and Scenario Simulation for ‘Production-Living-Ecology’ Space of Henan Province’s Land in the Last 30 Years[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2024, 31(4): 374-382, 394.

近 30 年来河南省国土“三生”空间转型特征及其情景模拟

颜俊君^{1,2}, 佟涛^{1,2}, 马泉来^{1,2}, 王小玉^{1,2}, 周浩³

(1.河南省资源环境调查一院, 郑州 450007; 2.河南省自然资源科技创新中心

(资源环境承载力评价与监测预警研究), 郑州 450007; 3.湖南师范大学 地理科学学院, 长沙 410081)

摘要: [目的]探究河南省国土空间用地变化规律, 为当地国土综合管理及规划调控提供重要依据。[方法]基于 1990—2020 年土地利用数据、自然资源及社会经济等多源数据, 构建了“三生”空间分类体系并运用地学信息图谱论, 揭示国土“三生”空间转型信息规律, 继而采用未来土地利用模拟模型(FLUS)模拟了其转型态势。[结果]河南省的国土以农业生产空间为主, 生活空间持续扩张且表现出城镇生活空间扩张速度显著高于农村生活空间特点, 绿地生态空间和其他生态空间面积持续下降, 水域生态空间波动变化。河南省国土空间转型表现出时间阶段性差异特点。前一时段(1990—2005 年)以农业生产空间转型至生活空间及生态空间转型至生产空间为主, 后一时段(2005—2020 年)转型过程更为强烈, 主要表现为农业生产空间转型至城镇生活空间以及生活空间与生产空间交互转型为主。前一时段涨势图谱以农业生产空间和城镇生活空间为主, 至后一时段, 城镇生活空间和农村生活空间面积分别增长了 1.56 倍和 12.35 倍。落势图谱上后一时段的农村生活空间萎缩面积远大于城镇生活空间萎缩量, 城乡二元化发展态势显著。通过对比不同空间分辨率及时间尺度下模拟精度, 确定最优模拟空间分辨率为 300 m, 最优模拟时间点为 2035 年。模拟结果显示: 至 2035 年河南省国土空间变化明显放缓, 并将主要围绕农村生活空间和农业生产空间转型进行。[结论]河南省的国土空间管理工作应重点关注耕地保护与恢复以及合理引导农村、城镇生活空间统筹发展。

关键词: “三生”空间; 国土空间转型; 地学信息图谱; 情景模拟; 河南省

中图分类号: F323.2

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2024)04-0374-09

Spatial Transformation Characteristics and Scenario Simulation for ‘Production-Living-Ecology’ Space of Henan Province’s Land in the Last 30 Years

Yan Junjun^{1,2}, Tong Tao^{1,2}, Ma Quanlai^{1,2}, Wang Xiaoyu^{1,2}, Zhou Hao³

(1. First Institute of Resources and Environment Investigation of Henan Province, Zhengzhou 450007,

China; 2. Science and Technology Innovation Centre of Nature Resources of Henan Provinces/Evaluation

Monitoring and Early Warning of Resource Environmental Bearing Capacity, Zhengzhou 450007, China;

3. School of Geographical Sciences, Hunan Normal University, Changsha 410081, China)

Abstract: [Objective] The aims of this study are to explore the pattern of land space change in Henan, and to provide important insights and basis for the local comprehensive land management and spatial planning control. [Methods] The diverse array of data sources, including land use distribution data spanning from 1990 to 2020, natural resource records, and socio-economic indicators were drawn. By crafting comprehensive system for recognize ‘production-living-ecology’ spaces and leveraging geospatial information graph theory, the discernible patterns underlying the province’s land transformation since 1990 were revealed. Additionally, the Future Land Use Simulation (FLUS) model was employed to simulate forthcoming trends in land use. [Results] Henan Province’s landscape had been predominantly characterized by spaces devoted to agricultural

收稿日期: 2023-08-09

修回日期: 2023-09-08

资助项目: 河南省重点研发与推广专项项目(232400410036); 河南省豫地科技集团重点科研项目(JTZDKY202404)

第一作者: 颜俊君(1983—), 女, 河南省郑州人, 本科, 中级工程师, 主要从事国土空间资源管理及规划研究。E-mail: 15093285339@163.com

通信作者: 王小玉(1981—), 女, 河北省唐山市人, 硕士, 高级工程师, 主要从事自然资源调查与评价研究。E-mail: 37717941@qq.com

<http://stbcy.paperonce.org>

production. The expansion of living spaces remained a sustained trend, with urban living areas growing notably faster than their rural counterparts. Simultaneously, green ecological spaces and other natural habitats had progressively diminished, punctuated by fluctuations in water-based ecological areas. The evolution of land space within Henan Province exhibited discernible phases. During the initial period (1990—2005), the transformation was predominantly marked by shifts from agricultural production spaces to living spaces, and a reconfiguration of ecological spaces into production zones. In the latter period (2005—2020), these transformations intensified, primarily manifesting as conversions from agricultural production areas to urban living spaces, along with dynamic interplays between residential and production zones. Analyzing the trend maps revealed a noteworthy progression. In the earlier phase, agricultural production spaces and urban living areas were prominent. In contrast, the later phase witnessed a considerable expansion of urban living spaces by a factor of 1.56 and rural living spaces by an astonishing 12.35. On the decline side, the contraction of rural living spaces in the latter period was substantially more pronounced than the reduction in urban living spaces, clearly indicating a pronounced trend towards urban-rural dichotomy in development. Through meticulous comparison across various spatial resolutions and temporal scales, we have determined that the optimal simulation spatial resolution for this study was 300 m, and the optimal simulation time point was 2035. The simulation results underscore that by 2035, Henan Province's land transformation will notably decelerate, with the primary focus pivoting towards the transformation of rural living spaces and agricultural production areas. [Conclusion] Consequently, land space management strategies should emphasize safeguarding and rejuvenating arable lands in Henan Province, and steer the balanced expansion of rural and urban living spaces.

Keywords: ‘production-living-ecology’ spaces; land space transformation; atlas of geoscience information; scenario simulation; Henan Province

自然资源转型即指在社会经济变化与革新驱动下,某一自然资源类型在不同阶段所对应的显性及隐性转变过程^[1-2]。自然资源转型对象的功能多样性及其与外部环境适应程度,决定了转型方向及空间格局形成过程的差异^[3-4]。自新时期国土空间发展战略提出以来,我国自然资源管理重心已逐渐转至促进国土生产、生活和生态的“三生”空间协调发展^[5-7],而其中关键在于揭示其转型过程中的利用形态变化,并通过调整转型态势来维持国土空间系统的良性发展。在此背景下,亟需深刻揭示区域国土空间转型规律,以促进国土空间综合管理及规划调控。

近年来,相关学者已对自然资源转型开展了大量研究。研究内容方面,多集中于土地利用转型^[8]、耕地利用转型^[9-10]和城乡发展转型等^[3,11]转型时空过程,并涉及转型理论和框架构建^[12]、转型与“绿色”或“生态”融合等^[13-14]研究内容。其中,土地利用转型作为土地可持续发展研究的新途径被提出,已结合我国社会经济特点涌现了丰富研究成果,其转型的特征、规律和驱动机制等研究体系已初步建立,为本文提供了诸多借鉴^[15];研究尺度上,多从县、市、省的3级区划尺度或流域等自然地理单元进行,并采用动态度、转移矩阵等来揭示转型的空间异质性及区域差

异^[16-18]。尽管上述转型研究已臻成熟,但仍可在以下方面进行拓展:一是自然资源转型探讨的核心目的是服务于后续或未来国土空间管理,故其与土地利用格局模拟具有较强的契合性^[19]。其中,由多种地理决策模型集成成的地理模拟与空间优化系统(GeoSOS)改进而来的未来土地利用模拟模型(future land use simulation model, FLUS),具有非线性地理动态模拟特点,能够解决传统土地利用模拟中参数及转换规则难以确定或复杂等问题,并已广泛应用于土地利用情景模拟实践^[20];二是在格局分析上,地学信息图谱论是一种经典的地理时空复合分析方法,能够解决“空间与过程集成研究”的难题^[21-22],而考虑到国土空间类型与土地利用数据的内在关联性,可采用地学信息图谱论来研究国土空间转型问题,以可视化挖掘国土空间转型的关键过程特征。

河南省位于我国中原腹地、黄河中下游,是中国沿黄9省区中极其重要的人口大省和经济强省之一。河南省历经了多年高强度国土利用开发过程,资源环境承载压力极大,二、三产业快速发展,建设用地占用耕地及生态建设矛盾凸显,并逐渐显露天土开发时序不尽合理、空间布局尚不完全科学等问题,制约着国土良性发展^[23-24]。基于此,为把握该省国土空间转

型信息脉络,本文在历史多期土地利用遥感解译数据、自然资源及社会经济等多源数据支持下,实现国土空间分类识别并运用地学信息图谱理论,系统揭示近 30 年来该省国土空间显性转型特点,并运用 FLUS 模型模拟惯性发展情景下的国土空间转型规律,为制定国土空间管理策略提供依据。

1 研究区概况及数据来源

1.1 研究区概况

河南省(31°23′—36°22′N,110°21′—116°39′E)位于中国中东部,呈望北向南、承东启西之势,总面积 16.7 万 km²。河南省属典型的大陆性季风气候区,春季和冬季降雨偏少且易形成旱情,夏季降雨则较为充沛。地势整体西高东低,其省界的北、西和南三面环山,中东部为黄淮海冲积平原,西南部为南阳盆地,其中平原、山地、丘陵面积分别占河南省国土总面积的 55.7%,26.6%,17.7%。优越的气候和地形条件加上庞大的人口基数,使得河南省既成为中国最重要的粮食核心产区,又成为我国经济体量较大的省份之一。而根据 2020 年第七次全国人口普查结果,河南省常住人口已达到 9 936.55 万人,城镇化率为 57.07%,资源环境承载压力大,国土空间发展格局亟需进一步明晰与优化。

1.2 数据来源与预处理

国土“三生”空间分类的基础数据为“中国土地利用现状遥感监测数据集”,其来自于中国科学院资源环境科学数据中心(<http://www.resdc.cn>),数据的准确率及实用性均较高^[25]。该数据集的生产制作以 6—9 月份的陆地卫星遥感影像(Landsat)为基础,在大气校正、几何纠正等预处理基础上,进行标准假彩

色融合以便帮助区分不同土地利用类型,通过人工目视解译并辅助以历史期土地利用分布及统计等数据,结合实地验证,最终提取各期土地利用现状数据;基础地理空间数据来自数字高程模型(DEM,精度 30 m),利用 ArcGIS 10.5 得到地理高程和坡度等信息;情景模拟的影响因子数据主要搜集于中国科学院资源环境科学数据中心、国家基准地理信息中心(<http://www.ngcc.cn/ngcc/>)、国家气象信息中心(<https://data.cma.cn/>),具体包括常年降水量、温度、土壤质地、水系、主干道路、主干河流、主要生态区、城镇中心、NPP、GDP 密度、人口密度、粮食生产潜力、生态系统服务价值等。对获取的上述数据集进行坐标转换、裁剪等预处理,并统一进行重采样处理。

2 研究方法

2.1 国土“三生”空间识别

国土“三生”空间强调从对应功能服务角度来确定国土空间类型,具体的划分过程均以其主导服务功能作为“三生”空间划分依据,其中生产空间提供农业生产及工业品服务,生活空间则主要供居民的基础生活居住、休闲消费,生态空间主要为能够提供基本生态服务及生态产品的区域。

借鉴相关学者关于我国及区域的“三生”空间分类成果^[6-7,25],构建河南省国土“三生”空间分类体系(表 1)。其中,一级类分为生产空间、生活空间和生态空间,二级类则在一级类基础上分为农业生产空间(编码为 11)、工矿生产空间(编码为 12)、城镇生活空间(编码为 21)、农村生活空间(编码为 22)、绿地生态空间(编码为 31)、水域生态空间(编码为 32)和其他生态空间(编码为 33)。

表 1 河南省国土“三生”空间分类体系

Table 1 Table of spatial classification system for ‘production-living-ecological’ space of Henan Province

一级类	二级类及其信息编码	土地利用分布类型
生产空间	农业生产空间(11)	水田、旱地
	工矿生产空间(12)	采矿用地、工业用地、仓储业用地、交通运输用地等
生活空间	城镇生活空间(21)	城镇用地
	农村生活空间(22)	农村居民点
生态空间	绿地生态空间(31)	有林地、灌木林地、疏林地、其他林地、草地等
	水域生态空间(32)	河渠、湖泊、水库坑塘、沼泽地等
	其他生态空间(33)	沙地、盐碱地、裸土地、裸岩石质地、其他未利用地等

2.2 地学信息图谱分析

2.2.1 地学信息图谱构建 地学信息图谱是一种经典的地理时空复合分析方法。该信息图谱由最基本的图谱单元构成,融合了分析地理实体对象的空间分布信息、时序过程信息乃至属性信息,且具有内部

均质性特点,能够极其直观地综合反映地理要素变化规律。本文将其引入国土空间转型特征描述研究,在 ArcGIS 10.5 支持下,将研究初期的国土空间分类编码为千位数、百位数或十位数,而末期的编码设置为百位数、十位数或个位数,进而通过地图代数运算即

可得到包含空间-属性一体化数据的图谱信息,以形象化和动态化地反映国土“三生”空间转型规律。本文的具体计算公式为:

$$M=100A+B$$

(1)

式中: M 为图谱编码信息; A,B 分别为研究初期和末期的国土“三生”空间分类编码。

2.2.2 涨落势图谱分析 依据不同时段的地学信息图谱信息,将河南省国土“三生”空间的转型过程分解为转入和转出两类,其中转入反映了其他国土空间类型流入本国土空间类型的过程,而转出则是本国土空间类型转为其他类型过程。同时,基于上述图谱编码信息 M ,可得到某国土空间类型在转型过程中所对应新增和萎缩的涨落势图谱信息。

2.3 基于 FULS 模型的国土“三生”空间格局模拟

由 Liu 等^[20]提出的未来土地利用模拟模型(FLUS),采用了自下而上的非线性动态地理模拟策略,能够很好地解决传统元胞自动机中转换规则及参数确定复杂等问题。FLUS 模型由神经网络的适宜性概率计算模块和基于自适应惯性机制的元胞自动机模块构成^[26]:(1)神经网络的适宜性概率计算模块。该模块主要用于计算国土形成的适宜性概率,在模块运行过程中需输入统一重采样后的变化驱动因子(即常年降水量、温度、土壤质地、水系、主干道等 13 项因子)以及国土空间用地信息,且允许因子间存在相关性。本文设置神经网络训练采样比例为 2%,模式为随机采样,并以 2005 年为初始训练年实现国土空间用地的神经网络适宜性概率训练(训练隐藏层数量设置为 12);(2)基于自适应惯性机制的元胞自动机模块。该模块以国土空间用地信息及适宜性概率图层为初始输入数据,并需根据自己的预设情景来确定用地类型变化数量的目标(本文采用 Logistic 回归分析得到),然后根据经验确定不同用地类型间的

相互转化难易度(0~1,0 表示禁止转化,1 表示可自由转化,本文中将水域生态空间与城镇生活空间设置为禁止转化),最后将领域大小设置为 5×5 ,模拟迭代目标次数设置为 300,即模型到达迭代目标会提前停止,最终实现惯性发展条件下河南省国土“三生”空间用地格局模拟。

3 结果与分析

3.1 河南省国土“三生”空间转型数量特征分析

经济持续高速增长促使河南省城镇生活空间不断扩张,其面积比例由 1990 年的 0.67% 增至 2020 年的 2.87%,年均增长率达到 8.20%,显著高于我国同期城镇生活空间的扩张速度^[27]。而与此同时,农村生活空间也基本维持面积持续增长态势,面积比例由 1990 年的 8.72% 增至 2020 年的 9.31%,但年均增长率仅为 0.17%,空间扩张平缓。值得注意的是,生活空间主要服务于人类的生活居住与休闲消费,生活空间的面积扩张与萎缩可在一定程度上表征人口城镇化趋势,1990 年,河南省农村生活空间面积约为城镇生活空间 13 倍,但当年人口城镇化率仅为 14.01% (<http://www.stats.gov.cn/tjsj/>),至 2020 年该倍数已降至 3.25,对应人口城镇化率为 55.43%,由此表征出该省生活空间内部发展与人口扩张存在规模脱钩特点,城乡二元化发展显著。绿地生态空间多沿河南省界呈半环形分布,整体空间分布稳定,30 年间其面积比例仅下降 0.68%。其他生态空间则多分布于黄河沿岸、南阳盆地等地,长期高强度耕地垦殖开发,导致 2020 年其面积已不足 1980 年的 1/9。另外,自 21 世纪初以来,随着《河南省湿地保护条例》《河南生态省建设规划纲要》(豫政〔2013〕3 号)等一系列生态保育政策措施推行以来,河南省水域生态空间得以保护,并表现出显著的面积扩张态势(图 1)。

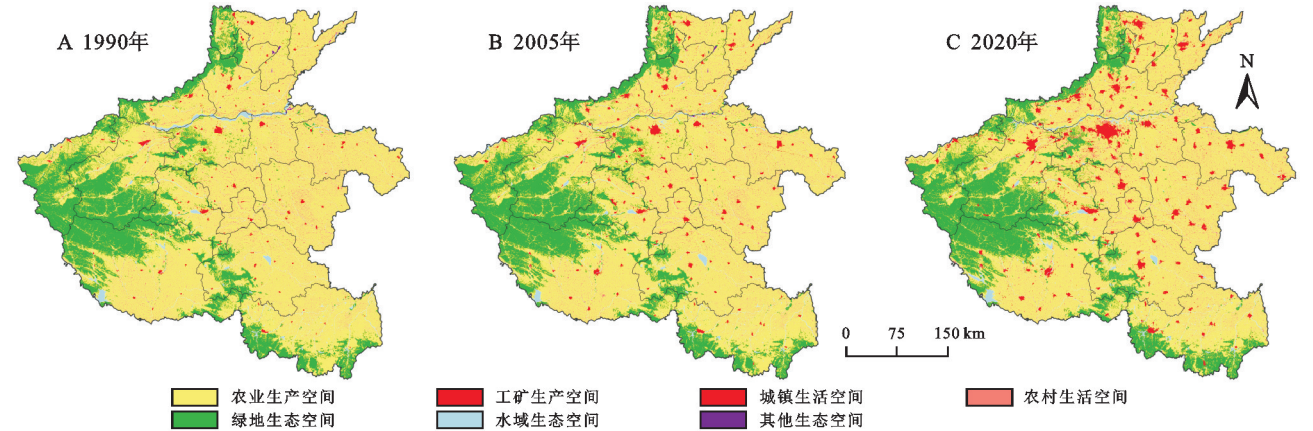


图 1 河南省国土空间类型分布

Fig. 1 Distribution of territorial space in Henan Province

3.2 河南省国土“三生”空间转型图谱分析

3.2.1 不同时段转型图谱单元分析 农业生产空间转型至生活空间为河南省国土“三生”空间转型的最主要图谱类型。1990—2005 年,“农业生产空间→城镇生活空间”(编码:1121)的图谱单元面积达到 857.68 km², 占总图谱单元面积的 23.17%,“农业生产空间→农村生活空间”(编码:1122)面积也达到 383.35 km², 相对面积比例为 10.35%(表 2)。从空间分布来看,上述图谱多依附于城镇建设扩张行为,且在空间上呈明显的斑点团状分布特点(图 2A)。另外,长期耕地垦殖导致了生态空间的转型流向主要为生产空间,其中绿地生态空间和水域生态空间转型至农业生产空间的面积比例分别为 21.15%,20.46%,图谱编码依次是 3111,3211,对应图谱单元主要集中于西部的伏牛山地、西北部的太行山以及中部的沿黄区,属河南省传统生态用地集中区。其余图谱单元则主要表现出生态与生产类型空间的交互转换特点,但面积占比均不足 0.5%。

2005—2020 年,河南省国土空间转型主要表现

出生活空间与生产空间交互频繁转换特点,对应图谱面积占图谱总面积的近 6 成。生产空间流向生活空间的转型图谱单元为“农业生产空间→农村生活空间”(编码:1122),面积达到 4 793.66 km², 占总图谱单元面积的 25.42%。受挂钩政策背景下农村居民点整理项目实施影响,约有 3 781.84 km²的农村生活空间流向农业生产空间,对应的图谱信息编码是 2211, 占总图谱单元面积的 20.05%。21 世纪初以来,河南省城镇化建设发展迅速,形成了较多的建设占用需求,其对应图谱单元为“农业生产空间→城镇生活空间”(编码:2211),占河南省国土空间转型总面积的 11.09%。生产与生态的交互转型也是该时段国土“三生”空间转型的主要规律,对应图谱单元类型分别为“农业生产空间→绿地生态空间”(编码:1131)和“绿地生态空间→农业生产空间”(编码:3111),相对面积比例依次是 9.22%,9.09%。同时,由于河南省境内黄河贯穿而过,农业生产空间与水域生态空间的交互转换也占到了总图谱单元面积的 8.68%(图 2)。

表 2 河南省主要国土空间转型图谱单元面积

Table 2 Ranking table of main territorial space spatial transformation map units in Henan Province

排序	1990—2005 年				2005—2020 年			
	编码	国土空间 变化类型	面积/ km ²	累积变化 比率/%	编码	国土空间 变化类型	面积/ km ²	累积变化 比率/%
1	1121	农业生产→城镇生活	857.68	23.17	1122	农业生产→农村生活	4793.66	25.42
2	3111	绿地生态→农业生产	783.07	44.32	2211	农村生活→农业生产	3781.84	45.47
3	3211	水域生态→农业生产	757.61	64.78	1121	农业生产→城镇生活	2091.91	56.57
4	1122	农业生产→农村生活	383.35	75.14	1131	农业生产→绿地生态	1739.17	65.79
5	1132	农业生产→水域生态	207.11	80.73	3111	绿地生态→农业生产	1714.07	74.88
6	1112	农业生产→工矿生产	198.11	86.08	1112	农业生产→工矿生产	1104.26	80.73
7	2221	农村生活→城镇生活	172.28	90.74	1132	农业生产→水域生态	1066.50	86.39
8	1131	农业生产→绿地生态	91.36	93.20	3211	水域生态→农业生产	569.88	89.41
9	3231	水域生态→绿地生态	75.56	95.24	2221	农村生活→城镇生活	425.60	91.67
10	3311	其他生态→农业生产	47.81	96.54	3122	绿地生态→农村生活	245.56	92.97
11	3112	绿地生态→工矿生产	28.87	97.32	3112	绿地生态→工矿生产	197.84	94.02
12	3233	水域生态→其他生态	21.84	97.91	1211	工矿生产→农业生产	175.56	94.95
13	2211	农村生活→农业生产	20.01	98.45	3132	绿地生态→水域生态	161.42	95.80

3.2.2 不同时段涨势图谱分析 1990—2005 年,农业生产空间新增面积占新增国土总面积的 43.47%, 主要分布于黄河沿岸、平顶山市南部以及驻马店市西部等地,该地区拥有较为丰富的湿地、未利用地等耕地后备资源,为河南省耕地垦殖新增的重要区域。其次为城镇生活空间,新增面积占新增国土总面积的 28.41%,主要分布于郑州市、焦作市、商丘市等主要城市建成区的周边地带。另需指出的是,农村生活空间的新增来源主要是农业生产空间,并直接影响着农村生活空间的涨势图谱信息,农村生活空间的新增区多见于豫东平原地带,但面积仅占新增国土总面积的

10.46%,表征期间内农村经济建设发展较为缓慢特点。新增的生态空间以绿地生态空间和水域生态空间为主,二者分别占国土新增面积的 4.65%,5.98%, 分布均较为零散。河南省境内矿产资源较为丰富,前 15 年共新增 232.99 km²的工矿生产空间,并主要分布于平顶山市、焦作市以及郑州市西南部,为河南省煤炭、有色金属等矿产资源的重要开采地带(图 3A)。

2005—2020 年,河南省新增国土总面积为前一时段的 5.09 倍,其中农业生产空间仍是最主要的国土空间涨势图谱类型,其新增区相对面积比例达到 33.68%,但较之于上一时段下降了近 10%。近 15 年

来,河南省的经济建设处于高速发展时期,与上一时段相比,该时段新增城镇生活空间和农村生活空间面积分别增长了 1.56 倍和 12.35 倍,中部的郑州市、许昌市、新乡市以及西部的洛阳市片区等地为生活空间的主要增长极(图 3B),同时值得注意的是,该时段内农村生活空间处于剧烈扩张态势,但受郑州市以及东部沿海等发达城市的虹吸作用影响,农村户籍人口增长缓慢甚至衰减,亟需推进农村生活空间的集约化利用、引导农村宅基地的有序合理退出,以促进农村人口与农村生活空间的耦合匹配。21 世纪初以来,河南省大力推进生态退耕、生态修复等工作,使得生态空间中绿地生态空间的新增面积达到上一时段的 11.08 倍,水域生态空间也达到上一时段的 5.92 倍,生态建设成绩显著。工矿生产空间则相对于上一时段增长了 5.09 倍。

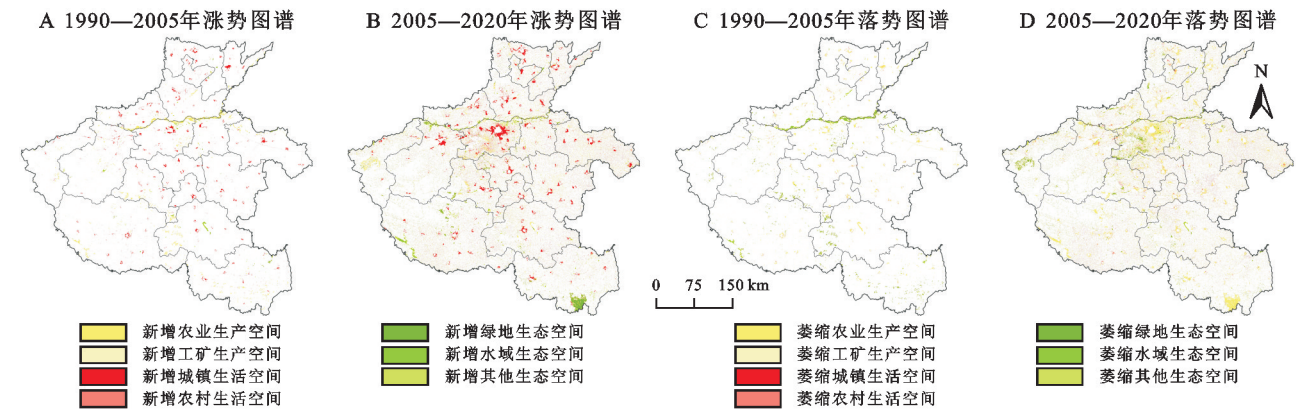


Fig. 3 Atlas of territorial space spatial rise in various time series units of Henan Province

3.2.3 不同时段落势图谱分析 1990—2005 年,近一半的落势图谱为农业生产空间,空间分布广泛。生态空间多为绿地、水域性用地,长期的国土空间开发极易导致其萎缩、退化,15 年间该国土空间类型共萎缩了 1 746.41 km²。绿地生态空间萎缩面积占落势图谱总面积的 22.41%,空间上主要分布于平顶山市西南部、驻马店市西部和信阳市南部的山地丘陵区(图 3C),为主要山地林业集中区,水域生态空间萎缩量则占落势图谱总面积的 23.33%,该类型图谱主要分布于黄河沿岸。由于生活空间拥有地表配套建筑设施且原始自然景观易遭到破坏,使得其难以向其他国土空间类型发生转换,1980—2000 年,仅 0.24 km²的城镇生活空间发生萎缩,且空间分布零碎,而农村生活空间萎缩面积相对较大,该类型图谱占落势图谱总面积的 5.29%。矿山整理及复垦为工矿生产空间萎缩的主要原因,20 年间工矿生产空间萎缩面积为 17.45 km²,其对应图谱主要零散分布于郑州市北部、开封市西北部以及平顶山市西南部。

2005—2020 年,农业生产空间萎缩量占对应落

势图谱总面积的 57.25%,并相对于前一时段面积增长了 5.20 倍。生活空间发展需进一步优化其结构并促进生活区的良性规划引导,该时段内农村生活空间萎缩量相对于上一时段增长了 21.36 倍,主要原因在于近年来河南省大力推进农村撤村并点以及农村居民点整理工程措施,并受居民自主城市化因素影响,使得当地农村生活空间萎缩极其剧烈。城镇生活空间的萎缩量占总萎缩量的 0.54%,空间上主要零星分布于各集镇周边地区。生态用地利用开发转型及生态保育措施推行,使得前后时间段生态空间的落势图谱存在较大差异,其中后一时间段绿地生态空间面积共减少 2 371.24 km²,占总萎缩量的 12.58%(图 3D)。

3.3 河南省国土“三生”空间转型模拟分析

3.3.1 模拟时空尺度确定 设置的模拟基期年为 1990 年,模拟对比目标年为现状年(2020 年),从栅格大小 100 m×100 m 开始,以 100 m 为步长逐步降低模拟精度,进而确定 FLUS 模型在河南省的最优模拟空间尺度(Kappa 系数检验得到)。结果显示(图 4),河南省国土空间格局模拟表现出显著的空间尺度

效应,随着空间模拟精度下降,其 Kappa 系数波动减少,由 100 m 分辨率对应的 0.75 降至 1 000 m 分辨率的 0.42, Kappa 系数极高值出现在 300 m 处,为 0.86。因此,确定最优模拟空间尺度为 300 m;基于最优模拟空间尺度,运用 FLUS 模型对不同时间尺度的预测能力进行分析,模拟基期年设置为 1990 年、2005 年,目标年 2020 年,二者对应预测年份分别为 30,15 a,然后通过对比检验 Kappa 系数确定模拟时间尺度。结果显示,1990 年综合模拟精度仅为 0.75,显著小于 2005 年模拟精度的 0.84,尤其在单一地类模拟上,后者对农业生产空间的模拟准确率达到 0.88,因此最终确定模拟目标年为 2035 年。

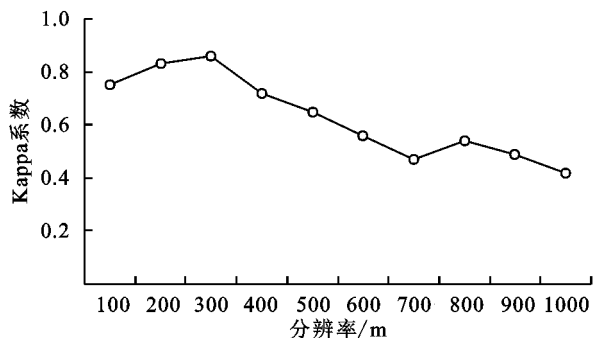


图 4 河南省不同分辨率下模拟的 Kappa 系数

Fig. 4 Kappa value at different resolutions in Henan Province

3.3.2 国土“三生”空间转型模拟结果 惯性发展条件模拟结果显示(图 5),至 2035 年河南省国土空间变化

明显放缓,其对应转型图谱面积不足上一相邻时段(2005—2020 年)的 1/28,且主要表现出农业生产空间、农村生活空间和绿地生态空间交互转型特点。区别于山东、浙江等沿海发达省份,河南省国土空间转型将主要围绕农村生活空间和农业生产空间进行,其对应图谱“农村生活空间→农业生产空间”(编码:2211)以及“农业生产空间→农村生活空间”(编码:1122)依次占总图谱单元面积的 26.46%,24.60%,因此在粮食安全战略前提下,保护耕地、合理引导闲置、废弃宅基地复垦和激活农村经济,应继续成为国土空间规划工作的重中之重。相较于历史时段,涨落势图谱整体萎缩极其严重,其中农业生产空间仍为该时段最主要的国土空间涨势类型,新增面积比例达到 48.41%,且相对于上一时段增加了近 15%。至 2035 年,农村生活空间对应的新增图谱面积比例将达到 27.10%,城镇生活空间仅为 2.94%,而在人口流失、减少的大环境背景下,亟需通过撤村并点、户籍制度改革、新型城镇化发展来干预、引导该进程。落势图谱以农业生产空间为主,萎缩面积占落势图谱总面积的 42.60%,农村生活空间的萎缩面积相对比例也达到了 27.91%,另外值得一提的是,城镇生活空间萎缩面积比例为其新增面积的近两倍,达到 5.66%,在惯性发展情景下,河南省城镇生活空间发展将面临瓶颈,后续应注意合理引导农村、城镇生活空间协调发展。

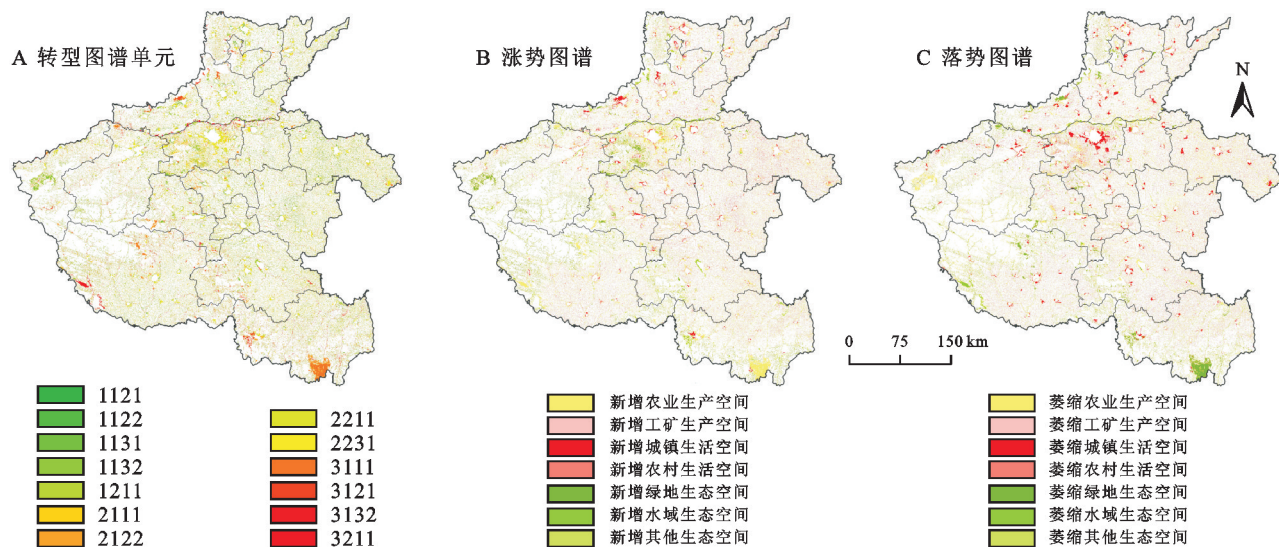


图 5 2020—2035 年河南省国土“三生”空间转型图谱模拟分布信息

Fig. 5 Simulated distribution information of territorial space spatial transformation atlas from 2020 to 2035 in Henan Province

4 讨论与结论

4.1 讨论

国内已有单薇^[27]、路昌^[28]等针对江苏省、山东省等发达省份的国土空间或土地利用转型开展了相关研究,与上述发达省份生产与生活空间“多点开花”规

律不同的是,河南省国土空间转型更明显偏向于空间“极化”发展特点,表征着河南省国土空间在协同开发利用上存在劣势,城乡二元化发展特征显著,而这与当前中部省份的现实状况保持一致;二是针对国土或土地利用转型发展态势研究,相关学者较少从用地格局模拟视角来揭示未来转型规律,以指导国土空间管

理实践。本文通过引入未来土地利用模拟模型(FLUS)对该类研究视角拓展和深化。在模拟情景设置时,本文通过 Logistic 回归分析得到国土空间需求数据,该数据实质表征着在保持当前发展态势不变条件下,未来河南省国土“三生”空间将如何发展,后续研究可继续从更为详细的情景预设角度,来分析国土“三生”空间转型规律,以实现更为针对性的国土空间管理指导与实践;三是具体研究方法方面,本文主要采用类型归并法来对国土“三生”空间进行分类研究,其中具体划分过程均以其主导服务功能作为国土空间划分依据,对非主导性的功能未充分予以考虑,后续应继续深化国土空间类型提取及模拟工作,以服务于新时期的国土空间综合管理及规划。

4.2 结论

(1) 近30年间,河南省国土空间类型变化显著。农业生产空间面积缓慢下降而工矿生产空间快速扩张,需大力推进工矿用地集约节约利用、促进矿山用地生态恢复。生活空间持续扩张且表现出农村生活空间面积增长速度显著低于城镇生活空间特点。

(2) 前、后时段国土空间转型规律存在显著差异。前一时段,转型至城镇生活空间和农村生活空间的农业生产空间相对面积比例为23.17%,10.35%,后一时段生活空间与生产空间则表现出频繁交互转换特点。

(3) 前一时段的涨势图谱以农业生产空间和城镇生活空间为主,后一时段新增的国土总面积为前一时段的5.09倍。对于落势图谱而言,后一时段萎缩农业生产空间面积相对于前一时段增长了5.20倍,生活空间增长了21.36倍,远大于城镇生活空间萎缩量,河南省城乡二元化发展态势显著。

(4) FLUS模型能够较好地实现河南省国土“三生”空间转型模拟研究。国土惯性发展情景下,对比不同空间分辨率及时间尺度下模拟精度,确定了最优模拟空间分辨率为300m,最优模拟时间点为2035年。转型模拟结果显示,至2035年,河南省国土空间变化明显放缓,并将主要围绕农村生活空间和农业生产空间转型进行。后续河南省国土空间规划与管理应重点围绕耕地保护与恢复以及合理引导农村、城镇生活空间协调发展进行。

参考文献(References):

- [1] 秦彦杰,刘欣,赵艳霞,等.1949年以来河北省耕地利用转型特征及过程[J].农业工程学报,2022,38(12):260-269.
Qin Y J, Liu X, Zhao Y X, et al. Characteristics and process of the cultivated land use transformation in Hebei Province since 1949[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2022,38(12):260-269.
- [2] 龙花楼.论土地利用转型与土地资源管理[J].地理研究,2015,34(9):1607-1618.
Long H L. Land use transition and land management [J]. Geographical Research, 2015,34(9):1607-1618.
- [3] 龙花楼,李婷婷.中国耕地和农村宅基地利用转型耦合分析[J].地理学报,2012,67(2):201-210.
Long H L, Li T T. Analysis of the coupling of farmland and rural housing land transition in China [J]. Acta Geographica Sinica, 2012,67(2):201-210.
- [4] 张赛茵,雷婷,孙洁,等.资源衰退型城市旅游转型发展的影响因素及组态路径:基于模糊集定性比较分析[J].自然资源学报,2023,38(3):601-617.
Zhang S Y, Lei T, Sun J, et al. Influencing factors and multiple paths of tourism development in resource-declining cities: A fuzzy-set qualitative comparative analysis approach [J]. Journal of Natural Resources, 2023, 38 (3):601-617.
- [5] 黄金川,林浩曦,漆潇潇.面向国土空间优化的三生空间研究进展[J].地理科学进展,2017,36(3):378-391.
Huang J C, Lin H X, Qi X X. A literature review on optimization of spatial development pattern based on ecological-production-living space [J]. Progress in Geography, 2017,36(3):378-391.
- [6] 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.
- [7] 张梦圆,荣丽华,李伊彤,等.基于“三生”空间的农牧交错区城市土地利用转型及生态环境效应分析:以包头市为例[J].干旱区地理,2023,46(6):958-967.
Zhang M Y, Rong L H, Li Y T, et al. Land use function transformation in the agro-pastoral ecotone based on ecological-production-living spaces and associated eco-environment effects: A case of Baotou City [J]. Arid Land Geography, 2023,46(6):958-967.
- [8] 龙花楼.土地利用转型的解释[J].中国土地科学,2022,36(4):1-7.
Long H L. Explanation of land use transitions [J]. China Land Science, 2022,36(4):1-7.
- [9] 李全峰,胡守庚,瞿诗进.1990—2015年长江中游地区耕地利用转型时空特征[J].地理研究,2017,36(8):1489-1502.
Li Q F, Hu S G, Qu S J. Spatiotemporal characteristics of cultivated land use transition in the Middle Yangtze

- River from 1990 to 2015[J]. *Geographical Research*, 2017,36(8):1489-1502.
- [10] 宋小青,李心怡.区域耕地利用功能转型的理论解释与实证[J].*地理学报*,2019,74(5):992-1010.
Song X Q, Li X Y. Theoretical explanation and case study of regional cultivated land use function transition[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2019,74(5):992-1010.
- [11] 瞿诗进,胡守庚,童陆亿,等.长江中游经济带城镇建设用地转型的时空特征[J].*资源科学*,2017,39(2):240-251.
Qu S J, Hu S G, Tong L Y, et al. Spatiotemporal patterns of urban land use transition in the middle Yangtze River Economic Belt[J]. *Resources Science*, 2017,39(2):240-251.
- [12] 胡守庚,童陆亿,龙花楼.论土地利用转型潜力及其评价的理论框架[J].*地理研究*,2019,38(6):1367-1377.
Hu S G, Tong L Y, Long H L. Land use transition potential and its assessment framework[J]. *Geographical Research*, 2019,38(6):1367-1377.
- [13] 张佰林,高江波,高阳,等.中国山区农村土地利用转型解析[J].*地理学报*,2018,73(3):503-517.
Zhang B L, Gao J B, Gao Y, et al. Land use transition of mountainous rural areas in China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2018,73(3):503-517.
- [14] 黄晶,薛东前,董朝阳,等.干旱绿洲农业区土地利用转型生态环境效应及分异机制:基于三生空间主导功能判别视角[J].*地理科学进展*,2022,41(11):2044-2060.
Huang J, Xue D Q, Dong C Y, et al. Eco-environmental effects and spatial differentiation mechanism of land use transition in agricultural areas of arid oasis: A perspective based on the dominant function of production-living-ecological spaces[J]. *Progress in Geography*, 2022,41(11):2044-2060.
- [15] 龙花楼.论土地利用转型与乡村转型发展[J].*地理科学进展*,2012,31(2):131-138.
Long H L. Land use transition and rural transformation development[J]. *Progress in Geography*, 2012,31(2):131-138.
- [16] 郝晓敬,张红,徐小明,等.晋北地区土地利用覆被格局的演变与模拟[J].*生态学报*,2020,40(1):257-265.
Hao X J, Zhang H, Xu X M, et al. Evolution and simulation of land use/land cover pattern in northern Shanxi Province[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2020,40(1):257-265.
- [17] 苑韶峰,朱从谋,李胜男.基于格网尺度的杭州城西产业集聚区土地利用格局变化及热点分析[J].*上海国土资源*,2018,39(1):44-49.
Yuan S F, Zhu C M, Li S N. The patterns and hotspots of land-use change in Hangzhou Chengxi Sci-tech Innovation Zone according to grid scale[J]. *Shanghai Land & Resources*, 2018,39(1):44-49.
- [18] 李冬杰,杨利,余俞寒,等.都市生态旅游区土地利用碎片化对生态系统服务价值的影响:以武汉东湖生态旅游区为例[J].*生态学报*,2019,39(13):4782-4792.
Li D J, Yang L, Yu Y H, et al. Impact of land use fragmentation on ecosystem service values in an urban ecotourism area: A case study of East Lake ecotourism area, Wuhan[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2019,39(13):4782-4792.
- [19] 邓楚雄,彭勇,李科,等.基于生产-生态-生活空间多情景模拟下的流域土地利用转型及生态环境效应[J].*生态学杂志*,2021,40(8):2506-2516.
Deng C X, Peng Y, Li K, et al. Simulation of watershed land use transition and eco-environmental effects under multiple scenarios based on production-ecological-living space[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2021,40(8):2506-2516.
- [20] Liu X P, Liang X, Li X, et al. A future land use simulation model (FLUS) for simulating multiple land use scenarios by coupling human and natural effects[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2017,168:94-116.
- [21] 张文慧,吕晓,史洋洋,等.黄河流域土地利用转型图谱特征[J].*中国土地科学*,2020,34(8):80-88.
Zhang W H, Lyu X, Shi Y Y, et al. Graphic characteristics of land use transition in the Yellow River Basin[J]. *China Land Science*, 2020,34(8):80-88.
- [22] 杜国明,张瑞,于凤荣.基于地学信息图谱的东北黑土区种植模式分析[J].*应用生态学报*,2022,33(3):694-702.
Du G M, Zhang R, Yu F R. Analysis of cropping pattern in black soil region of Northeast China based on geo-information Tupu[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2022,33(3):694-702.
- [23] 肖东洋,牛海鹏,闫弘轩,等.1990—2018年黄河流域(河南段)土地利用格局时空演变[J].*农业工程学报*,2020,36(15):271-281,326.
Xiao D Y, Niu H P, Yan H X, et al. Spatiotemporal evolution of land use pattern in the Yellow River Basin (Henan section) from 1990 to 2018[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2020,36(15):271-281,326.
- [24] 陈帅,侯孟阳,李园园,等.黄河流域水资源、能源与粮食生产的时空匹配及阻尼效应[J].*农业工程学报*,2022,38(18):246-254.
Chen S, Hou M Y, Li Y Y, et al. Spatial-temporal matching patterns for grain production using water and energy resources and damping effect in the Yellow River Basin[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2022,38(18):246-254.

- tion strategy of key areas for territorial space ecological restoration in Shanghai, China based on ecological security pattern[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2022, 33(12): 3369-3378.
- [17] Zhou D, Song W. Identifying ecological corridors and networks in mountainous areas[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2021, 18(9): 4797.
- [18] 刘纪远, 张增祥, 徐新良, 等. 21 世纪初中国土地利用变化的空间格局与驱动力分析[J]. 地理学报, 2009, 64(12): 1411-1420.
- Liu J Y, Zhang Z X, Xu X L, et al. Spatial patterns and driving forces of land use change in China in the early 21st century[J]. Acta Geographica Sinica, 2009, 64(12): 1411-1420.
- [19] 韩会然, 杨成凤, 宋金平. 北京市土地利用变化特征及驱动机制[J]. 经济地理, 2015, 35(5): 148-154, 197.
- Han H R, Yang C F, Song J P. The spatial-temporal characteristic of land use change in Beijing and its driving mechanism [J]. Economic Geography, 2015, 35(5): 148-154, 197.
- [20] 彭建, 赵会娟, 刘焱序, 等. 区域生态安全格局构建研究进展与展望[J]. 地理研究, 2017, 36(3): 407-419.
- Peng J, Zhao H J, Liu Y X, et al. Research progress and prospect on regional ecological security pattern construction[J]. Geographical Research, 2017, 36(3): 407-419.
- [21] 王思易, 欧名豪. 基于景观安全格局的建设用地管制分区[J]. 生态学报, 2013, 33(14): 4425-4435.
- Wang S Y, Ou M H. Zoning for regulating of construction land based on landscape security pattern[J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(14): 4425-4435.
- [22] 杨清可, 王磊, 李永乐, 等. 基于景观生态安全格局构建的城镇空间扩展模式研究: 以江苏沿海地区为例[J]. 地理科学, 2021, 41(5): 737-746.
- Yang Q K, Wang L, Li Y L, et al. Urban spatial expansion mode based on the construction of landscape ecological security pattern: A case of the coastal area of Jiangsu[J]. Scientia Geographica Sinica, 2021, 41(5): 737-746.
- [23] 王旭, 马博文, 李丹, 等. 基于 FLUS 模型的湖北省生态空间多情景模拟预测[J]. 自然资源学报, 2020, 35(1): 230-242.
- Wang X, Ma B W, Li D, et al. Multi-scenario simulation and prediction of ecological space in Hubei Province based on FLUS model [J]. Journal of Natural Resources, 2020, 35(1): 230-242.
- [24] Liu X P, Liang X, Li X, et al. A future land use simulation model (FLUS) for simulating multiple land use scenarios by coupling human and natural effects[J]. Landscape and Urban Planning, 2017, 168: 94-116.
- [25] 王保盛, 廖江福, 祝薇, 等. 基于历史情景的 FLUS 模型邻域权重设置: 以闽三角城市群 2030 年土地利用模拟为例[J]. 生态学报, 2019, 39(12): 4284-4298.
- Wang B S, Liao J F, Zhu W, et al. The weight of neighborhood setting of the FLUS model based on a historical scenario: A case study of land use simulation of urban agglomeration of the Golden Triangle of Southern Fujian in 2030 [J]. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(12): 4284-4298.

(上接第 382 页)

- [25] 周浩, 金平, 夏卫生. 省级国土空间“三生”功能评价及其分区研究: 以河南省为例[J]. 中国土地科学, 2020, 34(8): 10-17.
- Zhou H, Jin P, Xia W S. Functional zoning of territorial space in provincial level based on the production-living-ecological functions: A case of Henan Province [J]. China Land Science, 2020, 34(8): 10-17.
- [26] 周浩, 雷国平, 杨雪昕, 等. RCPs 气候情景下挠力河流域耕地水土资源平衡效应模拟[J]. 应用生态学报, 2018, 29(4): 1302-1312.
- Zhou H, Lei G P, Yang X X, et al. Simulation for balanced effect of soil and water resources on cultivated land in Naoli River Basin, Northeast China under the RCPs climate scene [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2018, 29(4): 1302-1312.
- [27] 单薇, 金晓斌, 冉娜, 等. 江苏省土地利用“生产-生活-生态”功能变化与耦合特征分析[J]. 长江流域资源与环境, 2019, 28(7): 1541-1551.
- Shan W, Jin X B, Ran N, et al. “production-living-ecological” function evaluation and coupling coordination analysis of land use in Jiangsu Province [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2019, 28(7): 1541-1551.
- [28] 路昌, 周浩, 张凤, 等. 基于地学信息图谱的山东省国土空间转型分析[J]. 农业机械学报, 2021, 52(7): 222-230.
- Lu C, Zhou H, Zhang F, et al. Land spatial transformation analysis in Shandong Province based on geo information map [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2021, 52(7): 222-230.