

# 河南省巩义市土地利用演化及其生态系统服务价值响应

贾琦

(郑州轻工业大学 环境设计系, 河南 郑州 450002)

**摘要:** [目的] 从格网尺度探讨河南省巩义市 1990—2019 年区域土地利用演化及其生态系统服务价值 (ESV) 响应特征, 为同类地区的快速城镇化地区生态系统保护和国土空间规划提供决策依据。[方法] 以河南省巩义市 1990—2019 年 4 期土地利用解译数据为基础, 在格网尺度下, 基于修正后的生态系统服务价值当量, 估算巩义市生态系统服务价值, 并深入探讨其空间自相关特征。[结果] ① 研究期间, 巩义市建设用地增幅最高, 与此相反, 水域和灌木林则出现大幅减少, 两者降幅分别为 -45.17% 和 -10.09%。用地类型转移方面, 水域和耕地转出面积最多, 主要转出类型分别为耕地和建设用地。② 生态系统服务价值整体呈现出波动式下跌的趋势, 近 30 a 共减少了 34.851 亿元。水域、乔木林和耕地是巩义市 ESV 的主要组成部分。从变化特征来看, 水域 ESV 跌幅明显, 共减少了 35.549 亿元。以水文调节和气候调节为主的调节服务在区域 ESV 构成中占主导地位, 同时其近 30 a 来的损失率也处于高位。③ 空间探索性分析发现, ESV 近 30 a 出现了大幅下降, 区域城镇化进程对生态系统影响的负面效应显著, 北部以水域、耕地和建设用地为主的 ESV 高值区和低值区变化较明显, 南部以林地和高覆盖度草地为主的生态资源集中区则变化相对稳定。1990 年 ESV 较高区域集中在黄河、伊洛河沿线及南部伏羲山等地, 而 ESV 较低区域则主要以巩义市区及东西地形较为平坦区域一带; 2000 年以后, 高值片区快速减少且多集中在黄河沿线; 2000—2010 年, 主城区低值 ESV 区域受快速城镇扩张影响逐步蔓延, 在城区及巩义—芝田镇—回郭镇、巩义—竹林镇—米河镇等西向和东向两条带状片区已形成 ESV 低值集聚区。[结论] 巩义市建设用地扩张加剧, 由此引发的区域生态系统持续下降, 且空间分布与人类社会发展紧密相关。

**关键词:** 土地利用演化; 生态系统服务价值; 空间自相关; 格网; 河南省巩义市

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-288X(2020)06-0249-10

**中图分类号:** TU984.115

**文献参数:** 贾琦. 河南省巩义市土地利用演化及其生态系统服务价值响应[J]. 水土保持通报, 2020, 40(6): 249-258. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2020.06.036; Jia Qi. Evolution of land use and its response of ecosystem service value in Gongyi City of He'nan Province [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2020, 40(6): 249-258.

## Evolution of Land Use and its Response of Ecosystem Service Value in Gongyi City of He'nan Province

Jia Qi

(Department of Environmental Design, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou, He'nan 450002, China)

**Abstract:** [Objective] Based on the scale of network unit, the regional land use evolution and its ecosystem service value response characteristics from 1990 to 2019 were studied in order to provide decision-making basis for ecosystem protection and land spatial planning in rapid urbanization area represented by Gongyi City. [Methods] Based on the interpretation data of land use from 1990 to 2019 and the modified ESV equivalent at the grid scale, the ecosystem service value was estimated at Gongyi City, He'nan Province, and its spatial auto-correlation characteristics were discussed. [Results] ① During the study period, the growth rate of construction land in Gongyi City was the highest, on the contrary, the water area and shrubbery decreased significantly, with a decline of -45.17% and -10.09% respectively. In terms of land type transfer, the area of water and cultivated land was the most, and the main transfer out types were cultivated land and construction land.

收稿日期: 2020-07-07

修回日期: 2020-08-14

资助项目: 国家自然科学基金项目“基于多源数据与人工智能的大都市区‘三生’空间演化仿真及分类管控研究”(52008380); 河南省哲学社会科学规划课题(2020CJJ102); 河南省自然科学基金项目(202300410499); 河南省高层次人才国际化培养资助项目(豫科[2020]145号)

第一作者: 贾琦(1985—), 男(汉族), 河南省驻马店市人, 博士, 讲师, 主要从事城乡规划与设计方面的研究。Email: jiaqitju@sina.com。

② The value of ecosystem services showed a fluctuating downward trend, with a total decrease of 3.485 billion yuan in the past 30 years. Water area, arbor forest and cultivated land were the main components of ESV in Gongyi City. From the perspective of change characteristics, ESV in water area decreased significantly, with a total decrease of 3 554.9 million yuan. The regulation services dominated by hydrological regulation and climate regulation played a leading role in the composition of regional ESV, and its loss rate in the past 30 years was at a high level. ③ Spatial exploratory analysis showed that ESV had declined significantly in recent 30 years, and the negative effects of regional urbanization process on ecosystem were significant. The changes of high and low value areas of ESV in the north were mainly water area, cultivated land and construction land, while those in the south were mainly forestland and high coverage grassland, which were relatively stable. In 1990, the higher ESV areas were concentrated along the Yellow River, Yiluo River and Fuxi Mountain in the south, while the areas with lower ESV were mainly Gongyi City and the areas with relatively flat terrains in the east and the west. After 2000, the areas with higher ESV were rapidly reduced and mostly concentrated along the Yellow River. During 2000—2010, the low value ESV area in the main urban area gradually spread under the influence of rapid urban expansion. The low value concentration area of ESV had been formed in the urban area and the west and east oriented two belt areas of Gongyi City-Zhitian Town-Huiguo Town and Gongyi City-Zhulin Town-Mihe Town. [Conclusion] The expansion of construction land in Gongyi City is intensified, which leads to the continuous decline of regional ecosystem, and the spatial distribution is closely related to the development of human society and economy.

**Keywords:** land use evolution; ecosystem service value; spatial autocorrelation; grid; Gongyi City of He'nan Province

生态系统服务是指人类在生产生活过程中,通过生态系统代谢过程和功能服务进而直接或者间接的方式得到所需的产品和相关服务等,以便全方位满足人类生存和可持续发展的需求<sup>[1]</sup>。早在 2005 年联合国发布的《千年生态系统评估综合报告》中便已明确指出<sup>[2]</sup>,半个世纪以来,由于人口急剧增长,人类过度开发和利用地球资源,从而导致生态功能中有 60% 在退化和被人类以不可持续的方式利用,并且退化程度在未来 50 a 内将进一步加剧。

土地利用演化作为人类各种活动影响区域生态系统的主要方式之一,在很大程度上作用于生态系统的格局分布与变化强度,将直接影响生态系统服务价值(value of ecosystem service, ESV)的空间分布<sup>[3]</sup>。以人类活动作用于土地利用变化过程为视角评估生态系统服务价值响应特征俨然已成为全球景观生态学领域研究的热点方向之一<sup>[1]</sup>。当前关于土地利用变化及其生态系统服务价值响应研究相关成果已较为丰富,诸如宁佳等<sup>[4]</sup>基于降水贮存量法、通用土壤流失方程和修正土壤风蚀方程等方法探讨黄土高原土地利用和生态系统服务时空变化特征;Geange 等<sup>[5]</sup>基于生态系统服务混合矩阵方法探讨新西兰海洋生态功能演化过程及其影响范围;王大菊等<sup>[6]</sup>采用替代花费法、市场价值法和水量平衡法对三峡库区蓄水前后多时期的土地利用变化和生态系统服务价值进行量化评估。但是同类研究多探讨两者的演化过程和分布规律,尚未深入揭示各土地利用类型对生态

系统的影响机制。又如王磊等<sup>[7]</sup>、赵丽等<sup>[8]</sup>、Kalfas 等<sup>[9]</sup>、邓伟等<sup>[10]</sup>通过探究土地利用与生态系统服务价值演化过程,揭示其驱动机理和影响强度,但是从相关研究结论来看,多数学者侧重从土地利用变化视角入手,涉及空间相互作用视角的驱动因子考虑依旧不足。土地利用变化受区域自然条件、社会经济发展、规划政策等多种因素影响,在空间上具有很强的差异性和分布规律<sup>[11-12]</sup>。因此,不同空间分布的土地利用类型及其变化对区域生态系统影响均不相同。目前已有相关学者开始关注这一研究方向,如 Tanner 等<sup>[13]</sup>、李子君等<sup>[14]</sup>、朱增云等<sup>[15]</sup>采用生态系统服务价值评估法、空间自相关分析和 Getis-Ord 热点区分析等方法探讨了土地利用演化及其生态系统响应机制,从而能够较好地空间层面有效揭示两者的影响机制。但在网格尺度下,空间演化过程、分异特征及其作用机理等方面的研究仍有待进一步挖掘。

巩义市作为河南省郑州都市区副中心城市,地形条件较为复杂,区域内平原、山地、丘陵占比分别为 1:4:5,在郑州国家中心城市建设中承载着极重要的生态功能。自 20 世纪 90 年代以来的快速城镇化进程扩张影响下,巩义市土地利用变化程度较高,进而影响全域的生态系统价值变化,生态功能不断退化<sup>[16]</sup>。因此,研究区域土地利用变化及其生态系统价值的时空响应机制对于以巩义市为代表的快速城镇化地区国土资源合理化配置和生态环境保护具有极其重要的指导意义。本研究在基于巩义市 1990—2019 年共 4 期的土地利用演化及其生态系统服务价

值时空分布特征分析的基础之上,采用转移矩阵法、空间自相关分析等方法,从格网尺度下分析区域土地利用演化过程对生态系统价值的影响机制,以期为以巩义市为代表的快速城镇化地区生态系统保护和国土空间规划提出切实有效的决策依据。

## 1 研究区概况

巩义市位于河南省西部,在郑州市和洛阳市交界地带,市域总面积为 1 043 km<sup>2</sup>。地势呈现出东南高西北低的特点。东南部主要以高山区为主,中部则为浅山丘陵,北部为邝岭。气候属季风暖温带气候,年均气温 11.5~22.3 ℃,年均降水量 394.5 mm 左右,常年降水量偏少,且时空分布差异明显,富水区分布在沿黄河、伊洛河附近,而东南部山区为贫水区。全市土壤以潮土、褐土、棕壤土为主,在老庙山及周边封山育林等低山丘陵区植被率高达 50%~60%,占全市植物种类分布的 80%。土地利用方面,农业用地占比较高(62.72%),其次为建设用地,占比 20.52%,其他土地中,水域和自然保留地面积也占有一定比例,分别为 3.94%和 12.82%。截至 2019 年,巩义市辖 5 个街道,15 个镇,全市人口 83.83 万人,实现地区生产总值 801.2 亿元。巩义市凭借其重要的生态地资源优势和经济发展实力,经过多年的城镇化建设,2017 年以来长期入选全国工业百强县(市)、综合竞争力全国百强县(市)和全国制造业百强县(市)等称号,但是在取得上述发展成绩的同时,巩义市生态环境问题日益加剧。

## 2 研究数据与方法

### 2.1 数据来源及预处理

选取 1990,2000,2010 和 2019 年 4 期的巩义市域 6—9 月的 Landsat TM,ETM<sup>+</sup>,OLI 遥感卫星影像数据,数据均来自于美国地质勘探局网站(https://glovis.usgs.gov/)。随后基于 ENVI5.0 软件平台下,分别对各时段的影像数据进行融合、校正、裁切等数据的预处理工作。在进行土地利用分类时采用最大似然法监督分类与 google earth 历史影像相结合的方式,对 4 个年份研究区进行土地利用分类。分类方法上结合《土地利用现状分类(GB/T21010-2017)》和谢高地等<sup>[17]</sup>构建的单位面积生态系统服务价值分类体系,同时结合巩义市土地资源分布现状,将研究区土地利用分为耕地、乔木林、灌木林、高覆盖度草地、低覆盖度草地、水域和建设用地等 7 种类型(图 1)。随后采用 ENVI 5.0 软件中的精度评价模块,对随机采样获取的 250 个样本点,结合 4 个时段土地利用解译数据进行评价,进而得出各期分类结果

的精度分别为 87.13%,92.75%,90.37%和 89.02%,可较好地满足研究需要。此外,研究涉及数据中的 DEM 高程数据来源于地理空间数据云平台(http://www.gscloud.cn/)。

### 2.2 研究方法

2.2.1 土地利用转移分析 学界关于土地利用类型及面积转移分析方法主要以土地利用转移矩阵测度法为主,它多用来表征特定时段内研究区域在研究期初至研究期末各土地利用类型之间的面积及其比例转移情况,可有效揭示区域土地利用演化规律,计算方法如公式(1)所示<sup>[18]</sup>:

$$S_{ij} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & \cdots & S_{1n} \\ S_{21} & S_{22} & \cdots & S_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ S_{n1} & \cdots & \cdots & S_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中: $S$ 为各土地利用类型的总面积; $n$ 为区域土地利用类型的数量; $i,j$ 分别表示研究时段内期初和期末的各土地利用类型。

2.2.2 基于格网尺度的数据处理方法 GIS 格网分析法是指基于格网面状单元类型,将其作为区域单元指标因子的数据评价分析单元,进而揭示区域空间内部分异特征的方法<sup>[19]</sup>。在本研究中,基于格网单元对巩义县域的 ESV 空间分布及演化特征分析可在空间层面进一步细化研究尺度,从而使得其生态系统分析和优化变得更易操作和精细化管理。由于县域面积较大,研究基于 ArcGIS 10.5 软件,运用 Create Fishnet 工具创建渔网样本,为提高 ESV 时空分异精度,经试验得到最优格网单元尺度为 300 m×300 m,并最终得到覆盖县域范围单元数量共计 12 019 个(边界处格网面积稍有差异)。分别统计各格网内生态系统服务价值,并将 ESV 值赋值至格网面矢量文件中,从而完成空间数据的重构,进而得到基于格网尺度下巩义市 ESV 分布及其自相关格局。格网化计算方法如公式(2)所示<sup>[19]</sup>:

$$H = (1/2) \times \min(A_i)^{1/2} \quad (2)$$

式中: $H$ 为单元格网的边长; $A_i$ 为格网单元内最小图斑的面积。

2.2.3 生态系统服务价值评估 研究基于 Costanza 等<sup>[17]</sup>对不同生物群区的货币化评估方法<sup>[20]</sup>以及谢高地等学者所建立的基于功能单元的单位面积生态系统服务价值评价表,结合巩义市土地利用现状实际(因分类后未利用地面积较少且调研后发现多以农户季节性种植菜地为主,故将其纳入耕地类型),以旱地—耕地、阔叶林—乔木林、灌草丛—灌木林、草地(平均值)—高覆盖度草地、草地(平均值的 0.7 倍)—低覆盖度草地、水系—水域及城市—建设用地等将各生物

群区与研究区生态类型相对应,由于本文不考虑人工生态系统的调节功能(相比县域整体的生态系统作用可忽略不计),因此将建设用地的生态系统服务价值默认为0。由于全国各省市自有生态系统差异较大,为避免直接使用谢高地等学者建立的单位面积生态系统服务价值当量因子法<sup>[20]</sup>产生的误差,研究进一步参考了谢高地等<sup>[21]</sup>因地制宜修正后的各省份农田生态系统生物量权重因子系数。笔者依据区域修正系数(河

南省为1.39)和相关文献中基于伏牛山等<sup>[22]</sup>同类型文献研究成果选定的当量因子对巩义市生态服务价值当量进行修正(表1)。测算方法如公式(3)所示<sup>[21]</sup>:

$$ESV = \sum_{i=1}^n (P_i \cdot S_i) \quad (3)$$

式中:ESV为生态系统服务价值;  $P_i$ 为当量因子系数;  $S_i$ 为第*i*种土地利用类型的面积;  $n$ 为县域所有土地利用类型的数量。

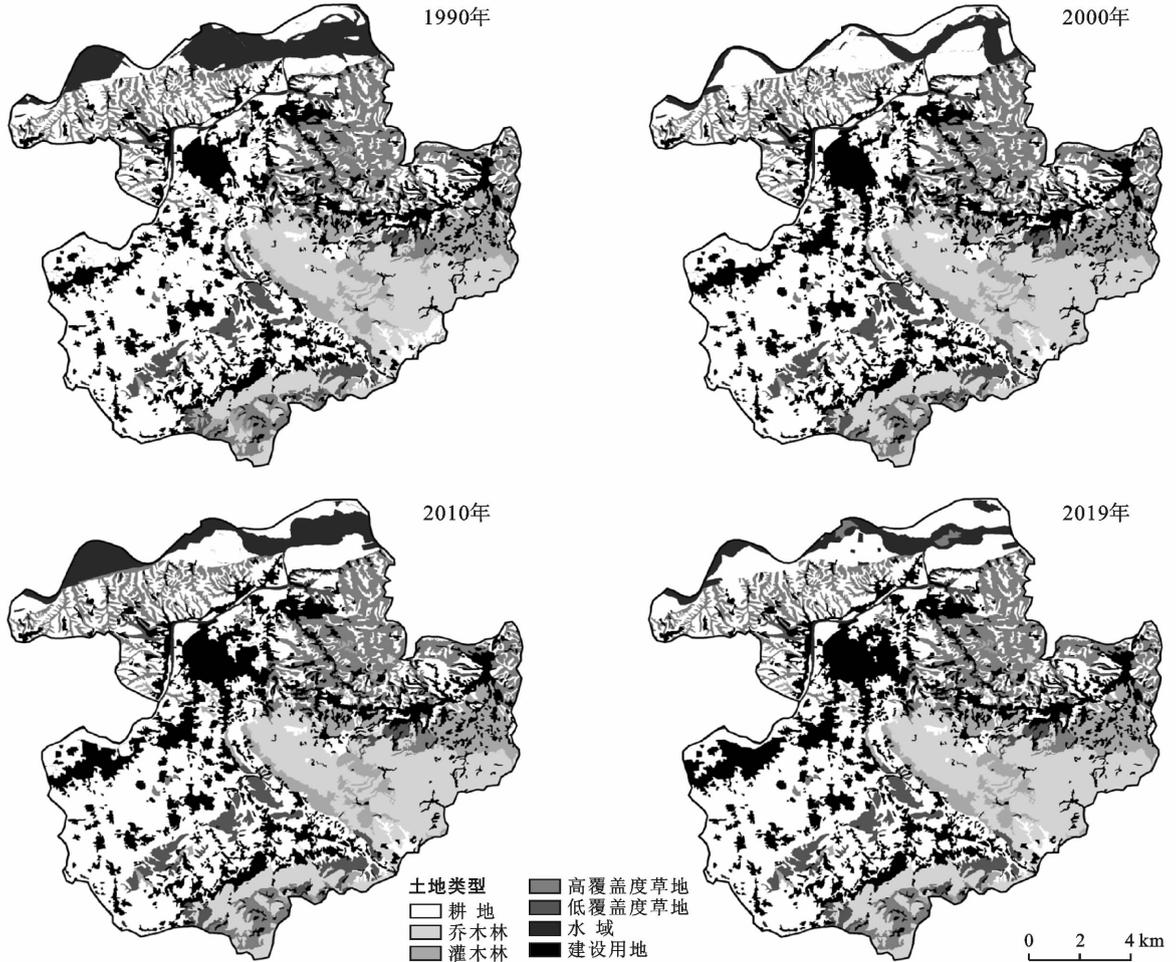


图1 巩义市1990—2019年土地利用类型分布

表1 巩义市单位面积生态服务价值当量权重因子

生态服务功能		耕地	乔木林	灌木林	高覆盖度草地	低覆盖度草地	水域	建设用地
供给服务	食物生产	1.18	0.29	0.19	0.10	0.30	0.80	—
	原料生产	0.56	0.66	0.43	0.14	0.45	0.23	—
	水资源供给	0.03	0.34	0.22	0.08	0.25	8.29	—
调节服务	气体调节	0.93	2.17	1.41	0.51	1.56	0.77	—
	气候调节	0.50	6.50	4.23	1.34	4.12	2.29	—
	净化环境	0.14	1.93	1.28	0.44	1.36	5.55	—
支持服务	水文调节	0.38	4.74	3.35	0.98	3.02	102.24	—
	保持水土	1.43	2.65	1.72	0.62	1.90	0.93	—
	养分循环	0.17	0.20	0.13	0.05	0.15	0.07	—
文化服务	生物多样性	0.18	2.41	1.57	0.56	1.73	2.55	—
	美学景观	0.08	1.06	0.69	0.25	0.76	1.89	—

2.2.4 空间探索性分析 空间探索性分析主要以空间全局自相关和局部自相关分析为主,主要通过某种现象的空间分布特征或规律进行可视化分析,进而探索空间内部相关指标属性的相似性或者差异性<sup>[23]</sup>。上述分析主要结合 ArcGIS 和 GeoDa 空间探索性分析工具来完成。

(1) 全局空间自相关。全局空间自相关以 Global Moran's  $I$  指数表示,可有效揭示巩义市 ESV 空间相关性的总体趋势。指数变化范围为  $[-1, 1]$ ,若 Moran's  $I > 0$ ,则表示空间呈正相关,越接近 1 表示相关性越显著,相似特征明显;相反,若 Moran's  $I < 0$ ,则表示空间呈负相关,且越接近 -1,则表示差异越大,分布越分散;若 Moran's  $I = 0$ ,则表示全域空间分布特征没有相关性,呈随机性分布。Global Moran's  $I$  计算方法如公式(4)所示<sup>[23]</sup>:

$$I = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij}} \times \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (4)$$

式中: $x_i$  和  $x_j$  分别为格网中第  $i$  和  $j$  单元的 ESV 值; $n$  为全域格网单元的总数; $W_{ij}$  为空间权重的矩阵; $\bar{x}$  为 ESV 的平均值。

(2) 局部空间自相关。局部空间自相关以 Moran's  $I_i$  指数表示,可有效揭示巩义市 ESV 空间相关性的局部分布特征。如果 Moran's  $I_i$  指数  $> 0$ ,则表示局部空间单元内部的 ESV 值存在高一高或者低—低局部聚集

的特征;如果 Moran's  $I_i$  指数  $< 0$ ,则表示局部空间单元内部的 ESV 值存在高一低或者低—高局部聚集的特征。Moran's  $I_i$  计算方法如公式(5)所示<sup>[23]</sup>:

$$\text{Moran's } I_i = \frac{(x_i - \bar{x})}{m_0} \sum_j W_{ij} (x_j - \bar{x}) \quad (5)$$

式中: $x_i, x_j, w_{ij}$  和  $\bar{x}$  为均与公式 4 所示含义相同,其中  $m_0 = \sum_j W_{ij} (x_j - \bar{x})$ 。

### 3 结果与分析

#### 3.1 土地利用变化分析

基于 GIS 软件对巩义市 1990—2019 年 4 个时段内各土地利用类型面积分别统计,可得到各时期内土地利用类型面积统计(表 2)。从土地利用结构来看,巩义市域最主要的用地类型为耕地,大约占巩义市域面积的 40%,其次为建设用地,占比约 20.39%。从土地利用变化程度来看,以建设用地增幅最高(15.09%),面积增加了 2 965.23 hm<sup>2</sup>,其次为乔木林,共计增加了 828.45 hm<sup>2</sup>;与此相反,研究区水域和灌木林则出现大幅减少,两者降幅分别为 -45.17% 和 -10.09%。究其主要原因,主要归因于自 20 世纪 90 年代以来我国城镇化进程持续加快,同时巩义市工业经济增长迅速,进而导致区域城镇扩张明显,区域水域、灌木林地、耕地等不断遭到侵占。此外,受市域北部黄河滩区不断人为开发需要,大量水域空间转变为耕地,这也是导致区域土地利用发生变化的主要原因。将 1990,2019 年土地利用矢量数据导入 GIS 软件中,通过交集分析工具获得 1990—2019 年巩义市土地利用转移矩阵(表 3)。

表 2 巩义市 1990—2019 年土地利用及生态系统服务价值变化

土地利用类型		1990 年	2000 年	2010 年	2019 年	1990—2019 年 变化率	1990—2019 年 变化值
耕地	面积/hm <sup>2</sup>	42 084.45	43 591.77	40 429.89	41 568.30	-1.23	-516.15
	ESV/亿元	23.441	24.281	22.519	23.154		-0.287
乔木林	面积/hm <sup>2</sup>	13 348.44	14 096.52	14 170.89	14 176.89	6.21	828.45
	ESV/亿元	30.635	32.352	32.522	32.536		1.901
灌木林	面积/hm <sup>2</sup>	6 146.64	5 531.76	5 536.31	5 526.36	-10.09	-620.28
	ESV/亿元	9.355	8.419	8.426	8.411		-0.944
高覆盖度 草地	面积/hm <sup>2</sup>	13 144.14	13 206.33	13 321.95	13 373.28	1.74	229.14
	ESV/亿元	6.664	6.696	6.754	6.780		0.116
低覆盖度 草地	面积/hm <sup>2</sup>	4 130.91	4 166.37	4 070.61	4 074.66	-1.36	-56.25
	ESV/亿元	6.428	6.483	6.334	6.340		-0.088
水域	面积/hm <sup>2</sup>	6 265.44	3 118.95	5 131.47	3 435.30	-45.17	-2 830.14
	ESV/亿元	78.700	39.177	64.456	43.151		-35.549
建设用地	面积/hm <sup>2</sup>	19 655.64	21 063.96	22 114.54	22 620.87	15.09	2 965.23
	ESV/亿元	0	0	0	0		0
合计	ESV/亿元	155.223	117.407	141.012	120.372	-22.45	-34.85

表 3 巩义市 1990—2019 年土地利用转移矩阵

hm<sup>2</sup>

项目	2019 年						建设用地
	耕地	乔木林	灌木林	高覆盖度草地	低覆盖度草地	水域	
耕地	—	0.00	47.50	69.82	0.53	3 010.23	40.57
乔木林	284.67	—	523.16	2.51	81.40	0.00	0.30
灌木林	1.77	0.30	—	0.15	0.09	0.00	0.00
1990 年 高覆盖度草地	28.78	34.85	5.63	—	1.75	264.23	1.66
低覆盖度草地	0.49	10.25	29.87	0.03	—	0.00	0.75
水域	448.41	0.00	0.00	0.57	3.63	—	0.09
建设用地	2 928.63	19.90	15.58	34.22	11.19	10.05	—

由表 3 可知,巩义市各土地利用类型转移特征较为明显,其中水域和耕地转出面积最多,分别高达 3 010.23 和 2 928.63 hm<sup>2</sup>,主要转出类型分别为耕地和建设用地;灌木林转向乔木林面积相对较高,转移面积为 523.16 hm<sup>2</sup>;其他用地类型转入转出程度相对较低。表明巩义市扩张主要来自于周边耕地类型,而耕地面积增长区域则来自于沿黄周边的水域空间。同时受巩义市植树造林等生态保护政策影响,区域乔木林地呈现出逐年增长的趋势。

### 3.2 生态系统服务价值分析

3.2.1 生态系统服务价值测度 结合单位面积生态服务价值当量权重因子和各时段土地利用面积数据,进而得出巩义市各土地类型和不同生态功能的生态系统服务价值统计及变化情况(表 2,4)。由表 2 和表 4 可知,巩义市生态系统服务价值整体呈现出波动式下跌的趋势,近 30 a 间共计减少了 34.85 亿元(表 2)。结合表 2 中不同土地利用类型的 ESV 来看,水域价值为各土地类型中最高,占比高达 42.22%;其次为乔木林和耕地,分别占总 ESV 的 32.01% 和 23.34%;其他用地类型的 ESV 则均低于 9 亿元。从研究期间的变化特征来看,不同土地利用类型的 ESV 表现各异。其中,乔木林和高覆盖度草地的

ESV 出现小幅增长的趋势,ESV 分别增加了 1.901 和 0.116 亿元;而水域、灌木林、耕地和低覆盖度草地则出现了不同程度的下降趋势,尤以水域 ESV 下降最为显著,共计减少了 35.549 亿元,其减幅为各用地类型中最高,其他用地类型 ESV 减幅均在 1 亿元以内。

从表 4 所示不同服务功能下的生态价值分布来看,水文调节服务价值最高(年均 58.51 亿元),ESV 占总价值量的 43.29%;其次为气候调节和水土保持服务,分别占 13.69% 和 9.63%。其他类型 ESV 则占比较小,且 ESV 均低于 10 亿元。从各时段变化特征来看,研究期内所有功能 ESV 均处于持续下降趋势,尤以水资源供给和水文调节降幅最为明显,分别为 -38.2% 和 -37.572%,两者分别减少了一 2.333 亿元和 -28.764 亿元;其次为净化环境和美学景观功能,两者降幅分别为 -17.454% 和 -12.267%。总体而言,以水文调节和气候调节为主的调节服务在巩义市生态系统服务价值构成中占据主导地位,同时其近 30 a 来的损失率也处于各功能中较高位置。因此,在未来相当长一段时期内应当严格维持区域生态调节服务,以避免快速城镇扩张和人为活动对区域生态系统造成负面影响。

表 4 1990—2019 年巩义市不同生态功能的生态服务价值变化

亿元

生态服务功能		1990 年	2000 年	2010 年	2019 年	1990—2019 年 变化率	1990—2019 年 变化值
供给服务	食物生产	6.233	6.171	5.959	5.958	-4.405	-0.275
	原料生产	3.997	4.034	3.907	3.932	-1.628	-0.065
	水资源供给	6.106	3.516	5.176	3.774	-38.200	-2.333
调节服务	气体调节	9.478	9.460	9.328	9.307	-1.801	-0.171
	气候调节	18.278	17.882	18.211	17.888	-2.135	-0.390
	净化环境	8.565	6.913	7.993	7.070	-17.454	-1.495
	水文调节	76.557	44.609	65.086	47.793	-37.572	-28.764
支持服务	保持水土	12.800	12.826	12.570	12.580	-1.724	-0.221
	养分循环	1.218	1.229	1.191	1.199	-1.608	-0.020
	生物多样性	7.989	7.307	7.772	7.363	-7.831	-0.626
文化服务	美学景观	4.017	3.476	3.834	3.524	-12.267	-0.493

3.2.2 生态系统服务价值时空演化特征 基于 ArcGIS 10.5 软件中的创建渔网功能,通过对各网格下土地利用类型分布进行生态系统权重因子赋值,进而得出网格尺度下巩义市生态系统服务价值,采用 Jenks 最佳自然断裂法对区域 ESV 空间变化进行分类,共计划分为 7 个等级,分别为:0~213 万元,213~470 万元,470~1001 万元,1 001~1868 万元,1 868~4 440 万元,4 440~9 542 万元,9 542~12 600 万元(图 2)。从空间分布及变化特征来看,1990 年巩义市 ESV 较高区域主要位于市域北部黄河、伊洛河沿线以及南部伏羲山等山脉,而 ESV 较低区域则主要以巩义市市区及东西地形较为平坦区域一带;进入 2000 年以后,巩义市 ESV 高值片区开始出现快速减少趋势,且多集中在黄河沿线,多归因于黄河湿地持

续被改造为耕地导致 ESV 持续减少,此时低值 ESV 区域则整体变化不大;而在 2000—2010 年,位于巩义市主城区的低值 ESV 区域受快速城镇扩张影响,开始出现蔓延趋势,且该趋势在 2010 年以后不断加剧,除圈层式蔓延外,在巩义市区至西向的回郭镇之间已形成带状 ESV 低值集聚区,该片区同时也是郑州—洛阳工业走廊中心地带,城镇化进程相对较高。从 1990—2019 年 ESV 整体分布特征来看,巩义市 ESV 近 30 a 出现了较大幅度的下降,区域城镇化进程对生态系统影响的负面效应较为显著,且 ESV 变化的分布基本上与水域、林地和建设用地的变化相吻合,巩义市北部以水域、耕地和建设用地为主的 ESV 高值区和低值区变化较明显,南部以林地和高覆盖度草地为主的生态资源集中区则变化相对稳定。

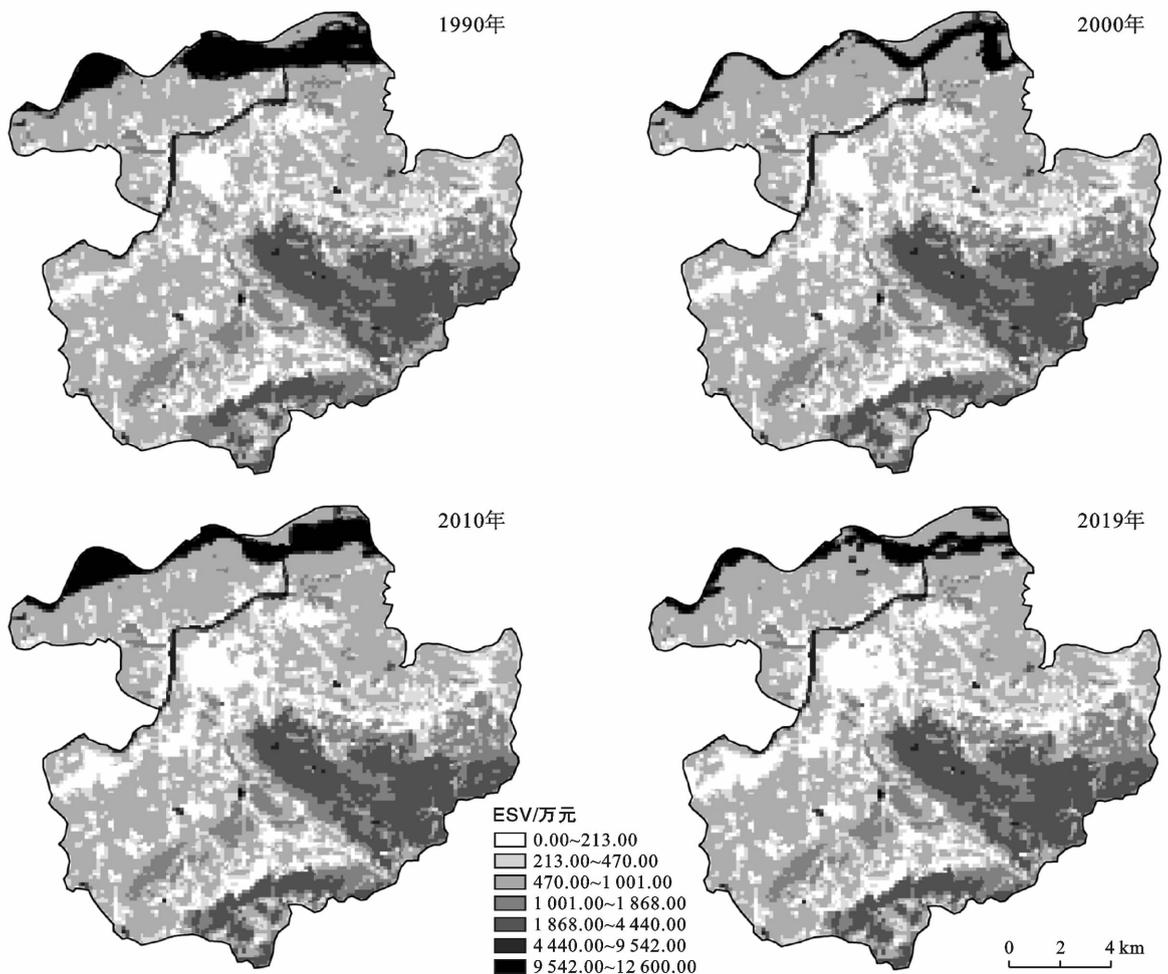


图 2 巩义市 1990—2019 年生态服务价值(ESV)空间演化格局

为深入探索网格单元下巩义市 ESV 的内在演化机制和分布特征,研究基于图 2 中的 ESV 栅格数据进行矢量化处理,随后导入 GeoDa1.14 空间探索性分析软件中,对其全局 Moran's  $I$  指数、散点图以及 LISA 聚集特征进行分析。全局 Moran's  $I$  指数基于

Queen 邻接原则(秩设定为 1)将其空间自相关特征进行定量化分析,并最终得到 1990—2019 年 4 期巩义市全局 Moran's  $I$  指数分别为 0.881, 0.723, 0.851 和 0.741,表明巩义市 ESV 存在较为显著的空间自相关特征。结合图 3 中 1990—2019 年巩义市 ESV 的

LISA 空间集聚图可明显发现,ESV 在空间集聚分布上近 30 a 整体处于相对稳定的格局,呈现出北部 ESV 高值集聚而中部及西南侧低值集聚的特征,上述两种类型的空间集聚效应较为明显,而高一低和低一高类型的集聚效应则并不突出。

(1) 高一高 ESV 等级集聚区。巩义市 ESV 处于高一高集聚区范围主要以北部黄河、伊洛河流域为主,同时随时间推移,东南部青龙山、九龙峡、浮戏山等山脉开始出现高一高集聚区。结合用地类型来看,上述区域多集中分布在生态系统保存较好的片区,主要以水域、林地等类型为主,同时也是巩义市 ESV 的主要来源地。

(2) 低一低 ESV 等级集聚区。巩义市低一低 ESV 等级集聚区域多分布在巩义市主城区以及巩义—芝田镇—回郭镇、巩义—竹林镇—米河镇等西向

和东向两条带状片区,且随着时间变化呈现出不断蔓延的趋势,尤以巩义市区南向蔓延特征相对明显。其他分散分布的低—低 ESV 集聚区则多以县域各乡镇为主。从地形特征来看,巩义市区及其东西向沿线工业走廊涉及乡镇多以平原为主,且用地类型主要为建设用地。巩义市在近年来生态保护政策取得一定成效的同时,在低—低 ESV 集聚区域受城镇持续扩张影响,未来如何优化该片区生态系统仍值得重点关注。

(3) 高一低和低一高 ESV 等级集聚区。巩义市 ESV 处于高一低和低一高等级的集聚区域整体分布相对较少。其中,低一高等级集聚区多集中分布在北部的黄河流域附近,结合 Moran 散点图可知,处于第一象限的格网分散化趋势显著,而处于第 4 象限的高一低等级集聚区格网数则年均不超过 4 个,且零星分布在南部山区。

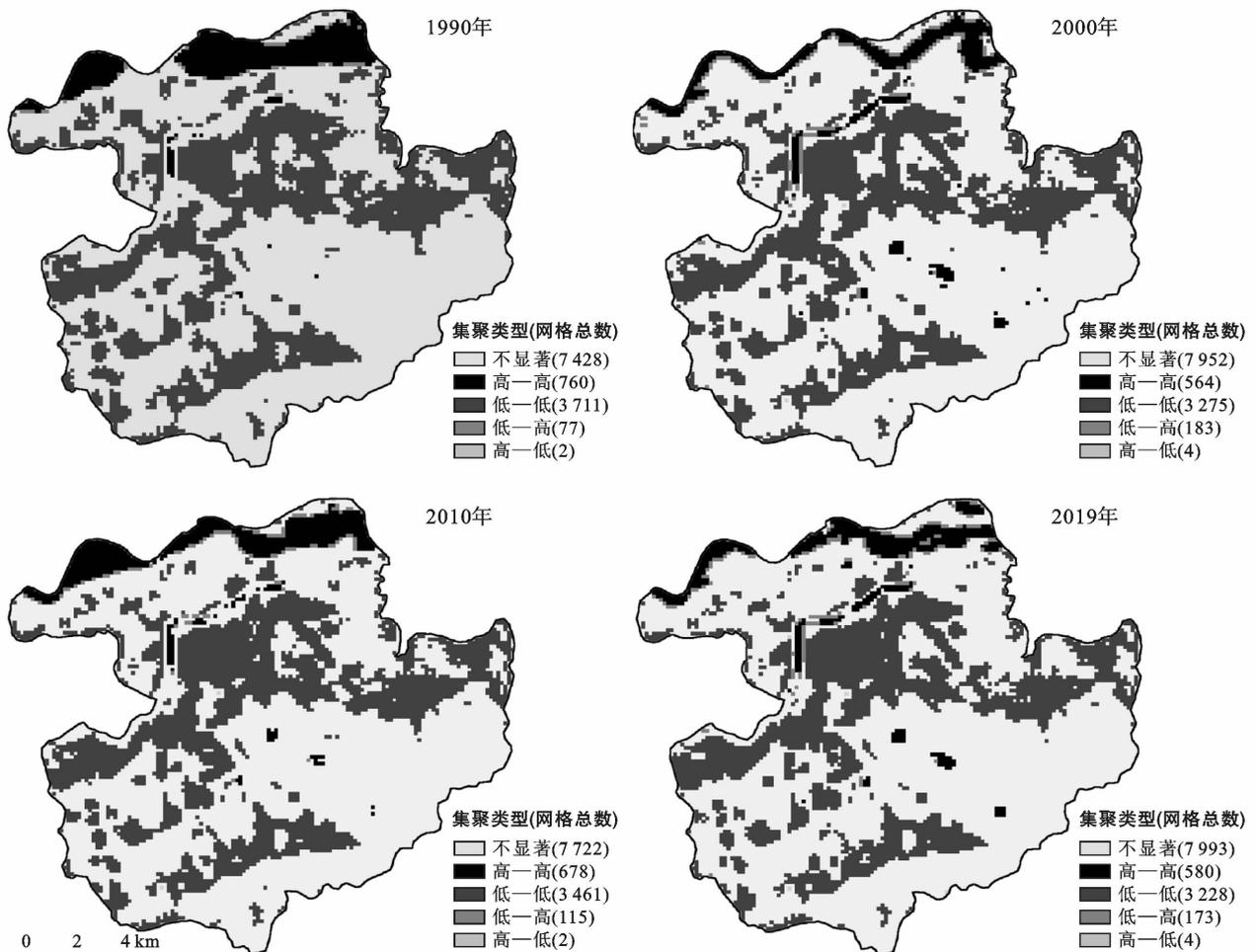


图 3 巩义市 1990—2019 年 LISA 空间集聚格局

## 4 讨论与结论

### 4.1 讨论

自 20 世纪 90 年代以来,涉及土地利用演化及其

生态系统服务价值的影响研究已有大量实证研究成果,但从空间视角探讨其影响特征及其驱动机制仍未出现较为完善的研究方法<sup>[24]</sup>。本研究以工业型快速城镇化为代表的河南省巩义市为研究对象,在分析区

域土地利用及其ESV损益的基础上,通过格网尺度从微观视角下探讨土地利用对生态系统服务价值的空间影响特征。研究表明,以耕地为主的巩义市中部地区应在基本农田得到保障的基础之上,合理控制区域工业化进程导致的建设用地扩张态势;在区域南部尤其是东南山地区域,应制定严格的生态保护措施,有效保障该片区生态系统价值稳定发展。区域ESV的演变不仅受土地利用和自然地形影响,同时还受到气候条件、产业分布、经济水平、人口密度等诸多自然和社会经济因素的影响。因此,在未来研究中可重点关注:①基于地理探测器方法下研究大数据驱动下的区域生态系统服务价值空间分布及预测模拟研究;②行政区划范围内的ESV演化机制通常情况下还会受到周边城市的影响,因此在研究范围的确定上更关注特定经济影响区域范围下的ESV空间特征更具有说服力。

受持续城镇扩张和工业化进程影响,巩义市土地利用变化直接作用于区域生态系统。故可通过相应的规划调控等相关措施不断优化区域土地资源配置进而维护生态平衡。相关政策建议包括:①鉴于林地与水域生态用地自身价值较高,因而在未来生态环境修复与保护过程中应重点加强县域内黄河流域与伏羲山等生态重点保护区的生态红线控制与保护;②针对现有的工矿产业布局与开发现状,应加快开展绿色矿山生态修复工程,优先治理因工矿产业开发引起的生态环境污染问题;③县域内各乡镇应统一建立起建设用地动态监测与预警机制,同时在保护耕地红线的基础上开展退耕还林政策,以期进一步提升区域生态系统价值。

## 4.2 结论

(1) 研究期内工业城镇化进程持续推进,不断促使建设用地快速扩张(增加2 965.23 hm<sup>2</sup>),与此相反,水域和灌木林等被建设用地不断吞噬而出现大幅减少,两者降幅分别为-45.17%和-10.09%。用地类型转移方面,水域和耕地转出面积最多,主要转出类型以耕地和建设用地为主。

(2) 巩义市生态系统服务价值整体呈波动式下跌,近30 a共减少了34.85亿元。从变化特征来看,乔木林和高覆盖度草地小幅增长,而水域、灌木林、耕地和低覆盖度草地则出现不同程度下降,尤以水域ESV跌幅明显。从不同服务功能的生态价值来看,水文调节服务价值最高,其次为气候调节和水土保持服务。以水文调节和气候调节为主的调节服务在巩义市生态系统服务价值构成中占据主导地位,同时其近30 a来的损失率也处于高位。

(3) 巩义市城镇化进程对生态系统影响的负面效应显著,北部以水域、耕地和建设用地为主的ESV高值区和低值区变化较大,南部以林地和高覆盖度草地为主的生态资源集中区由于受社会经济活动影响较少则相对稳定。1990年ESV较高区域集中在北部黄河、伊洛河沿线及南部伏羲山等山脉,而ESV较低区域则分布在巩义市区及东西两侧;2000年以后,主城区低值ESV区域受快速城镇扩张影响逐步蔓延,在城区及巩义—芝田镇—回郭镇、巩义—竹林镇—米河镇等西向和东向两条带状片区已形成ESV低值集聚区。

## [参考文献]

- [1] 侯鹏,王桥,申文明,等. 生态系统综合评估研究进展:内涵、框架与挑战[J]. 地理研究,2015,34(10):1809-1823.
- [2] 李方一.“千年生态系统评估”对生态人类学的借鉴意义[J]. 中央民族大学学报(哲学社会科学版),2009,36(2):46-51.
- [3] 王洁,摆万奇,田国行. 土地利用生态风险评价研究进展[J]. 自然资源学报,2020,35(3):576-585.
- [4] 宁佳,邵全琴. 黄土高原土地利用及生态系统服务时空变化特征研究[J]. 农业环境科学学报,2020,39(4):774-785.
- [5] Geange S, Townsend M, Clark D, et al. Communicating the value of marine conservation using an ecosystem service matrix approach [J]. *Ecosystem Services*, 2019, 35(2):150-163.
- [6] 王大菊,卫海燕,贺敏,等. 基于土地利用的三峡库区生态系统服务价值时空格局分析[J]. 长江流域资源与环境,2020,29(1):90-100.
- [7] 王磊,何冬梅,江浩,等. 江苏滨海湿地生态系统服务功能价值评估[J]. 生态科学,2016,35(5):169-175.
- [8] 赵丽,张蓬涛,周智. 环首都贫困区土地利用变化对生态系统的影响及驱动因素分析:以河北涞水县为例[J]. 中国农业资源与区划,2013,34(5):74-81.
- [9] 邓伟,周渝,张勇,等. 重庆市生态保护红线区生态系统服务价值时空演变特征及其驱动[J]. 长江流域资源与环境,2020,29(1):79-89.
- [10] Kalfas D G, Zagkas D T, Dragozi E I, et al. Estimating value of the ecosystem services in the urban and peri-urban green of a town Florina-Greece, using the CVM [J]. *The International Journal of Sustainable Development and World Ecology*, 2020, 27(1): 310-321.
- [11] 刘愿理,廖和平,李靖,等. 生态脆弱区土地利用多功能空间格局特征及影响因素分析[J]. 中国土地科学,2020,34(2):75-83.
- [12] 马丽君,程久苗,程建,等. 土地利用隐性转型影响因素分析[J]. 中国土地科学,2019,33(7):81-90.

- [13] Tanner M K, Moity N, Costa M T, et al. Mangroves in the Galapagos: Ecosystem services and their valuation [J]. *Ecological Economics*, 2019, 160(6):12-24.
- [14] 李子君,刘金玉,姜爱霞,等.基于土地利用的沔河流域生态系统服务价值动态变化[J].*水土保持研究*,2020,27(2):269-275,283.
- [15] 朱增云,阿里木江·卡斯木.干旱区绿洲城市生态系统服务价值空间自相关格局分析与模拟[J].*生态与农村环境学报*,2019,35(12):1531-1540.
- [16] 杨莹,侯凯旋,岳卫峰,等.基于复合系统相互作用关系的水资源承载力研究:以巩义市为例[J].*北京师范大学学报(自然科学版)*,2019,55(5):669-676.
- [17] 谢高地,张彩霞,张雷明,等.基于单位面积价值当量因子的生态系统服务价值化方法改进[J].*自然资源学报*,2015,30(8):1243-1254.
- [18] 田俊峰,王彬燕,程利莎,等.政策主导下的区域土地利用转型过程与机制:以中国东北地区为例[J].*地理研究*,2020,39(4):805-821.
- [19] 王颖,顾朝林.基于格网分析法的城市弹性增长边界划定研究:以苏州市为例[J].*城市规划*,2017,41(3):25-30.
- [20] 宋文飞,李国平,韩先锋.生态系统服务价值化:经济理论脉络及现代解读[J].*科技管理研究*,2015,35(9):244-249.
- [21] 谢高地,肖玉,甄霖,等.我国粮食生产的生态服务价值研究[J].*中国生态农业学报*,2005,13(3):10-13.
- [22] 郭椿阳,高尚,周伯燕,等.基于格网的伏牛山区土地利用变化对生态服务价值影响研究[J].*生态学报*,2019,39(10):3482-3493.
- [23] 张利国,鲍丙飞,杨胜苏.我国农业可持续发展空间探索性分析[J].*经济地理*,2019,39(11):159-164.
- [24] 刘耀林,郝弘睿,谢婉婷,等.基于生态系统服务价值的土地利用空间优化[J].*地理与地理信息科学*,2019,35(1):69-74.

(上接第 242 页)

- [19] 樊玉山,刘纪远.西藏自治区土地利用[M].北京:科学出版社,1994.
- [20] 柴雪柯,蒋观滔,高鹏,等.渭河流域土地利用变化特征及驱动力分析[J].*人民黄河*,2016,38(8):77-81,85.
- [21] 刘瑞,朱道林.基于转移矩阵的土地利用变化信息挖掘方法探讨[J].*资源科学*,2010,32(8):1544-1550.
- [22] 史洪超.土地利用/覆被变化(LUCC)研究进展综述[J].*安徽农业科学*,2012,40(26):13107-13110,13125.
- [23] 赵小汎,代力民,陈文波,等.耕地与建设用地变化驱动力比较分析[J].*地理科学*,2008,28(2):214-218.
- [24] 刘思峰,蔡华,杨英杰,等.灰色关联分析模型研究进展[J].*系统工程理论与实践*,2013,33(8):2041-2046.
- [25] 刘纪远,张增祥,庄大方,等.20世纪90年代中国土地利用变化的遥感时空信息研究[M].北京:科学出版社.

(上接第 248 页)

- [16] 马颖忆,陆玉麒,柯文前,等.泛亚高铁建设对中国西南边疆地区与中南半岛空间联系的影响[J].*地理研究*,2015,34(5):825-837.
- [17] 刘静玉,刘玉振,邵宁宁,等.河南省新型城镇化的空间格局演变研究[J].*地域研究与开发*,2012,31(5):143-147.
- [18] 陈凤桂,张虹欧,吴旗韬,等.我国人口城镇化与土地城镇化协调发展研究[J].*人文地理*,2010,25(5):53-58.
- [19] 范辉,刘卫东,吴泽斌,等.浙江省人口城市化与土地城市化的耦合协调关系评价[J].*经济地理*,2014,34(12):21-28.
- [20] 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.
- [21] 李德胜,王占岐,蓝希.环鄱阳湖城市群人口城市化与土地城市化协调度评价[J].*国土资源科技管理*,2016,33(1):16-23.
- [22] 徐建华.计量地理学[M].2版.北京:高等教育出版社,2014,123-125.
- [23] 林珍铭,夏斌.嫡视角下的广州城市生态系统可持续发展能力分析[J].*经济地理*,2013,68(1):45-47.
- [24] 杨洋,王晨,章立玲,等.基于国家规划的新型城镇化状态定量评估指标体系构建及应用[J].*经济地理*,2015,35(7):51-58.
- [25] 吴文恒,牛叔文,郭晓东,等.中国人口与资源环境耦合的演进分析[J].*自然资源学报*,2006,21(6):853-861.
- [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] 崔木花.中原城市群9市城镇化与生态环境耦合协调发展[J].*经济地理*,2015,35(7):72-78.