

## 基于遥感的中原城市群区域生态资产评价

王万同, 王金霞, 付强

(河南师范大学 旅游学院, 河南 新乡 453007)

**摘要:** 基于遥感中分辨率成像光谱仪(MODIS)的植被指数(NDVI)、植被净初级生产力(NPP)产品数据和土地利用数据以及其他辅助数据, 采用遥感定量模型评估了中原城市群区域在 2000, 2005, 2010 和 2015 年 4 个时期的生态资产价值, 分析生态资产的格局变化及驱动因素。结果表明: ①中原城市群生态资产空间分布不均衡, 西南部的洛阳和平顶山生态资产价值占到全区的 51.88%, 东北部及中部的新乡和郑州占到全区的 21.02%; 空间上表现为以郑州为中心, 高值区沿西南和东北方向发展、低值区沿西北和东南方向发展的“两线”发展态势。②生态资产价值表现为连年减少(-2.17 亿元·a<sup>-1</sup>), 单位面积生态资产总体上变化不大。空间分布上, 郑州及以西区域(洛阳、焦作、济源)显著下滑, 以东区域略有增长。③受土地利用方式变化、经济和人口增长的影响, 区域内林地、耕地、草地面积缩减造成相应生态资产流失(46.62, 8.81 和 2.52 亿元), 使得人均生态资产价值下降(13.4%)。由此认为, 区域经济的快速增长需加强和生态环境之间的协调关系, 同时针对不同城市的发展定位和资源特点, 优化产业结构, 严格用地; 加强生态资产核算及生态补偿。图 4 表 4 参 26

**关键词:** 景观生态学; 生态资产; 格局动态; 驱动力分析; 中原城市群区域

**中图分类号:** S7-98; F062.2      **文献标志码:** A      **文章编号:** 2095-0756(2018)06-1146-09

## Ecological capital in the Central Plains Urban Agglomeration (CPUA) region of China based on remote sensing technology

WANG Wantong, WANG Jinxia, FU Qiang

(College of Tourism, Henan Normal University, Xinxiang 453007, Henan, China)

**Abstract:** With the acceleration of regional urbanization and the improvement of economic development, the Central Plains Urban Agglomeration (CPUA) regional ecological environment problems become more and more serious. It is imperative to this regional sustainable development to clarify the ecological capital and spatial pattern and further analyze its driving factors. Based on the ecological economics method, this regional ecological capital value of 2000, 2005, 2010 and 2015 were evaluated by remote sensing model combined with Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS), normalize difference vegetation index (NDVI), and net primary production (NPP) data as well as other auxiliary data. Results showed that (1) ecological capital in this region was unevenly distributed, being mainly concentrated in the west and southwest (including Luoyang City and Pingdingshan City), and combined accounted for about 51.88% of the total ecological capital. Secondly, in the north-central section (including Zhengzhou City and Xinxiang City) aggregates accounted for about 21.02% of the total ecological capital. In Zhengzhou City, as the center, development of “two lines” consisted of a high value area to the southwest and northeast direction and a low value area to the northwest and southeast. (2) The regional ecological capital declined (-217 million yuan·a<sup>-1</sup>) from 2000 to 2015, but the ecological capital per unit area had no strong change. Central and western regions (including Zhengzhou,

收稿日期: 2017-11-10; 修回日期: 2018-04-20

基金项目: 河南省软科学项目(172400410147); 国家自然科学基金资助项目(41501435); 河南师范大学博士启动基金资助项目(qd15148, qd14215)

作者简介: 王万同, 讲师, 博士, 从事遥感生态监测研究。E-mail: wtwang@htu.edu.cn。通信作者: 付强, 副教授, 博士, 从事空间统计分析研究。E-mail: fuq@lreis.ac.cn

Jiaozuo, and Jiyuan) showed a strong downward move; whereas, the eastern region showed the opposite. (3) Under the influence of land use change, economy, and population, ecological capital of forest land, cultivated land, and grassland loss 4 662, 881 and 252 million yuan, respectively. Ecological capital per person fell by 13.4%. Zhengzhou City and Luoyang City, as the economic growth pole of the CPUA region, showed the fastest economic development and the most serious loss of ecological capital. Nevertheless, in the southwest and eastern regions, with slower development, regional ecological capital showed an inordinate upward movement. Overall, with rapid development of the regional economy, ecological environmental protection and governance were still important problems facing future development in the CPUA region; thus, this CPUA region should adhere to a green, environmental, low-carbon, intensive, and smarter development that promotes humanity and nature harmoniously. [Ch, 4 fig. 4 tab. 26 ref.]

**Key words:** landscape ecology; ecological capital; pattern analysis; driving force analysis; Central Plains Urban Agglomeration region

生态系统在给人类提供重要的生物资源(如食物、建筑材料、工业原料、燃料以及药物或药用原料等)的同时,还对人类生存具有极为重要的生态服务功能(如调节气候、保持水土、涵养水源等)<sup>[1-3]</sup>,这些蕴含着的巨大经济价值,通常被称为生态资产(ecological capital, EC)<sup>[4]</sup>。生态资产的概念起源于 20 世纪 70 年代,由 HOLDER 等<sup>[5]</sup>和 WESTAMAN<sup>[6]</sup>首次提出;此后 DAILY<sup>[7]</sup>和联合国环境规划署等众多学者和机构,陆续开展了针对全球生态系统服务功能的研究,引发了对生态资产评估的广泛关注。基于经济学视角对国家和区域的生态资产进行核算是其中一项重要的基础工作,生态资产研究也成为当前生态经济领域的热点问题<sup>[8-9]</sup>。中国对生态资产的研究始于 20 世纪 80 年代,主要集中在环境资源价值评估领域;研究内容侧重于概念理论的探讨、评估模型的构建、参数修正以及对特定区域的应用研究等。如陈仲新等<sup>[10]</sup>、潘耀忠等<sup>[11]</sup>对生态系统服务功能价值估算的理论和方法体系进行了研究,并对中国生态系统服务价值进行了估算;高吉喜等<sup>[12]</sup>对生态资产的相关概念与发展趋势进行了分析;谢高地等<sup>[13]</sup>初步建立了适用于中国生态资产评估的价值标准体系;同时大量的应用案例研究也相继涌现<sup>[14-18]</sup>。生态资产作为人类经济社会发展的基础,其时空变化已经成为判定区域可持续发展的关键表征指标之一<sup>[19]</sup>。中原城市群(CPUA)作为中国七大国家级城市群之一,是构建中原经济区的核心支撑,也是实现中国中部崛起的重要空间平台,以郑州为核心,以开封、新乡、焦作、济源、洛阳、平顶山、许昌、漯河等 9 个中心城市为节点形成一个相互紧密关联的经济圈<sup>[20]</sup>。自进入 21 世纪以来,区域内工业化、城市化进程日益加快,经济总量不断提升,建成区用地规模迅速扩张。有研究表明:2000-2010 年,区域内建设用地增长了 26.3%,年均增长率为 2.6%;而耕地的占地面积比重则从 60.3%减少到 55.1%<sup>[21]</sup>。在城镇化、工业化的影响下,区域内环境污染加剧,生态系统生物多样性降低,水资源涵养能力、生态系统净化水平不断下降<sup>[22]</sup>;中原城市群区域生态环境承载力与经济开发之间的矛盾对当地可持续发展带来严重威胁。为此,亟须了解中原城市群地区生态资产的格局,客观评估其动态变化,深入探究其驱动机理,为政府决策实施中原经济区的生态文明建设和可持续发展提供科学依据。

## 1 数据与方法

### 1.1 研究区概况

中原城市群(图 1)区域约 5.87 万 km<sup>2</sup>,占到河南省总面积的三分之一,西至太行山,西南靠伏牛山,东部为黄河冲积平原;区域内地貌类型多样,地势西高东低,属西部高原山地向东部平原过渡地区,其中山地和平原面积各占 42%,丘陵面积占 16%。年平均降水量为 750~950 mm,年平均气温为 13.5~15.5 °C,年平均无霜期为 180~235 d;气候属于湿润半湿润气候,四季分明,雨热同期<sup>[22]</sup>。

### 1.2 数据来源和处理

1.2.1 数据获取 植被净初级生产力(NPP)来自美国中分辨率成像光谱仪(MODIS)的 MOD17A3 数据,空间分辨率为 30";植被指数(NDVI)数据来源于地理空间数据云平台(<http://www.gscloud.cn>)中国 500 m NDVI 月合成产品;土地覆盖/土地利用数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心(<http://www.resdc>。

cn)各期(2000, 2005, 2010 和 2015 年)陆地卫星(Landsat TM/ETM+)遥感影像数据; 矢量边界数据来自国家基础地理信息系统网站下载的 1:400 万数据; 人口数据和国内生产总值(GDP)等其他数据均来自河南省统计年鉴(2000-2015)。

1.2.2 数据处理 采用地理信息系统(Arc GIS)软件将获取的数据统一匹配到 Albers Krasovsky\_1940 投影。由于各项来源数据在空间尺度上差异明显, 因此基于邻近法将所有空间数据统一采样到 500 m 空间分辨率, 数据格式也相应统一为 grid 格式。

### 1.3 研究方法

生态资产是指在一定时间、一定区域内各类生态系统所提供的自然资源价值及生态系统服务价值之和, 与生态系统的类型、质量状况及空间异质程度等密切相关<sup>[11, 17]</sup>。利用潘耀忠等<sup>[11]</sup>的评估模型, 对中原城市群地区的生态资产价值进行评估。计算公式为:

$$V = \sum_{c=1}^n V_c \quad (1)$$

式(1)中:  $V$  表示区域生态资产总值(元);  $c$  表示生态系统的类型, 本研究分为耕地(取值 1)、林地(取值 2)、草地(取值 3)和水体(取值 4)4 类生态系统, 不计建设用地和未利用地;  $V_c$  表示第  $c$  类生态系统生态资产总值(元), 可通过式(2)得到。

$$V_c = \sum_{i=1}^n V_{cp} \times S_i \times R_i \quad (2)$$

式(2)中:  $V_{cp}$  表示第  $c$  类生态系统单位面积生态资产价值(元·hm<sup>-2</sup>);  $i=1, 2, \dots, n$ , 表示区域内第  $c$  类生态系统在空间上分布的像元数;  $S_i$  表示各像元的面积(hm<sup>2</sup>);  $R_i$  表示  $V_{cp}$  在不同像元的调整系数(无量纲), 是由该像元处生态系统的的质量状况决定的。

$V_{cp}$  的计算参考谢高地等<sup>[13]</sup>制定的“中国陆地生态系统单位面积生态系统服务价值当量表”, 结合河南省粮食单产及其经济价值进行修正。其计算公式如下:

$$V_{cp} = Q \times \frac{F}{7} \times a_c \quad (3)$$

式(3)中:  $Q$  为河南省 2000-2015 年粮食单产, 本研究取值为 5 194.3 kg·hm<sup>-2</sup>;  $F$  为 2008 年全国粮食收购价格 1.69 元·kg<sup>-1</sup>,  $a_c$  为不同生态系统的生态资产当量值, 取值参见文献[13]。由此得到各个生态系统单位面积生态资产价值: 林地为 35 263.92 元·hm<sup>-2</sup>, 草地为 14 634.78 元·hm<sup>-2</sup>, 耕地为 9 907 元·hm<sup>-2</sup>, 水域为 56 871.22 元·hm<sup>-2</sup>, 建设用地为 0。 $R_i$  的计算公式为:

$$R_i = \frac{\frac{N_i}{N_{\text{mean}}} + \frac{f_i}{f_{\text{mean}}}}{2} \quad (4)$$

式(4)中:  $N_{\text{mean}}$  和  $f_{\text{mean}}$  分别表示植被净初级生产力和植被覆盖度的平均值;  $N_i$  和  $f_i$  为第  $i$  像元的植被净初级生产力和植被覆盖度( $f$ )。 $f$  采用像元二分模型利用 NDVI 计算得到, 公式如下:

$$f = \frac{D - D_{\text{soil}}}{D_{\text{veg}} - D_{\text{soil}}} \quad (5)$$

式(5)中:  $D$  为植被指数(NDVI);  $D_{\text{veg}}$  和  $D_{\text{soil}}$  分别表示完全被植被覆盖的像元和裸地或无植被覆盖区域的 NDVI 值, 可以由区域内的 NDVI 最大值和最小值代替。

## 2 结果与分析

### 2.1 生态资产空间分布及变化特征

2.1.1 生态资产总体空间格局 2000-2015 年, 中原城市群生态资产总值平均为 1 354.67 亿元(表 1)。

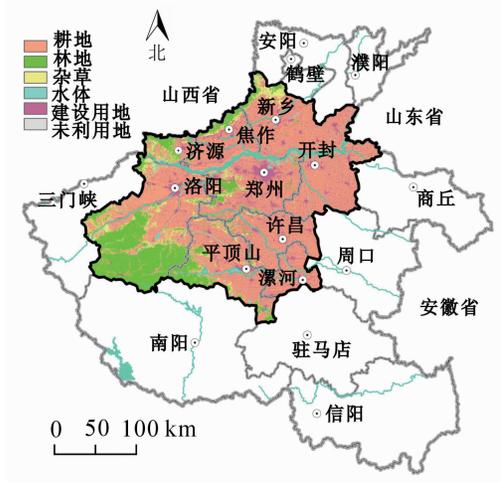


图 1 中原城市群的地理位置

Figure 1 Location of CPUA region

空间格局上呈现出明显的不均衡性,表现为以郑州为中心,高值区向西南和东北方向发展,低值区沿西北和东南方向发展的态势(图 2A)。全区的生态资产价值主要分布在西南部的洛阳和平顶山,分别为 505.75 和 196.99 亿元,占总值的 51.88%;其次是东北部及中部的新乡和郑州,分别为 146.20 和 138.51 亿元,占 21.02%;其他 5 市占 27.10%。中原城市群单位面积生态资产价值平均为 2.66 万元·hm<sup>-2</sup>(表 1),其高值区主要分布在西部的洛阳、济源和平顶山,低值区多分布在漯河、许昌和开封。从各个生态系统类型上看(表 2):全区的生态资产价值主要体现在耕地和林地上,研究期内平均分别为 615.11 和 542.52 亿元,各占总值的 45.41%和 40.04%;而草地和水体合计仅占总值的 14.55%;单位面积生态资产价值以水体最高(7.22 万元·hm<sup>-2</sup>),其次为林地(5.92 万元·hm<sup>-2</sup>)和草地(2.33 万元·hm<sup>-2</sup>),耕地最低(1.69 万元·hm<sup>-2</sup>)。

表 1 中原城市群 2000–2015 年各城市生态资产价值和单位生态资产价值分布及动态变化

Table 1 Distribution and dynamic change of EC and EC density (ECD) at the city level in CPUA between 2000 and 2015

城市	2000			2005			2010			2015			2000–2015 年变化量		
	EC	比例/%	ECD	EC	比例/%	ECD									
漯河	40.38	2.96	1.88	40.41	2.94	1.89	42.73	3.17	2.03	43.10	3.24	2.07	2.72	0.28	0.19
平顶山	188.73	13.83	2.67	193.58	14.09	2.76	202.87	15.05	2.92	202.80	15.23	2.94	14.07	1.39	0.27
许昌	83.64	6.13	1.94	81.68	5.94	1.91	85.65	6.35	2.02	85.87	6.45	2.04	2.23	0.32	0.10
郑州	144.36	10.58	2.17	153.81	11.19	2.37	126.99	9.42	2.18	128.89	9.68	2.24	-15.47	-0.90	0.07
开封	101.50	7.44	1.95	103.09	7.50	1.98	100.18	7.43	1.93	104.15	7.82	2.03	2.64	0.38	0.08
洛阳	520.21	38.12	3.65	505.40	36.78	3.56	511.17	37.92	3.66	486.20	36.50	3.49	-34.01	-1.62	-0.16
济源	54.82	4.02	3.16	57.32	4.17	3.33	54.28	4.03	3.14	53.36	4.01	3.10	-1.47	-0.01	-0.06
焦作	86.77	6.36	2.42	89.62	6.52	2.52	80.13	5.94	2.34	80.23	6.02	2.35	-6.54	-0.34	-0.06
新乡	144.12	10.56	2.07	149.22	10.86	2.17	144.09	10.69	2.10	147.36	11.06	2.17	3.24	0.50	0.09
全区	1 364.53		2.63	1 374.13		2.67	1 348.09		2.68	1 331.95		2.67	-32.58		0.04

说明: EC 为生态资产价值(亿元); 比例为该城市 EC 占全区总值的百分比(%); ECD 为单位面积生态资产价值(万元·hm<sup>-2</sup>)。2000–2015 变化量及全区合计中出现的结果不闭合问题属于四舍五入误差

表 2 中原城市群 2000–2015 年各生态系统类型生态资产价值和单位生态资产价值分布及动态变化

Table 2 Distribution and dynamic change of EC and EC density (ECD) at the ecosystem level in CPUA between 2000 and 2015

生态系 统类型	2000			2005			2010			2015			2000–2015 年		
	EC	比例/%	ECD	EC	比例/%	ECD									
耕地	621.05	45.51	1.67	614.68	44.73	1.68	612.49	45.43	1.70	612.23	45.96	1.71	-8.81	0.45	0.05
林地	561.12	41.12	6.02	554.96	40.39	5.97	539.50	40.02	5.98	514.50	38.63	5.71	-46.62	-2.49	-0.30
草地	89.05	6.53	2.23	91.94	6.69	2.32	85.20	6.32	2.37	86.54	6.50	2.41	-2.52	-0.03	0.18
水体	93.31	6.84	7.29	112.54	8.19	7.25	110.89	8.23	7.07	118.68	8.91	7.27	25.37	2.07	-0.02

说明: EC 为生态资产价值(亿元); 比例为该生态系统类型 EC 占全区总值的百分比(%); ECD 为单位面积生态资产价值(万元·hm<sup>-2</sup>)

2.1.2 生态资产总体变化特征 2000–2015 年研究区生态资产总值共减少了 32.58 亿元(表 1), 总体表现为降低趋势(-2.17 亿元·a<sup>-1</sup>), 其动态变化呈现典型的“单峰”特征: 2000–2005 年明显增长(1.92 亿元·a<sup>-1</sup>), 2005 年为拐点, 之后表现为显著减少(2005–2010 年为-5.21 亿元·a<sup>-1</sup>, 2010–2015 年为-3.23 亿元·a<sup>-1</sup>)。全区单位面积生态资产价值变化不大, 15 a 间增加了 0.04 万元·hm<sup>-2</sup>, 表明全区总体上生态系统服务功能没有退化且略有提升。

2.1.3 生态资产变化的空间分异 区域空间分布上(表 1, 图 2B), 研究期内平顶山、漯河、许昌、开封和新乡 5 市的生态资产总值表现为增长趋势, 其中以平顶山的生态资产总值增速最高(0.94 亿元·a<sup>-1</sup>); 洛阳、郑州、焦作和济源生态资产总值呈显著的下滑趋势, 其中以洛阳和郑州减幅最大, 分别为-2.27 和-1.03 亿元·a<sup>-1</sup>, 在全区的比重分别下降了 1.62%和 0.90%; 郑州市更是从 2010 年前的排名第 3 位跌至第 4 位。就单位面积生态资产价值而言, 洛阳、济源和焦作表现为降低趋势(表 1), 表明随着城市群建设进程的加快, 3 市的生态系统服务功能受到了负面影响; 其他 6 市均表现为增长趋势, 其中平顶山

增幅最高，为 0.27 万元·hm<sup>-2</sup>。参考徐昔宝等<sup>[16]</sup>的研究，将研究区 2000–2015 年的生态资产变化幅度划分为 7 个等级类型，即严重退化(变化幅度<-50%)，中度退化(-15%~-50%)，轻度退化(-5%~-15%)，基本稳定(-5%~5%)，轻度增长(5%~15%)，中度增长(15%~50%)和快速增长(>50%)。由图 3 可以看出：该区约 41.5%的面积在 15 a 间出现生态资产退化，约 37.9%的区域出现增长，约 20.6%面积的区域基本稳定。退化区域的空间分布一是以郑州东部为中心，向东、北方向的开封和新乡扩展，二是以洛阳为中心，向南、北扩展；快速增长区域则分布在该区的边缘地带(新乡东部、洛阳西部、济源西部和漯河)。这种空间分异现象和该区以郑州为中心、以洛阳为副中心的城镇化建设发展战略表现出高度的一致性，尤其是郑汴一体化、郑新融合等规划的进一步实施，中原城市群在加快“三化”建设的同时，生态环境却遭致显著负面效应。

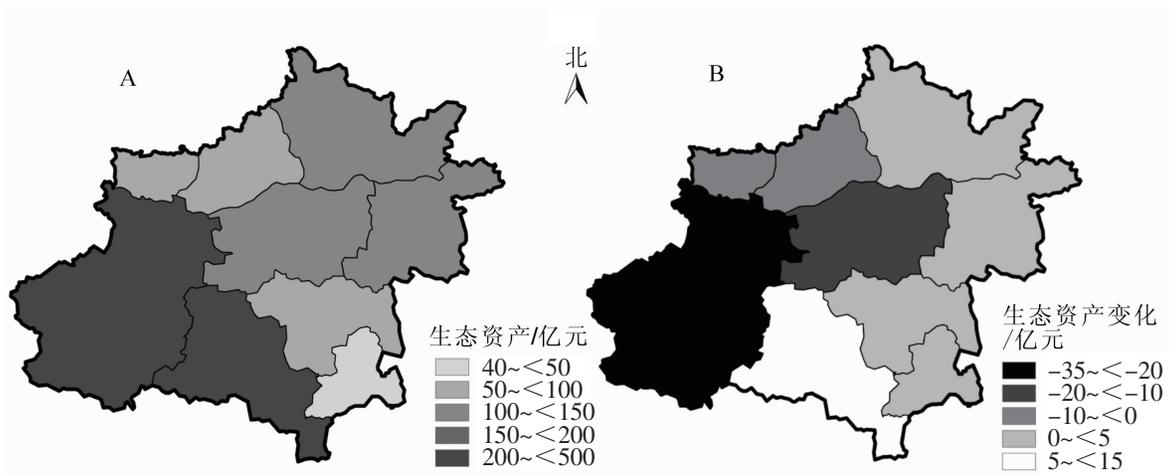


图 2 中原城市群 2000–2015 年生态资产分布及变化特征

Figure 2 Distribution and dynamic change of EC in CPUA region between 2000 and 2015

2.1.4 不同生态系统类型生态资产变化 生态系统类型生态资产变化不同。15 a 间，林地的生态资产总值共减少了 46.62 亿元，在全区生态资产中的比重降低了 2.49%，单位面积生态资产价值降低了 0.30 万元·hm<sup>-2</sup> (表 2)，表明城市化进程对生态资产价值带来的影响不单是表现在对林地的大规模占用上，也表现在对现有森林资源一定程度的破坏，降低了林地生态系统的服务功能价值。就具体城市而言，洛阳、济源、焦作和新乡的林地单位面积生态资产明显下滑，表明此 4 市的森林资源亟待保护和恢复。耕地的生态资产总值减少了 8.81 亿元，比重降低了 0.45%，单位面积生态资产价值则增加了 0.05 万元·hm<sup>-2</sup> (表 2)，表明城市化进程对耕地生态资产的负面影响仅表现在用地类型的转化上。就城市而言，除了焦作，其他城市耕地单位面积生态资产均表现为增长趋势(图 4)，表明该区城市化进程中对耕地的集约利用等措施取得了相应成效，但是耕地的大量占用仍是目前必须解决的迫切问题。草地的生态资产总值在 15 a 间略有降低，减少了 2.52 亿元，单位面积生态资产则增长了 0.18 万元·hm<sup>-2</sup>，整体表现为和耕地相同的趋势。水体的生态资产总值增加了 25.37 亿元，比重也增加了 2.07%，单位面积生态资产价值降低了 0.02 万元·hm<sup>-2</sup>。由此表明随着城市化进程的加快，15 a 间全区森林资源、耕地及草地受到了不同程度的占用和破坏，生态服务功能受到负面影响；尽管水体的大幅度改造工程和水资源的综合整治等工作为该区生态资产总值增加作出了贡献，但大量的林地、耕地及草地转变为建设用地仍使得全区生

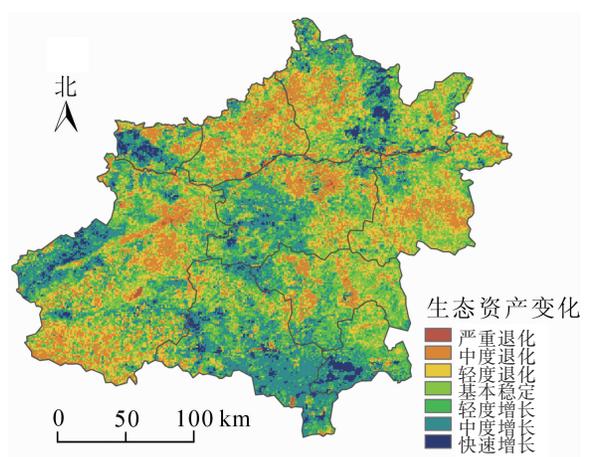


图 3 2000–2015 年中原城市群区域生态资产变化类型的空间分布

Figure 3 Spatial distribution of EC change types in CPUA region between 2000 and 2015

态资产总值飞速下降。

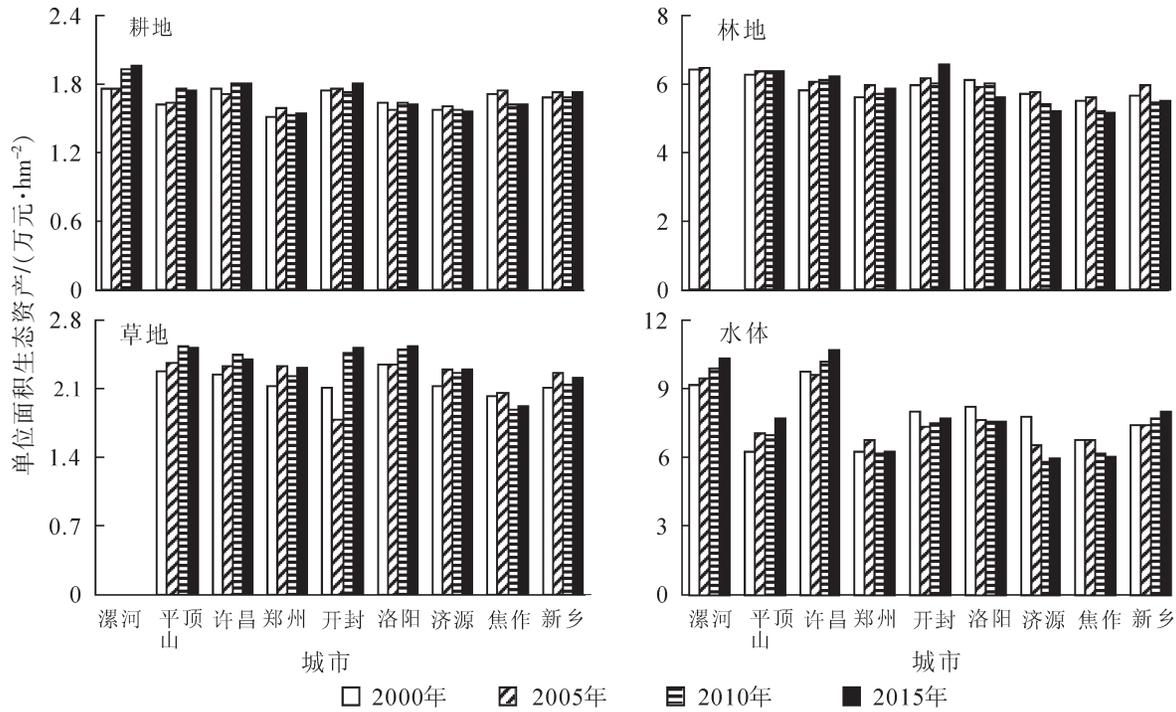


图 4 中原城市群各城市各生态系统类型单位面积生态资产价值及变化

Figure 4 Change pattern of EC density on ecosystem level in CPUA region

## 2.2 生态资产变化驱动因素分析

2.2.1 土地利用类型变化对生态资产的影响 从表 3 可以看出：2000–2015 年间该区土地利用类型中建设用地变化最大，共增加了 19.89 万  $\text{hm}^2$ ，约占现有建设用地的 24.1%，主要集中在郑州市和洛阳市。水体增加了 3.34 万  $\text{hm}^2$ ，主要集中在郑州、焦作和济源。耕地、林地和草地表现为减少趋势，15 a 间分别减少了 15.77，4.05 和 3.26 万  $\text{hm}^2$ 。结合表 2 可以明显看出：耕地、林地和草地的减少分别带来了 8.81，46.62 和 2.52 亿元的生态资产流失，其中以林地减少带来的影响最为突出。相关性分析结果表明：生态资产与林地、草地和耕地面积均在 0.05 水平显著正相关，可见土地利用类型变化是驱动该区生态资产变化的关键因素。土地利用类型的变化体现了城市化扩张的程度，但也改变了原有生态系统的服务功能特征，成为影响区域生态资产的另一个重要影响因素。耕地、林地和草地的大幅减少，并转化为低生态价值的建设用地，直接表现为给该区生态环境质量带来极大的负面影响；因此在逐步加快的城市群建设过程中，除了进一步加强水体的增加和水资源综合治理的同时，还要加强对林地和耕地的保护和恢

表 3 中原城市群各城市 2000–2015 土地利用变化

Table 3 Land use changes of CPUA region in 2000–2015

城市	耕地面积/( $\times 10^2 \text{ hm}^2$ )			林地面积/( $\times 10^2 \text{ hm}^2$ )			草地面积/( $\times 10^2 \text{ hm}^2$ )			水体面积/( $\times 10^2 \text{ hm}^2$ )			建设用地面积/( $\times 10^2 \text{ hm}^2$ )		
	2000	2015	变化量	2000	2015	变化量	2000	2015	变化量	2000	2015	变化量	2000	2015	变化量
漯河	2 146	2 087	-59	1	0	-1	0	0	0	37	29	-8	475	542	67
平顶山	5 004	4 824	-180	1 274	1 313	39	575	512	-64	262	301	39	731	897	166
许昌	4 015	3 886	-129	116	128	11	157	162	6	32	35	3	790	899	109
郑州	5 001	4 501	-499	750	557	-193	699	404	-295	193	269	75	853	1 769	916
开封	5 047	4 982	-65	82	27	-55	7	9	2	117	166	50	968	1 051	83
洛阳	6 802	6 512	-290	5 814	5 769	-45	1 431	1 449	18	317	329	12	708	1 013	304
济源	811	777	-34	602	585	-17	321	306	-15	46	102	56	112	122	10
焦作	2 779	2 610	-169	519	472	-47	202	172	-30	123	196	73	506	679	173
新乡	5 837	5 685	-152	388	370	-18	638	611	-27	182	216	34	1 125	1 284	160
全区	37 441	35 864	-1 577	9 546	9 221	-325	4 030	3 625	-405	1 308	1 643	335	6 267	8 255	1 989

复,以减缓该区生态资产的流失,从而实现区域经济和生态环境的均衡协调和可持续发展。

2.2.2 人口增长对生态资产的影响 对中原城市群人口变化的调查可知(表4):以2000年为基准,15 a间研究区人口增长很快( $27.08 \text{ 万} \cdot \text{a}^{-1}$ ),其中以郑州、洛阳和新乡绝对值增长最多,南部区域的许昌、漯河以及平顶山则较少。15 a间该区人均生态资产总体表现为持续递减,人口增长对该区生态资产的影响总体上是负面的;以郑州市为例,15 a间郑州市人均生态资产减少了  $800.80 \text{ 元} \cdot \text{人}^{-1}$ ,降低了53.5%;其次是济源和洛阳,分别减少了  $583.72$  和  $525.70 \text{ 元} \cdot \text{人}^{-1}$ ,表现出和人口增长的负相关。而在区域南部的平顶山、许昌和漯河3市,人均生态资产却小幅增长( $188.45$ ,  $79.30$  和  $55.54 \text{ 元} \cdot \text{人}^{-1}$ ),主要归因于3市人口增长变化不大。相关性分析结果也表明生态资产与人口增长在0.05水平显著负相关;中原城市群区域在城市化进程中的人口变化是驱动该区生态资产变化的另一个关键因素。人口增长对该区生态环境的负面影响显著,尤其是在城市化扩张最快的郑州和洛阳两市以及发展最慢的平顶山和许昌表现最为突出,说明该区在加快城市群建设的同时,对生态环境的保护以及恢复仍任重道远。

2.2.3 经济增长对区域生态资产的影响 调查可知,2000–2015年中原城市群的国民生产总值(GDP)由2 683亿元增长到18 961亿元,整体增幅约为7.07倍(表4),体现了中原城市群发展战略对区域经济发展的巨大促进作用。尤其是郑州和洛阳,15 a间GDP增幅分别为8.40和7.43倍,体现出作为核心增长极在经济上的引领龙头地位;但是2市生态资产的流失也是最多的,分别为15.47和34.01亿元,占到2015年GDP的0.2%和1.1%。区域经济增长的“最多”和生态资产流失的“最快”反映出该区对经济增长的重视和对生态效益的轻视;与此同时,经济发展稍慢的西南及东部区域(平顶山、漯河、许昌、开封和新乡)生态资产则表现为不同程度的增长。相关性分析结果也表明了该区生态资产与GDP增长在0.05水平显著负相关。由此可见,经济增长也是驱动该区生态资产变化的一个关键因素。

表4 人口变化和经济增长对中原城市群2000–2015年生态资产变化的影响

Table 4 Influence of population change and economic growth on the EC change in CPUA region in 2000–2015

城市	人均生态资产		人口增量/万人	GDP增幅/倍	生态资产变化/亿元	生态资产变化量占2015年 GDP的比例/%
	变化量/( $\text{元} \cdot \text{人}^{-1}$ )	比例/%				
漯河	55.54	3.3	10.16	5.24	2.72	0.3
平顶山	188.45	4.6	16.32	5.73	14.07	0.9
许昌	79.30	4.0	-8.84	6.53	2.23	0.1
郑州	-800.80	-53.5	282.58	8.40	-15.47	-0.2
开封	-53.68	-2.5	0.96	6.03	2.64	0.2
洛阳	-525.70	-6.7	41.28	7.43	-34.01	-1.1
济源	-583.72	-7.3	6.90	7.74	-1.47	-0.3
焦作	-357.19	-15.5	25.20	7.47	-6.54	-0.4
新乡	-124.80	-4.9	31.71	6.29	3.24	0.2
全区	-424.20	-13.4	406.25	7.07	-32.59	-0.2

### 3 结论与讨论

本研究基于遥感技术对中原城市群区域的生态资产进行了评估,并分析其时空分异、演变规律及其驱动机制。结果表明:中原城市群在快速城市化进程中,高生态服务价值的森林、耕地及草地资源面积大幅减少,低生态价值的建设用地大幅增加;受土地利用方式、人口增长和经济发展等因素带来的负面生态效应的影响,2000–2015年生态资产总值连年减少(约 $-2.17 \text{ 亿元} \cdot \text{a}^{-1}$ )。单位面积生态资产整体上变化不大,表明全区的生态服务功能没有发生明显退化。在空间分异及变化特征上,该区生态资产主要集中在西南部和中北部,表现为以郑州为中心、沿“两线”发展的态势(高值区向西南和东北方向发展,低值区向西北和东南方向发展)。生态资产流失较为严重的是洛阳市和郑州市,其次是焦作和济源。针对这些城市不同的发展定位以及资源特点,制定对应的发展策略,从产业结构调整、土地的集约、有效、循环利用方面,以及现有资源的综合治理和生态恢复角度,亟待拿出妥当的举措,才能较好地实现国家“五位一体”的战略思想,保障中原城市群绿色、健康、快速发展。

当前,生态资产评估体系尚未完善,评估方法和价值标准也各不相同,不同研究之间可比性差。本研究借助遥感科学的时空尺度优势,从宏观上对中原城市群区域 9 个核心城市的生态资产进行了评估和分析;基于河南省的总体经济发展水平制定生态资产单位当量价值标准,使得评估结果比较贴近中原城市群区域的实际状况,因此对该区生态资产的时空动态分析是比较可靠的。不足在于尺度较粗,没有从生态系统的服务功能尺度进一步展开分析。段彦博等<sup>[23]</sup>对郑州市生态系统服务价值的估算结果略低于本研究,主要归因于当量因子确定上的差异。

中原城市群生态资产仍处于负增长阶段(-2.17 亿元·a<sup>-1</sup>),与武汉城市圈<sup>[24]</sup>(2.60 亿元·a<sup>-1</sup>),长株潭城市群<sup>[18]</sup>(0.34 亿元·a<sup>-1</sup>),吉林中部城市群<sup>[25]</sup>(-0.43 亿元·a<sup>-1</sup>),珠江三角洲城市群<sup>[26]</sup>(-1.74 亿元·a<sup>-1</sup>)和长江三角洲城市群<sup>[16]</sup>(-3.82 亿元·a<sup>-1</sup>)等区域相比仅稍强于长江三角洲城市群,生态环境压力十分严峻。尤其是继 2016 年底国务院批复同意中原城市群规划后,国家发改委于 2017 年初发布了《中原城市群规划》,未来 5 a 将是中原城市群国家战略实施的黄金时期。基于目前的经济发展势头,面对资源约束趋紧、环境污染严重、生态系统退化的严峻形势,严守生态红线,进一步完善用地审批和生态补偿制度,并逐步实现自然资源生态资产核算常态化和制度化,不仅是中原城市群打造绿色生态发展示范区的基础制度保障,也是推动该区绿色发展、循环发展和低碳发展的根本依托。在此背景下,加强该区生态系统服务价值评估体系的规范性和科学性,健全生态资产价值标准体系,对建立该区自然资源生态资产产权制度、完善生态补偿机制,特别是科学划定中原经济区生态红线具有重要的指导意义。

#### 4 参考文献

- [1] NORGAAR R B. Ecosystem services: from eye-opening metaphor to complexity blinder [J]. *Ecol Econ*, 2010, **69**(6): 1219 – 1227.
- [2] 谢高地, 张钰铨, 鲁春霞, 等. 中国自然草地生态系统服务价值[J]. 自然资源学报, 2001, **16**(1): 47 – 53.  
XIE Gaodi, ZHANG Yili, LU Chunxia, et al. Study on valuation of rangeland ecosystem services of China [J]. *J Nat Res*, 2001, **16**(1): 47 – 53.
- [3] 彭保发, 陈端吕. 常德市土地覆被的生态服务价值空间变异分析[J]. 经济地理, 2012, **32**(1): 141 – 145.  
PENG Baofa, CHEN Duanlü. Spatial differences on ecosystem value of land cover types in Changde City [J]. *Econ Geogr*, 2012, **32**(1): 141 – 145
- [4] 史培军, 潘耀忠, 陈云浩, 等. 多尺度生态资产遥感综合测量的技术体系[J]. 地球科学进展, 2002, **17**(2): 169 – 173.  
SHI Peijun, PAN Yaozhong, CHEN Yunhao, et al. Technical system of ecological capital integrated measurement using multi-scale remotely sensed data [J]. *Adv Earth Sci*, 2002, **17**(2): 169 – 173.
- [5] HOLDER J P, EHRLICH P R. Human populating and global environment [J]. *Am Sci*, 1974, **62**(3): 282 – 297.
- [6] WESTAMAN W E. How much are nature' services worth? [J]. *Science*, 1977, **197**(4307): 960 – 964.
- [7] DAILY G. *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems* [M]. Washington D C: Island Press, 1997.
- [8] 史培军, 李京, 潘耀忠, 等. 土地利用/覆盖与生态资产测量[M]. 北京: 科学出版社, 2009.
- [9] 胡文敏, 周卫军, 余德, 等. 基于多源遥感数据的环境质量背景重构及变化模拟[J]. 经济地理, 2014, **34**(4): 171 – 178.  
HU Wenmin, ZHOU Weijun, YU De, et al. Environmental quality background reconstruction and its change simulation using multi-source remote sensing data [J]. *Econ Geogr*, 2014, **34**(4): 171 – 178.
- [10] 陈仲新, 张新时. 中国生态系统效益的价值[J]. 科学通报, 2000, **45**(1): 17 – 22.  
CHEN Zhongxin, ZHANG Xinshi. The benefits of China ecosystem [J]. *Sci Bull*, 2000, **45**(1): 17 – 22.
- [11] 潘耀忠, 史培军, 朱文泉, 等. 中国陆地生态系统生态资产遥感定量测量[J]. 中国科学: 地球科学, 2004, **34**(4): 375 – 384.  
PAN Yaozhong, SHI Peijun, ZHU Wenquan, et al. Remote sensing valuation of China terrestrial ecosystem assets, [J]. *Sci China Earth Sci*, 2004, **34**(4): 375 – 384.
- [12] 高吉喜, 范小杉. 生态资产概念、特点与研究趋向[J]. 环境科学研究, 2007, **20**(5): 137 – 143.  
GAO Jixi, FAN Xiaoshan. Connotation, traits and research trends of eco-assets [J]. *Res Environ Sci*, 2007, **20**(5): 137 – 143.

- [13] 谢高地, 甄霖, 鲁春霞, 等. 一个基于专家知识的生态系统服务价值化方法[J]. 自然资源学报, 2008, **23**(5): 911 – 919.  
XIE Gaodi, ZHEN Lin, LU Chunxia, *et al.* Expert knowledge based valuation method of ecosystem services in China [J]. *J Nat Res*, 2008, **23**(5): 911 – 919.
- [14] 张淑英, 陈云浩, 李晓兵, 等. 内蒙古生态资产测量及生态建设研究[J]. 资源科学, 2004, **26**(3): 22 – 28.  
ZHANG Shuying, CHEN Yunhao, LI Xiaobin, *et al.* Measurement of ecological capital and ecological construction in Inner Mongolia [J]. *Res Sci*, 2004, **26**(3): 22 – 28.
- [15] 孙洪泉, 邓磊, 蒋卫国, 等. 长江三角洲地区生态资产评估[J]. 资源科学, 2008, **30**(9): 1367 – 1373.  
SUN Hongquan, DENG Lei, JIANG Weiguo, *et al.* Evaluation and change analysis of ecological capital in the Yangtze River Delta Region [J]. *Res Sci*, 2008, **30**(9): 1367 – 1373.
- [16] 徐昔保, 陈爽, 杨桂山. 长三角地区 1995–2007 年生态资产时空变化[J]. 生态学报, 2012, **32**(24): 7667 – 7675.  
XU Xibao, CHEN Shuang, YANG Guishan. Spatial and temporal change in ecological assets in the Yangtze River Delta of China 1995–2007 [J]. *Acta Ecol Sin*, 2012, **32**(24): 7667 – 7675.
- [17] 刘家福, 孙洪泉, 占文凤. 长江三角洲地区生态资产变化驱动力分析[J]. 水土保持研究, 2013, **20**(1): 182 – 185.  
LIU Jiafu, SUN Hongquan, ZHAN Wenfeng. Analysis on driving forces of ecological capital in the Yangtze River Delta region [J]. *Res Soil Water Conserv*, 2013, **20**(1): 182 – 185.
- [18] 李毅, 杨仁斌, 毕军平, 等. 长株潭地区生态资产变化格局分析[J]. 经济地理, 2015, **35**(2): 184 – 188.  
LI Yi, YANG Renbin, BI Junping, *et al.* Analysis on the pattern of ecological capital in CZT region [J]. *Econ Geogr*, 2015, **35**(2): 184 – 188.
- [19] 史培军, 张淑英, 潘耀忠, 等. 生态资产与区域可持续发展[J]. 北京师范大学学报(社会科学版), 2005(2): 131 – 137.  
SHI Peijun, ZHANG Shuying, PAN Yaozhong, *et al.* Ecosystem capital and regional sustainable development [J]. *J Beijing Norm Univ Soc Sci Ed*, 2005(2): 131 – 137.
- [20] 王发曾, 刘静玉. 中原城市群整合研究[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [21] 赵留峰. 基于遥感的中原城市群碳源碳汇时空变化研究[D]. 开封: 河南大学, 2013.  
ZHAO Liufeng. *The Research of Carbon/Carbon Sinks Changes in Central Henan Urban Agglomeration based on Remote Sensing* [D]. Kaifeng: Henan University, 2013.
- [22] 秦耀辰, 苗长虹, 梁留科, 等. 中原城市群科学发展研究[M]. 北京: 科学出版社, 2009.
- [23] 段彦博, 雷雅凯, 马格, 等. 郑州市生态系统服务价值时空变化特征[J]. 浙江农林大学学报, 2017, **34**(3): 511 – 519.  
DUAN Yanbo, LEI Yakai, MA Ge, *et al.* Spatio-temporal dynamics of ecosystem service value in Zhengzhou [J]. *J Zhejiang A&F Univ*, 2017, **34**(3): 511 – 519.
- [24] 曾杰, 李江凤, 姚小微. 武汉城市圈生态系统服务价值时空变化特征[J]. 应用生态学报, 2014, **25**(3): 883 – 891.  
ZENG Jie, LI Jiangfeng, YAO Xiaowei. Spatio-temporal dynamics of ecosystem service value in Wuhan Urban Agglomeration [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2014, **25**(3): 883 – 891.
- [25] 王士君, 王雪微, 范大龙, 等. 吉林中部城市群域城镇化的生态效应评估[J]. 人文地理, 2017(1): 90 – 98.  
WANG Shijun, WANG Xuewei, FANG Dalong, *et al.* Ecological effects assessment of urbanization in Jinlin Central Urban Agglomeration Area [J]. *Human Geogr*, 2017(1): 90 – 98.
- [26] 叶长盛, 董玉祥. 珠江三角洲土地利用变化对生态系统服务价值的影响[J]. 热带地理, 2010, **30**(6): 603 – 608, 621.  
YE Changsheng, DONG Yuxiang. Effects of land use change on ecosystem service value of the Pearl River Delta [J]. *Trop Geogr*, 2010, **30**(6): 603 – 608, 621.