

中原城市群“三生”用地转型及其生态环境效应

司晓君, 崔佳

(哈尔滨师范大学 管理学院, 黑龙江 哈尔滨 150025)

摘要: [目的] 分析 2000—2020 年中原城市群“三生”用地的时空演变特征及其生态环境效应, 为快速城镇化地区“三生”空间格局优化以及区域生态环境保护等提供科学参考。[方法] 基于中原城市群 2000, 2010 和 2020 年 3 期土地利用数据, 采用生态环境质量指数和景观格局指数两种方法, 定量分析中原城市群“三生”用地转型的生态环境效应。[结果] ①研究区生产用地面积明显减少($-7\ 890\ \text{km}^2$), 生态用地面积相对稳定(仅变化 0.1%), 生活用地面积快速增加($7\ 638\ \text{km}^2$); 2000—2010 年的“三生”用地转换面积远低于 2010—2020 年。②研究区生态环境质量指数先升后降, 在区域整体上呈现“西高东低”的空间格局。郑州市下降幅度最大, 济源市提高最多; 生态环境质量指数(EV)与最大斑块指数(LPI)、景观形状指数(LSD)、斑块结合度指数(COHESION)、聚集度指数(AI)、香农多样性指数(SHDI)和香农均匀性指数(SHEI)高度相关。③生态环境改善趋势小于恶化趋势, 恶化的主要因素为林草生态用地向农业生产用地转化, 以及生活用地对农业生产用地的占用。④各类景观破碎化加剧, 聚集度和连通度降低, 景观形状趋于不规则化, 多样性和均匀度增加, 整体生态环境质量恶化。[结论] 两种评价指数对“三生”用地转型的生态环境效应评价结果趋于一致, 即研究区生态环境质量呈下降趋势。农业生产用地对林地和草地生态用地的占用是生态环境恶化的主要因素。

关键词: “三生”用地转型; 生态环境质量; 景观格局指数; 中原城市群

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2022)02-0284-07

中图分类号: F301.2

文献参数: 司晓君, 崔佳. 中原城市群“三生”用地转型及其生态环境效应[J]. 水土保持通报, 2022, 42(2): 284-290. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2022.02.038; Si Xiaojun, Cui Jia. Transformation of productive-living-ecological land use and its eco-environmental effects in urban agglomeration of Central Plains [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2022, 42(2): 284-290.

Transformation of Productive-Living-Ecological Land Use and Its Eco-environmental Effects in Urban Agglomeration of Central Plains

Si Xiaojun, Cui Jia

(School of Management, Harbin Normal University, Harbin, Heilongjiang 150025, China)

Abstract: [Objective] The temporal and spatial evolution characteristics of the productive-living-ecological land use and its ecological environmental effects in the Central Plains urban agglomeration from 2000 to 2020 were analyzed in order to provide references for the optimization of the productive-living-ecological space pattern in rapidly urbanized areas and for regional ecological environmental protection. [Methods] Based on land use data of the Central Plains urban agglomeration in 2000, 2010, and 2020, the ecological environmental quality index and the landscape pattern index were used to quantitatively analyze the ecological environmental effects of the productive-living-ecological land use transition in the Central Plains urban agglomeration. [Results] ① The area of production land in the study area decreased significantly ($-7\ 890\ \text{km}^2$), the area of ecological land was relatively stable (changing only 0.1%), and the area of living land increased rapidly ($7\ 638\ \text{km}^2$). The conversion of productive-living-ecological land use from 2000 to 2010 was much lower than

收稿日期: 2021-09-27

修回日期: 2021-11-30

资助项目: 黑龙江省普通本科高等学校青年创新人才培养计划“东北典型城区土地利用碳效应及低碳优化调控”(UNPYSCT-2017187); 国家自然科学基金青年项目(41701574); 哈尔滨师范大学博士启动基金项目(XKB201404); 黑龙江省自然科学基金优青项目(YQ2021D009); 黑龙江省哲学社会科学规划项目(2105219031); 哈尔滨市社会科学人才智库基地研究课题(2021HSKZKJD001)

第一作者: 司晓君(1996—), 女(汉族), 河南省孟州市人, 硕士研究生, 研究方向为土地利用生态环境效应。Email: 1156721287@qq.com。

通讯作者: 崔佳(1985—), 女(汉族), 黑龙江省伊春市人, 博士, 副教授, 硕士生导师, 主要从事生态环境管理研究。Email: ccc13936400919@163.com。

in 2010—2020. ② The eco-environmental quality index of the study area initially rose and then fell, showing an overall spatial pattern of “high in the west and low in the east”. Zhengzhou City had the largest decline, and Jiyuan City increased the most. LPI, LSI, COHESION, AI, SHDI were highly correlated with EV. ③ The improvement trend of the ecological environment was less than the deterioration trend. The main factors causing deterioration were the conversion of forest and grass ecological land to agricultural production land and the occupation of agricultural production land by living land. ④ The fragmentation of various landscapes increased over time, and the degree of aggregation and connection decreased over time. The shape of the landscape tended to become irregular, the diversity and uniformity have increased, and the overall ecological environmental quality deteriorated. [Conclusion] The evaluation results of the eco-environmental effects of the two evaluation indexes on the transformation of productive-living-ecological land use tended to be consistent, i.e., the eco-environmental quality of the study area has declined over time. The occupation of forest land and grassland ecological land by agricultural production land is the main factor of ecological environment deterioration.

Keywords: productive-living-ecological land use transformation; ecological environmental quality; landscape pattern index; Central Plains urban agglomeration

社会经济的快速发展引发快速的城镇化和频繁的人类活动,从而导致中国土地利用转型和空间重构^[1]。土地利用转型导致的景观破碎化、生态环境退化和生态系统服务价值降低是城镇化进程中常见的后果^[2]。土地利用转型研究主要涉及理论概念、研究方法以及土地利用转型与地方发展的关系等方面^[3]。相关研究思路清晰,但缺乏对“三生”用地(即生产—生活—生态用地)的转型及其所带来的生态环境质量问题的研究。已有研究尺度多围绕县域^[4-5]、市域^[6-7]、省域^[8-10]以及区域等^[11-13],以城市群为研究尺度的较少。研究方法常用生态环境质量指数^[14]、景观格局指数^[15]、生态系统服务价值^[16-17]以及土地利用综合态度指数等^[18],但是结合两种方法的研究还相对较少。中原城市群处于中国沿海开放地区与中西部地区的结合部,包括河南、山西、河北、山东和安徽省这 5 省的 30 个地市,是支撑中部崛起的核心增长地带。快速的城镇化和工矿化导致“三生”用地间的矛

盾日益突出。本文结合生态环境质量指数和景观格局指数两种评价方法,定量分析 2000—2020 年中原城市群“三生”用地转型所引起的生态环境效应变化,对快速城镇化地区“三生”空间格局优化以及区域生态环境保护等具有重要意义。

1 数据来源与研究方法

1.1 数据来源与处理

中原城市群 2000, 2010 和 2020 年 3 期土地利用遥感监测栅格数据(分辨率为 1 km×1 km)均来自于中国科学院资源环境科学数据中心,数据精度在 88%以上^[19],满足研究需要。根据全国土地调查的二级分类标准,借鉴已有研究成果^[20],建立“三生”用地分类体系。在此基础上,借鉴李晓文等^[21]众多专家学者的研究成果,结合 3 期土地利用数据,计算土地利用类型面积均值,采用加权法对“三生”用地分类体系中的二级地类的生态环境质量指数进行赋值(表 1)。

表 1 “三生空间”土地利用功能分类及其生态环境质量指数

用地类型	二级地类	三级分类	生态环境质量指数
生产用地	APL	水田、旱地	0.253
	IMPL	其他建设用地	0.150
生活用地	ULL	城镇用地	0.200
	BLL	农村居民点	0.200
生态用地	FEL	有林地、灌木林、疏林地、其他林地	0.830
	GEL	高覆盖度草地、中覆盖度草地、低覆盖度草地	0.649
	WEL	河渠、湖泊、水库坑塘、滩涂、滩地	0.556
	OEL	沙地、盐碱地、沼泽、裸土地、裸岩石质地	0.202

注: APL 表示农业生产用地; IMPL 表示工矿生产用地; ULL 表示城镇生活用地; BLL 表示农村生活用地; FEL 表示林地生态用地; GEL 表示草地生态用地; WEL 表示水域生态用地; OEL 表示其他生态用地

1.2 土地利用转移矩阵

土地利用转移矩阵能体现“三生”用地的面积和方向的变化;基于中原城市群 2000,2010 和 2020 年 3 期土地利用数据,利用 ArcGIS 10.2 中的重分类、栅格转面和空间叠加功能,获取 2000—2010 年和 2010—2020 年的土地利用类型转移面积,其表达式为^[22]:

$$S_{pq} = \begin{bmatrix} S_{11} & \cdots & S_{1n} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ S_{n1} & \cdots & S_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中: S 为地类面积; p, q 为研究初期、末期的土地利用类型; n 为土地利用类型数量。

1.3 生态环境质量分析

生态环境质量指数和土地利用转型的生态贡献率是分析研究区土地利用转型所导致的生态环境效应变化的主要方法^[23]。

(1) 生态环境质量指数。生态环境质量指数可以定量反映中原城市群“三生空间”分类下,不同土地利用功能类型所具有的生态环境质量状况及其面积的比例,其表达式为^[24]:

$$EV_t = \sum_{m=1}^n S_m R_m / S \quad (2)$$

式中: EV_t 为中原城市群第 t 时期的生态环境质量指数; S_m, S 为该区域第 t 时期第 m 种地类的面积和区域总面积; R_m 为第 m 种地类的生态环境指数。

(2) 土地利用生态贡献率。土地利用转型生态贡献率表示土地利用功能类型间的相互转换对区域生态环境的影响程度,可分析引发区域生态环境质量变化的主要用地转型,计算公式为^[25]:

$$LEI = (LE_q - LE_p) L_a / S \quad (3)$$

式中: LEI 为土地利用转型的生态贡献率; LE_p, LE_q 分别为变化初期和变化末期的生态环境质量指数; L_a 为土地变化类型的面积。

1.4 景观格局指数选取

景观格局指数可以定量分析景观格局的结构组成及变化^[26]。本文结合实际研究需要,在斑块水平方面选取最大斑块指数(LPI)、景观形状指数(LSI)、斑块结合度指数(COHESION)和聚集度指数(AI),在表征斑块类型水平指数的基础上添加香农多样性指数(SHDI)和香农均匀性指数(SHEI)为景观水平指数,定量评价 30 个市土地变化的生态效应。上述指数通过 Fargstats 4.2 计算得到。

2 结果与分析

2.1 中原城市群“三生”用地转型分析

总体来看,中原城市群“三生空间”用地主要以

农业生产用地为主。农业和工矿生产用地大面积覆盖中原城市群,占总面积的 65% 左右,其中农业生产用地约占生产用地的 99.16%。2000—2020 年期间,生产用地不断减少,主要是以水田和旱地为主的耕地平均每年减少 506.7 km²;但工矿生产用地大幅增加,年均增长 7.42%。城乡生活用地面积逐年增加,比 2000 年增长了 26.13%,年均增长率为 1.17%;2020 年城镇生活用地面积为 7 984 km²,是 2000 年的 2.34 倍。生态用地主要分布于中原城市群西部地区,各生态用地面积增减基本持平,仅比 2000 年增加了 0.1%(表 2)。

表 2 中原城市群 2000—2020 年“三生”用地面积 km²

年份	生产用地	生活用地	生态用地
2000	192 344	29 235	63 263
2010	190 444	30 689	63 766
2020	184 454	36 873	63 325
2000—2020	-7 890	7 638	62

根据 2000—2010 年和 2010—2020 年土地类型转移矩阵(表 3—4),发现中原城市群 2000—2010 年的“三生”用地转换总面积远低于 2010—2020 年的。两个时间段的转型特征一致,表现为农业生产用地、草地和其他生态用地面积减少,其余用地类型面积增加。2000—2010 年,中原城市群以农业生产用地向城镇生活用地转型为主。农业生产用地的转出量(2 477.3 km²)明显大于其转入量(172.95 km²),其中 63.58% 的转入量来源于水域生态用地,转入面积为 109.97 km²;农业生产用地转化为城镇生活用地和水域生态用地的面积分别为有 1 038.71 和 604.83 km²,占其转出量的 66.34%;另有 27.68% 的转出是工矿生产用地和农村生活用地对农业生产用地的侵占所致。城镇生活用地的次要来源是农村生活用地;水域生态用地的来源还包括草地和林地;其他用地类型的转化不明显。这说明该时期主要挤占了耕地。2010—2020 年,研究区以农业生产用地与农村生活用地间的相互转化为主,农业生产用地与林地、草地生态用地间的转化次之;工矿生产用地的转换率最高,比 2010 年增加了 179.51%;其次是城镇生活用地,增加了 68.83%。多种用地类型因城镇化加快不断转化为城乡生活用地,转入面积为 29 669.7 km²,城镇和农村生活用地范围不断扩大。还有林地和草地生态用地间的相互转化,农业生产用地与水域生态用地间相互转换等,该时期各类用地间不断发生转换,但农业生产用地在总量上的持续减少。中原城市群土地开发利用程度高,后备土地资源不足,耕地占补平衡政策

要继续落实。在过去的 20 a 中,中原城市群经历了生活空间的迅速扩张和生产空间的不断缩小,表明城乡生活用地需求随着城镇化水平的快速提升而持续增加,土地供需矛盾进一步加剧。

表 3 中原城市群 2000—2010 年“三生”用地面积转移矩阵

km²

土地利用类型	2010 年								
	APL	IMPL	ULL	BLL	FEL	GEL	WEL	OEL	
2000 年 APL	189 161.91	319.91	1 038.71	365.90	88.98	58.98	604.83	0.00	
IMPL	0.00	688.81	12.00	2.00	0.00	0.00	2.00	0.00	
ULL	0.00	0.00	3 402.05	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	
BLL	2.00	6.00	230.94	25 570.82	1.00	1.00	11.00	0.00	
FEL	6.00	14.00	21.99	4.00	39 091.03	1.00	58.98	0.00	
GEL	33.99	17.00	3.00	1.00	16.00	18 397.84	66.98	1.00	
WEL	109.97	9.00	17.99	3.00	10.00	5.00	5 124.56	0.00	
OEL	20.99	1.00	3.00	3.00	3.00	0.00	9.00	191.95	

表 4 中原城市群 2010—2020 年“三生”用地面积转移矩阵

km²

土地利用类型	2020 年								
	APL	IMPL	ULL	BLL	FEL	GEL	WEL	OEL	
2010 年 APL	143 649.00	2 043.43	3 625.98	23 273.50	6 394.21	6 413.20	3 314.07	46.99	
IMPL	555.84	128.96	131.96	129.96	28.99	51.99	22.99	3.00	
ULL	1 015.71	38.99	3 344.06	198.94	23.99	33.99	68.98	0.00	
BLL	20 384.30	281.92	563.84	3 782.94	197.94	250.93	401.89	1.00	
FEL	6 006.31	144.96	93.97	469.87	28 593.00	3 270.08	413.88	11.00	
GEL	6 205.26	226.94	50.99	525.85	3 722.96	7 243.97	388.89	7.00	
WEL	3 072.14	72.98	163.95	416.88	309.91	250.93	1 487.58	32.99	
OEL	140.96	7.00	2.00	21.99	5.00	3.00	12.00	0.00	

2.2 中原城市群“三生”用地转型的生态环境效应

2000—2020 年研究区总体生态环境质量指数由公式(2)计算得到,分别为 0.356 7, 0.356 9 和 0.354 7,生态环境总体质量先升后降。2000—2010 年中原城市群各市加强节能减排和生态环境保护,关闭重污染企业,更加注重经济社会发展和生态建设的一致性,推动了绿色经济的发展,此期间生态环境质量有所上升。2010—2020 年生态环境质量因城镇化的稳步推进有所下降。区域总体生态环境质量改善和恶化同时进行,两种过程一定程度上相互抵消,使区域总体生态环境质量变化幅度较小。

借助 ArcGIS 10.2 软件,基于市域尺度分别表达 2000, 2010 和 2020 年中原城市群生态环境质量的空间差异,并参照已有研究成果将其划分为 5 个等级(图 1)。根据图 1 可知,中原城市群生态环境质量指数受土地利用类型分布的影响,在整体上呈现“西高东低”的空间格局。较高质量区主要分布于中原城市群西部和南部的信阳市,该地区林地和草地生态用地所占比例较大,地貌类型以山地丘陵为主,工业的发展和城镇的集聚受到限制,所以生态环境质量较高;

较低质量区主要分布于平原地区,因为地势平坦,适宜耕种和居住,工业较为发达,所以生产用地和生活用地分布较为广泛,因此生态环境质量较低。在研究期内,三门峡、晋城、洛阳、济源、长治和南阳一直处于高质量区;运城、焦作、平顶山和信阳一直处于较高质量区,郑州和安阳在 2020 年由较高质量区降到了中质量区;邢台、邯郸、鹤壁、新乡、驻马店和蚌埠一直处于中质量区;开封、许昌、淮北和宿州一直处于较低质量区,聊城、濮阳和菏泽由较低质量区降至低质量区;漯河、阜阳、亳州、周口和商丘一直处于低质量区,区域生态环境质量因城乡生活用地规模的扩大而变差。2000—2020 年,研究区有 23 个(近 77%)地市的生态环境质量指数降低,说明中原城市群的生态环境质量呈下降态势。其中郑州市下降最多,降低了 10.34%,这是由于郑州市生态环境质量指数高的生态用地比 2010 年减少了 25.03%,且生态环境质量指数低的生活用地增加了 85.19%。蚌埠、洛阳、运城、许昌、南阳、信阳、济源的生态环境质量指数在 2020 年得以提高,其中济源市生态用地增加量大于生活用地增加量且造成污染的工矿企业得到搬迁改造,因此生态环境质量指

数提高了3.20%;信阳市的林地和水域生态用地所占比例提高,从而生态环境质量指数提升了3.19%。综

上可知,中原城市群各地市的生态环境质量因土地资源配置和污染整治效率的不同而存在明显差异。

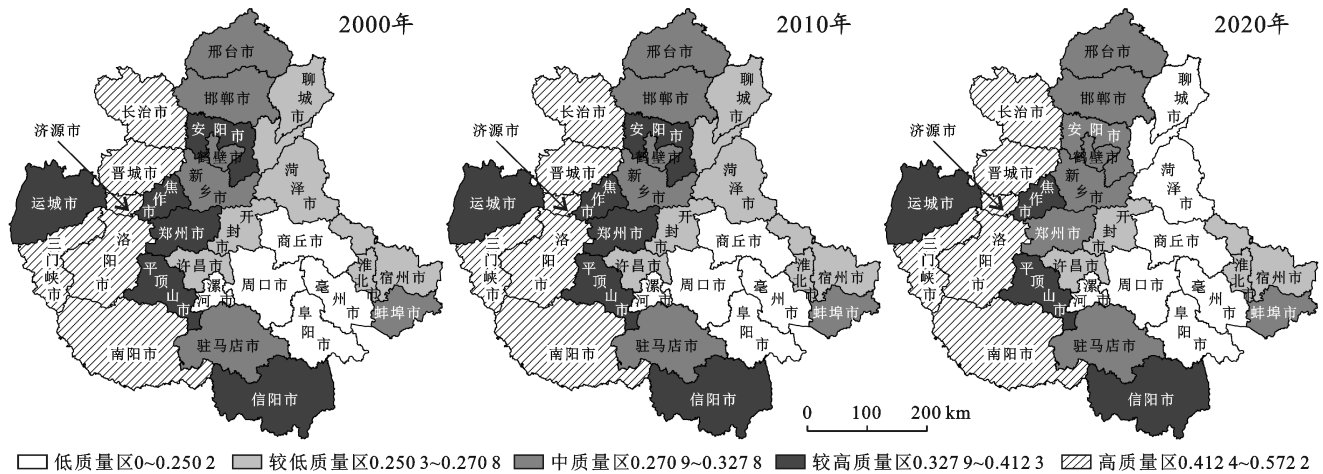


图1 中原城市群各年份生态环境质量空间分布

2.3 影响生态环境质量的主要用地转型

通过表5可以分析2000—2010年和2010—2020年导致中原城市群生态环境质量改善和恶化的主要用地转型的生态贡献率和贡献比重。在2000—2010年,中原城市群生态环境质量改善的主要因素是农业生产用地向水域和林地生态用地的转化,生态贡献率为84.99%,其中贡献比重最大的是农业生产用地向水域生态用地的转化,贡献所占比例为66.6%;城镇生活用地和工矿生产用地占用农业生产用地,以及水域生态用地向农业生产用地的转化是生态环境质量下降的主导因素,占生态环境负效应贡献率的53.31%。

2010—2020年,退耕还林还草政策下,农业生产用地转化为林地和草地生态用地是研究区生态环境质量改善的主导因素,农村生活用地复垦为农业生产用地对生态环境质量的改善也起到积极作用。生态环境恶化的因素中,林业、草地、水域生态用地转为农业生产用地的贡献所占比例分别为33.37%、24.00%和9.09%,是导致生态环境质量降低的主要原因;农村居民点对农业生产用地的占用,林地向草地生态用地的转化也对生态环境质量的降低起到积极作用。因此,中原城市群的生态环境质量因城镇化的推进可能会继续下降,为使生态环境得到改善应优化中原城市群“三生”用地结构空间布局。

表5 中原城市群2000—2020年“三生”空间主要功能地类转型及其贡献率

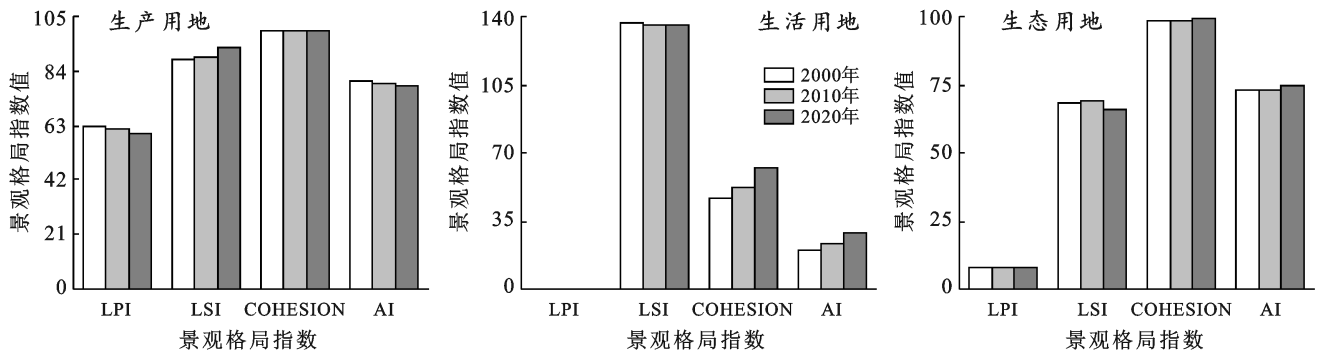
生态环境效应	2000—2010年			2010—2020年		
	土地利用变化类型	生态贡献率	贡献比重/%	土地利用变化类型	生态贡献率	贡献比重/%
正效应	APL—WEL	0.000 644	66.60	APL—FEL	0.012 775	37.78
	APL—FEL	0.000 178	18.39	APL—GEL	0.008 920	26.38
	APL—GEL	0.000 082	8.49	BLL—APL	0.003 774	11.16
	BLL—WEL	0.000 014	1.42	APL—WEL	0.003 527	10.43
	OEL—WEL	0.000 010	1.08	GEL—FEL	0.002 260	6.68
	GEL—FEL	0.000 010	1.00	BLL—WEL	0.000 502	1.48
	总计	0.0009 37	96.98	总计	0.031 757	93.91
负效应	APL—ULL	0.000 192	24.14	FEL—APL	0.012 000	33.37
	WEL—APL	0.000 117	14.69	GEL—APL	0.008 631	24.00
	APL—IMPL	0.000 115	14.49	APL—BLL	0.004 308	11.98
	APL—BLL	0.000 068	8.50	WEL—APL	0.003 270	9.09
	FEL—WEL	0.000 055	6.91	FEL—GEL	0.001 985	5.52
	FEL—ULL	0.000 048	6.03	FEL—BLL	0.001 026	2.85
	GEL—APL	0.000 047	5.93	GEL—BLL	0.000 829	2.30
	FEL—IMPL	0.000 033	4.14	APL—IMPL	0.000 737	2.05
总计	0.000 676	84.83	总计	0.032 785	91.17	

2.4 景观格局变化及其与生态环境质量相关分析

从斑块水平上来看(图 2),2000—2020 年,指示“三生”用地景观优势度的最大斑块指数(LPI)表现为:生产用地>生态用地>生活用地,生产用地 LPI 值由 2000 年的 62.34 降低至 2020 年的 59.53,其中工矿生产用地的 LPI 值增加,农业生产用地的减小,说明因人类干扰的程度加大,农业生产用地景观破碎化程度加剧。但作为农业产业区,农业生产用地转化为工矿、城乡生活用地的现象和农业生产用地整治开垦现象共存,因此生产用地仍是优势斑块。面积较小的水域斑块的整合以及退耕还林还草政策的实施,使得生态用地 LPI 值不断增加。中原城市群城镇化进程不断加快,城乡生活用地规模不断扩张,生活用地

LPI 值有小幅度的提升。

从描述景观和斑块形状复杂程度的景观形状指数来看,表现为:生活用地>生产用地>生态用地,说明城乡生活用地是景观形状不规则的主导因素。生活用地的 LSI 值轻微下降但变化相对平稳,生产用地形状趋向于不规则化,生态用地景观形状趋向于规则化。从斑块聚集度指数和结合度指数来看,表现为:生产用地>生态用地>生活用地,生产、生态用地的 CONHESION, AI 值很高,且变化幅度小。生活用地 CONHESION, AI 值分别增加了 31.61%和 45.77%,由于移民搬迁政策和乡村发展导致了生活用地的聚集程度增加,连接性增强,但与生产、生态用地相比还有很大上升空间。



注:EV 表示生态环境质量指数;LPI 表示最大斑块指数;LSI 表示景观形状指数;COHESION 表示斑块结合度指数;AI 表示聚集度指数;SIDI 表示香农多样性指数;SIEI 表示香农均匀性指数。下同

图 2 中原城市群各用地类型的景观格局指数

采用皮尔逊相关系数法分析了生态环境质量指数与景观格局指数(6 个指数)的相关性,分析结果详见表 6。由表 6 可知,中原城市群 EV 与 LPI(0.954)、COHESION(0.955)和 AI(0.967)高度正相关,与 LSI(-0.967)、SHDI(-0.947)和 SHEI(-0.947)高度负相关。

根据表 7 可知,研究时域内,中原城市群的 LPI, COHESION, AI 和 EV 总体变化趋势一致(减小),

LSI, SHDI 和 SHEI 与 EV 变化趋势相反(增加)。这表明中原城市群生态环境质量受景观格局变化的影响,在社会经济发展中研究区各类景观不断被占用切割而破碎化加剧,景观聚集度和空间连通度降低,景观形状趋于不规则化,景观多样性增加,整体生态环境质量恶化。综上,景观格局指数与生态环境质量指数评价结果趋于一致,两者从不同的角度表现了中原城市群土地利用转型的生态环效应。

表 6 地区 EV 总值与各景观指数的相关性系数

中原城市群区域	LPI	LSI	COHESION	AI	SHDI	SHEI
EV 总值	0.954	-0.967	0.955	0.967	-0.947	-0.947

表 7 中原城市群 2000—2020 年景观格局指数和生态环境质量指数

年份	LPI	LSI	COHESION	AI	SHDI	SHEI	EV
2000	62.092 8	84.149 3	99.581 4	69.365 2	1.082 5	0.520 6	0.356 7
2010	61.205 6	85.352 1	99.571 9	68.917 1	1.113 9	0.535 7	0.356 9
2020	58.512 1	90.019 2	99.542 6	67.159 1	1.198 7	0.576 4	0.354 7

3 讨论与结论

(1) 研究期间中原城市群生态用地面积相对稳

定,生产用地面积显著减少,而生活用地面积大幅增加。2000—2010 年“三生”用地转移面积远低于 2010—2020 年的。二级地类中,农业生产用地、草地

和其他生态用地面积减少,林地生态用地保持相对稳定,城镇生活用地和工矿生产用地大幅增加。

(2) 中原城市群综合生态环境质量指数先升后降,区域生态环境质量在空间上表现为西高东低。2000—2020年,近77%的地市生态环境质量指数下降,郑州市下降幅度最大,济源市改善程度最大。区域生态环境质量改善趋势小于恶化趋势。农业生产用地向水域、林草生态用地的转化是生态环境质量改善的主导因素;农业生产用地对林地和草地生态用地的占用是生态环境恶化的主要因素。

(3) 中原城市群 EV 与 LPI, LSI, COHESION, AI, SHDI 和 SHEI 密切相关,各类景观破碎化加剧,景观形状趋于不规则化,聚集度和空间连通度降低,景观多样性增加,整体生态环境质量恶化。景观格局指数与生态环境质量指数评价结果趋于一致,两者从不同角度评价了中原城市群土地利用转型的生态环境效应。

区域生态环境受土地利用转型、景观格局变化^[27]、社会政治经济因素等多方面的影响。本文在已有研究成果的基础上,运用两种评价方法对比分析了2000—2020年中原城市群“三生”用地变化及其所导致的生态环境变化,并未深入研究生态环境效应演变的驱动机制,且缺乏对不同土地利用功能间重叠部分的研究分析,评价方法也需进一步创新。未来需不断改进研究方法,并结合中原城市群的自然及社会经济指标,研究每个发展阶段生态环境效应演变的驱动因素^[28],为改善中原群城市的生态环境质量奠定基础,使其得到更好的发展。随着城镇化的不断推进,用地矛盾不断加剧,中原城市群中东部的生态环境质量可能会进一步降低。因此,中原城市群“三生”空间格局调整要与生态文明建设相结合,且相关部门要综合考虑自然、经济、政策等多方面因素,提高公民生态保护意识,因地制宜,进行“三生”用地合理布局,制定出符合中原城市群社会、经济、生态特征的“三生”用地管控措施。

[参 考 文 献]

[1] 孔冬艳,陈会广,吴孔森.中国“三生空间”演变特征、生态环境效应及其影响因素[J].自然资源学报,2021,36(5):1116-1135.

[2] Yang Yuanyuan, Bao Wenkai, Li Yuheng, et al. Land use transition and its eco-environmental effects in the Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration: A production-living-ecological perspective [J]. Land, 2020,9(9):285.

[3] 安斯文,马彩虹,袁倩颖,等.生态移民区“三生”用地变化对生态系统服务的影响:以宁夏红寺堡区为例[J].干旱

区地理,2021,44(6):1836-1846.

- [4] 王志杰,代磊.黔中喀斯特山地城市土地利用/覆被变化及其生态效应评价:以贵阳市花溪区为例[J].生态学报,2021,41(9):3429-3440.
- [5] 燕玲玲,巩杰,徐彩仙,等.陇中黄土丘陵区土地利用变化的生态环境响应:以定西市安定区为例[J].兰州大学学报(自然科学版),2020,56(4):427-434.
- [6] 汪容基,赵小敏,郭熙,等.“三生空间”视角下的土地利用转型与生态环境效应研究:以江西省鹰潭市为例[J].江西农业大学学报,2021,43(3):681-693.
- [7] 贾琦.山区县域“生产—生活—生态”空间格局演化及其生态环境效应:以豫西登封市为例[J].中国农业大学学报,2021,26(7):191-203.
- [8] 孙善良,张小平.陕西省土地利用转型时空演变及其生态环境效应分析[J/OL].水土保持研究,2021,28(6):356-364.
- [9] 焦露,薛哲进,尹剑,等.“三生空间”视角下喀斯特地区土地利用转型的生态环境效应:以贵州省为例[J].生态经济,2020,36(4):206-212.
- [10] 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.
- [11] 李晓雅,赵成章,曾红霞,等.党河源区土地利用变化及其生态环境效应[J].生态学杂志,2021,40(9):2904-2903.
- [12] 杨清可,段学军,王磊,等.长三角地区城市土地利用与生态环境效应的交互作用机制研究[J].地理科学进展,2021,40(2):220-231.
- [13] 韩美,孔祥伦,李云龙,等.黄河三角洲“三生”用地转型的生态环境效应及其空间分异机制[J].地理科学,2021,41(6):1009-1018.
- [14] 黄天能,张云兰.基于“三生空间”的土地利用功能演变及生态环境响应:以桂西资源富集区为例[J].生态学报,2021,41(1):348-359.
- [15] 崔佳,臧淑英.哈大齐工业走廊土地利用变化的生态环境效应[J].地理研究,2013,32(5):848-856.
- [16] 张蕾,刘格格,魏俊青,等.“三生用地”转型的生态系统服务价值效应:以营口市为例[J].生态学杂志,2019,38(3):838-846.
- [17] 刘莹,耿文亮,邵静文,等.“三生空间”视角下土地利用变化与生态系统服务价值响应:以黄河下游地区为例[J].地域研究与开发,2021,40(4):129-135.
- [18] 詹立坤,郭先华,符坤,等.两种指数法表征重庆市忠县土地利用/覆盖变化的对比研究[J].生态科学,2021,40(4):102-112.
- [19] 冯涛,石培基,张学斌,等.河谷型城市“三生”空间竞争与生态环境效应:以兰州市为例[J].水土保持研究,2021,28(3):229-234,241,3.

- of groundwater; all right..., but nothing else? [J]. *Science of the Total Environment*, 2016, 539:241-251.
- [22] 蒋春云. 太原市地下水化学特征及水质分析评价[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2018.
- [23] 何正艳, 张臻悦, 余军霞, 等. 风化壳淋积型稀土矿浸取过程中稀土和铝及铵的行为研究[J]. *稀土*, 2015, 36(6):18-24.
- [24] 唐建军. 减压膜蒸馏应用于稀土冶金资源综合回收的研究[D]. 湖南 长沙: 中南大学, 2002.
- [25] 刘金辉. 离子型稀土矿土壤重金属迁移转化机理研究[D]. 江西 赣州: 江西理工大学, 2019.
- [26] Liu Jinhui, Chen Linggang, Liu Chuanyi, et al. Pb speciation in rare earth minerals and use of entropy and fuzzy clustering methods to assess the migration capacity of Pb during mining activities [J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2018, 165:334-342.
- [27] 陈志澄, 赵淑媛, 黄丽彬, 等. 稀土矿山水系中 Pb, Cd, Cu, Zn 的化学形态及其迁移研究[J]. *中国环境科学*, 1994(3):220-225.
- [28] 徐美娟, 鲍波, 陈春燕, 等. 宁波市地表水重金属污染现状和健康风险评价[J]. *环境科学*, 2018, 39(2):729-737.
- [29] Bhuiyan M A H, Parvez L, Islam M A, et al. Heavy metal pollution of coal mine-affected agricultural soils in the northern part of Bangladesh [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2010, 173(1/3):384-392.
- [30] 姜萍. 猪粪对红壤菜地重金属污染过程的影响及调控[D]. 陕西 杨凌: 西北农林科技大学, 2010.
- [31] Liu Minxia, Yang Yuyi, Yun Xiaoyan, et al. Concentrations, distribution, sources, and ecological risk assessment of heavy metals in agricultural topsoil of the Three Gorges Dam region, China [J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2015, 187(3):1-11.
- [32] Hao Xiuzhen, Wang Dengjun, Wang Peiran, et al. Evaluation of water quality in surface water and shallow groundwater: A case study of a rare earth mining area in Southern Jiangxi Province, China [J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2016, 188(1):1-11.
- [33] Si Wantong, He Xiaoying, Li Ailing, et al. Application of an integrated biomarker response index to assess ground water contamination in the vicinity of a rare earth mine tailings site [J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2016, 23(17):17345-17356.
- [34] 中国环境监测总站. 中国土壤元素背景值[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1990:330-382.
- [35] Lv Jianshu, Liu Yang, Zhang Zulu, et al. Multivariate geostatistical analyses of heavy metals in soils: Spatial multi-scale variations in Wulian, Eastern China [J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2014, 107:140-147.
- [36] 朱丹尼, 邹胜章, 李军, 等. 会仙岩溶湿地丰平枯水期地表水污染及灌溉适用性评价[J]. *环境科学*, 2021, 42(5):2240-2250.

(上接第 290 页)

- [20] 路昌, 张傲. 东北地区土地利用转型及其生态环境效应[J]. *中国农业大学学报*, 2020, 25(4):123-133.
- [21] 李晓文, 方创琳, 黄金川, 等. 西北干旱区城市土地利用变化及其区域生态环境效应: 以甘肃河西地区为例[J]. *第四纪研究*, 2003, 23(3):280-290.
- [22] 何青泽, 谢德体, 王三, 等. 重庆市北碚区土地利用转型及生态环境效应[J]. *水土保持研究*, 2019, 26(2):290-296.
- [23] 高星, 刘泽伟, 李晨曦, 等. 基于“三生空间”的雄安新区土地利用功能转型与生态环境效应研究[J]. *生态学报*, 2020, 40(20):7113-7122.
- [24] 罗刚, 廖和平, 李强, 等. 基于“三生空间”的土地利用主导功能转型及其生态环境响应: 以重庆市巴南区为例[J]. *西南大学学报(自然科学版)*, 2018, 40(4):105-113.
- [25] 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.
- [26] 陈心怡, 谢跟踪, 张金萍. 海口市海岸带近 30 年土地利用变化的景观生态风险评价[J]. *生态学报*, 2021, 41(3):975-986.
- [27] 赵方圆, 杨宇翔, 张华堂, 等. 土地利用及景观格局动态变化分析: 以甘肃省党河流域为例[J]. *水土保持研究*, 2021, 28(3):235-241.
- [28] 董建红, 张志斌, 笪晓军, 等. “三生”空间视角下土地利用转型的生态环境效应及驱动力分析: 以甘肃省为例[J]. *生态学报*, 2021, 41(15):5919-5928.