

DOI: 10.5846/stxb201909282042

秦艳丽, 时鹏, 何文虹, 霍春平, 李鹏, 李占斌, 杨殊桐, 冯朝红. 西安市城市化对景观格局及生态系统服务价值的影响. 生态学报, 2020, 40(22): 8239-8250.

Qin Y L, Shi P, He W H, Huo C P, Li P, Li Z B, Yang S T, Feng Z H. Influence of urbanization on landscape pattern and ecosystem service value in Xi'an City. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(22): 8239-8250.

## 西安市城市化对景观格局及生态系统服务价值的影响

秦艳丽<sup>1,2</sup>, 时鹏<sup>1,2,\*</sup>, 何文虹<sup>3</sup>, 霍春平<sup>3</sup>, 李鹏<sup>1,2</sup>, 李占斌<sup>1,2</sup>, 杨殊桐<sup>1,2</sup>, 冯朝红<sup>1,2</sup>

1 西安理工大学 省部共建西北旱区生态水利国家重点实验室, 西安 710048;

2 旱区生态水文与侵蚀灾害防治国家林业局重点实验室, 西安 710048

3 西安市水利水土保持工作站, 西安 710016

**摘要:**我国处于城市化高度发展阶段,截止 2018 年全国城市化率达到 59.58%。城市的快速扩张,显著改变了区域景观格局,深刻影响城市生态系统的供给、调节、文化、支持等服务功能。近 30 年来,西安市城市用地扩张 554.23 km<sup>2</sup>,基于西安市景观格局变化分析,利用同心缓冲区探讨城乡梯度内景观指数与生态系统服务值的特征及其相互关系,揭示城市发展对城市生态系统的影响。结果表明,1980—2015 年西安市各景观类型面积发生明显变化,耕地、草地面积逐渐减少,建设用地面积波动增加,主要来源于优势景观耕地的转化。景观破碎度最高的区域主要分布在距市中心 10 km 左右的城乡结合部,斑块密度、边缘密度、景观分割度最高,且随城市扩张,拐点距离逐渐增加。林地和耕地是提供生态系统服务的主要土地类型,西安地区总生态服务价值减少了 9.56 亿元,耕地减少最多(6.83 亿元),沿城乡梯度,总生态系统服务价值均值呈现从市中心到农村递增的趋势,土壤保持的生态服务价值增长最快;沿时间梯度上,生态服务价值均值呈现逐年减少现象;从景观格局对生态服务价值影响分析得知,多样性指数与各类型生态系统服务价值之间存在显著的相关关系,最大斑块指数与不同类型的服务价值呈高度负相关。城市建设使得区域的生态系统服务价值降低,在城市发展中需要科学规划用地、合理布设景观格局,提高生态环境质量,达到城市生态宜居的目的。

**关键词:**城市化;景观格局;生态系统服务价值;城乡梯度带

## Influence of urbanization on landscape pattern and ecosystem service value in Xi'an City

QIN Yanli<sup>1,2</sup>, SHI Peng<sup>1,2,\*</sup>, HE Wenhong<sup>3</sup>, HUO Chunping<sup>3</sup>, LI Peng<sup>1,2</sup>, LI Zhanbin<sup>1,2</sup>, YANG Shutong<sup>1,2</sup>, FENG Zhaohong<sup>1,2</sup>

1 State Key Laboratory of Eco-hydraulics in Northwest Arid Region of China Hydraulic, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China

2 Key Laboratory of National Forestry and Grassland Administration on Ecological Hydrology and Disaster Prevention in Arid Regions, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China

3 Xi'an Soil and Water Conservation Station, Xi'an 710016, China

**Abstract:** China is in a high stage of urbanization, and the national urbanization rate was 59.58% by 2018. The rapid expansion of the city has significantly changed the regional landscape pattern and the ecological system service functions (i. e. supply, regulation, culture, support services). In the past 30 years, the urban land has expanded by 554.23 km<sup>2</sup>. Based on the analysis of the landscape pattern change of Xi'an, the concentric buffer zone method was used to explore the relationship between landscape index and ecosystem service value in urban-rural gradient. The purpose of this study was to

**基金项目:**西安市水利水土保持工作站委托项目(104-441118085);陕西定汉线宝鸡至坪坎公路工程水土保持生态文明工程关键技术与示范研究(2015-11k);陕西省水土保持和移民工作中心城镇水土保持技术集成项目(104-441120034)

收稿日期:2019-09-28; 网络出版日期:2020-09-23

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: shipeng015@163.com

reveal the impact of city development on urban ecosystem. The results showed that the area of landscape types in Xi'an changed remarkable from 1980 to 2015. The area of cultivated land and grassland decreased gradually, and the fluctuation of construction land area increased, which mainly due to the transformation of dominant landscape cultivated land. The area with the highest landscape fragmentation is mainly located in the urban-rural junction, about 10 km away from the city center. This region was characterized by the highest patch density, edge density and landscape segmentation. The variation trend of landscape index showed an inflection point in the 35 years change, and the point distance was gradually increased with the expansion of urban area. Forestland and cultivated land are the main land use types to provide the ecosystem services. The total ecological services value in Xi'an decreased by 956 million yuan, and the cultivated land had the most decreasing of ecological services value compared with other land use types (683 million Yuan). In the spatial scale, the average value of total ecosystem services had an increasing trend along the urban-rural gradient from the city center to the countryside, with fastest increasing rate in soil conservation ecosystem services. In the temporal scale, the average value of ecosystem services decreased year by year. While by analysis the impact of landscape pattern on the value of ecosystem services, it was found that there was a significant correlation between Shannon's Diversity Index and the value of ecosystem services, and the Largest Patch Index was highly negatively correlated with different types of ecosystem service value. Urban construction reduced the value of regional ecosystem services. In the future city development, it is necessary for us to plan land use and landscape pattern scientifically, so as to improve the quality of ecological environment and achieve the purpose of urban ecological livability.

**Key Words:** urbanization; landscape pattern; ecosystem service value; urban-rural gradient zone

随着国民经济的高速发展,中国城市化的进程不断加快,城镇土地快速扩张和经济集聚发展,同时产生了一系列城市环境问题,对生态环境造成了一定的压力<sup>[1]</sup>。城市病,是指城市在发展过程中出现的交通拥挤、环境污染、能源紧缺等问题<sup>[2]</sup>。主要表现为:城市规划和建设盲目向周边扩延,占用大量耕地,城市规划布局分散,城市雾霾、内涝、热岛效应等问题加剧<sup>[3]</sup>。不合理的土地利用转换将使景观碎片化,并对生态系统造成负面影响。为了改善城市化过程的这些问题,采用城市遥感影像定量探讨了一定时期景观格局与生态系统服务价值之间的特征和关系,为城市规划和生态可持续发展提供有效依据。

城市化进程改变区域景观格局,景观格局变化必然影响生态系统组分、结构与生态等过程,从而改变生态系统服务<sup>[4]</sup>。生态系统服务是人类从生态系统中直接或间接得到的产品和服务<sup>[5]</sup>。Costanza 于 1997 年<sup>[6]</sup>提出生态系统服务价值估算方法,引起国内外科学界对生态系统服务的广泛研究<sup>[7]</sup>。在国内主要是以谢高地等<sup>[8]</sup>的研究为基础,根据各区域实际情况调整生态服务当量因子表,从而比较科学地估算研究区生态系统服务价值,为区域生态环境建设提供依据<sup>[9]</sup>。因此,在经济飞速发展,城市化进程不断加快的背景下,探索城市景观格局与生态系统服务功能之间的关系对于指导城市建设规划布局与资源配置具有重要的理论意义。

在城市规划与形态方面,Burgess 提出了关注城市空间功能分区的同心带理论<sup>[10]</sup>。城市功能区是城市功能景观的混合体,反映了从市中心到农村的景观结构变化<sup>[11]</sup>。城乡梯度分析被证明是分析城市扩展及其对景观影响的有用工具<sup>[12-15]</sup>。城乡梯度为进一步研究城市景观生态提供了一个新的视角,可以量化景观指数和生态系统服务价值之间的空间分布特征。

目前,城市景观格局的研究主要集中在土地利用对景观格局驱动作用<sup>[16-18]</sup>,景观及土地利用变化对生态服务价值影响研究也主要集中于较宏观的层面<sup>[19-21]</sup>,已有对西安市的研究主要考虑某一规划区域或者侧重大一破碎化过程的影响<sup>[22-24]</sup>。然而,城市化是涉及人力、经济和社会等多方面共同作用的复杂的过程,景观格局与生态系统之间关系繁杂,景观指数和生态系统服务价值是如何响应城乡空间特征的,以及沿城乡梯度呈现出什么样的变化,目前还未完全弄清楚。本研究主要创新之处是从城市空间功能分区的同心带理论这一

角度出发,建立城乡梯度带,分析景观格局和生态服务价值对城市发展过程的响应。因此,本研究不仅为西安市合理配置土地资源提供参考,而且通过分析景观格局指数与生态系统服务价值之间的关系,可为其他类似地区改善生态环境提供理论依据。

### 1 研究区与研究方法

#### 1.1 研究区概况

西安地处关中平原中部,北濒渭河,南依秦岭,是中国四大古都之一,是中华文明和中华民族重要发祥地之一,也是丝绸之路的起点。西安市位于东经 107°40′—109°49′、北纬 33°42′—34°45′之间(图 1),土地总面积 10182.06 km<sup>2</sup>,地貌特点南高北低,呈阶梯状。该区域属于暖温带半湿润大陆性季风气候,大气环流的季节性变化明显,四季冷暖干湿分明,年平均气温 13.0—13.7℃,年降水量 522.4—719.5 mm,且由北向南递增,无霜期 220 d 左右。近年来,随着经济社会的快速发展以及城市化进程的加快,西安市景观格局发生了很大变化,景观格局的改变对西安市的生态环境产生了重要影响。

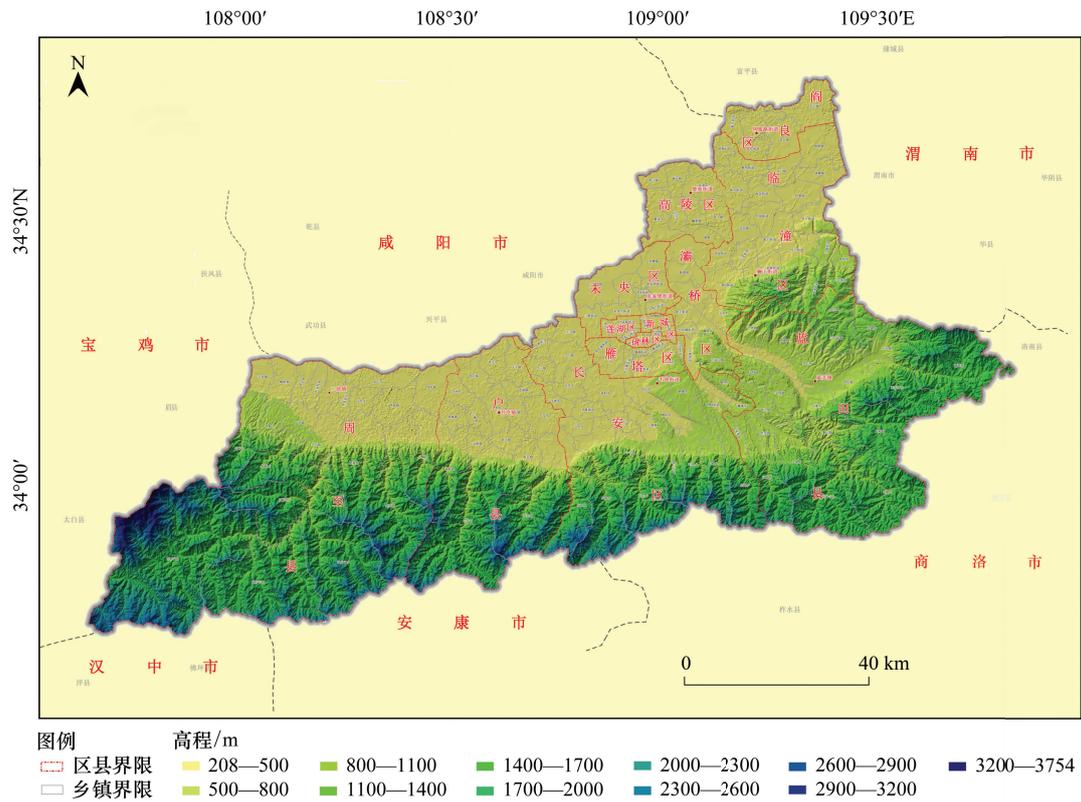


图 1 西安市地形图

Fig.1 Topographic map of the Xi'an city

#### 1.2 数据来源

研究区社会经济数据,主要来自中华人民共和国国家统计局网站和西安市统计年鉴等资料。遥感影像数据来源于西安市 1980、2000 和 2015 年的 TM 遥感影像图,分辨率为 30 m;在 ENVI 5.1 和 ArcGIS 10.2 软件平台的支持下,结合西安市数字高程模型(DEM)和野外实地调研数据,对 3 期 LandsatTM 遥感影像图进行判读解译,参考土地利用分类体系将研究区的土地利用类型分为耕地、林地、草地、水体、建设用地和未利用地 6 类。具体土地利用分类见表 1。

表 1 土地利用分类

Table 1 Classification of urban land use

土地利用类型 Land use types	内容描述 Definition
耕地 Cropland	灌溉水田、望天田、水浇地、旱地、菜地
林地 Forestland	有林地、灌木林地、疏林地、未成林造林地、迹地、苗圃及各类园地(果园、桑园、茶园、其他园地)
草地 Grassland	天然草地、改良草地、人工草地
水域 Water	河流水面、湖泊水面、水库水面、坑塘水面、苇地、沟渠、水工建筑
建设用地 Construction land	居民点及工矿用地(城镇、农村居民点、独立工矿用地、特殊用地)、交通用地(铁路、公路、农村道路)
未利用地 Unused land	荒草地、盐碱地、沼泽地、沙地、裸土地、裸岩、石砾地、田坎、其他

### 1.3 研究方法

#### 1.3.1 建立缓冲区

为了分析景观格局和生态系统服务价值的空间特征,从城市中心沿城乡梯度构建了基于 GIS 的同心缓冲区(图 2)。缓冲区被剪成 15 个几乎覆盖西安市所有地区的同心区域,每个缓冲区之间的向外辐射距离为 5 km。

#### 1.3.2 景观指数选取

景观格局反映了不同斑块的空间配置,景观格局指数可以指示景观格局的结构和分布等状态。景观格局的改变会影响栖息地质量和食物迁移路径从而使得生态系统中的能量流动和物质循环过程发生变化。因此,研究并分析景观格局的动态特征是理解生态过程的基础<sup>[25]</sup>。本文以 Fragstats 4.0 软件作为技术平台,根据景观指数的不同功能及属性并结合西安市自然环境和区位条件,共有 12 个景观指数被用来分析西安市景观格局和景观指数的梯度变化,具体见表 2。

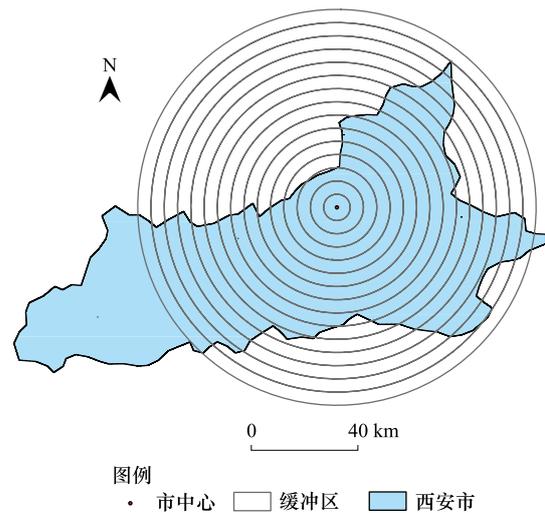


图 2 同心缓冲区的建设

Fig.2 Construction of concentric buffer

表 2 景观格局指数及生态学意义

Table 2 Landscape pattern index and ecological significance

景观格局指数 Landscape patter index	生态学意义 Ecological significance
斑块数量 (NP)	景观中斑块的总数,对景观异质性和破碎度的简单描述。
斑块密度 (PD)	每平方千米的斑块数,反映了景观总体斑块的破碎程度以及在空间上的异质性。
最大斑块指数 (LPI)	景观中最大斑块的面积除以总面积(转化成百分比形式),对斑块优势度的测量。
景观形状指数 (LSI)	边界总长度(乘以正方形校正常数)除以景观总面积的平方根,值越大,表明类型越复杂。
蔓延度指数 (CONTAG)	描述景观中不同类型斑块的团聚程度或延展趋势。
结合度指数 (COHESION)	描述某斑块的物理连通性。
景观分割度 (DIVISION)	表示景观的分割程度,值越大表明斑块越小,分布越分散。
多样性指数 (SHDI)	反映景观多样性,值下降表明各景观类型所占比例差异增大。
边缘密度 (ED)	所有斑块所有边缘的长度之和除以总景观面积,反映景观的破碎化程度
平均形状指数 (SHAPE_MN)	斑块周长除以最紧凑斑块可能的最小周长,反应单个斑块形状的复杂程度。
平均斑块分维数 (FRAC_MN)	基于每个斑块的分形维数。
聚集度指数 (AI)	表示景观的聚集程度

NP: 斑块数量 Number of Patches; PD: 斑块密度 Patch Density; LPI: 最大斑块指数 Largest Patch Index; LSI: 景观形状指数 Landscape Shape Index; CONTAG: 蔓延度指数 Contagion Index; COHESION: 结合度指数 Patch cohesion index; DIVISION: 景观分割度 Landscape Division Index; SHDI: 多样性指数 Shannon's Diversity Index; ED: 边缘密度 Edge Density; SHAPE\_MN: 平均形状指数 Mean Shape Index; FRAC\_MN: 平均斑块分维数 Mean Patch Fractal Dimension; AI: 聚集度指数 Aggregation Index

### 1.3.3 生态系统服务价值评估

#### (1) 生态系统服务价值系数

Costanza 等<sup>[6]</sup>的研究提出了可对研究区生态价值量进行全局性测度的生态系统服务价值估算方法,但限于全球尺度。谢高地等根据中国实情,制定了中国陆地生态系统单位面积生态服务价值表<sup>[8]</sup>,基于谢高地等<sup>[26]</sup>提出的单位面积生态系统服务价值当量因子法计算研究区主要景观类型的气体调节、气候调节、土壤保持、水源涵养、废物处理和生物多样性价值,根据西安市实际情况对该当量因子进行适当修正<sup>[27-28]</sup>,并测算出西安市各景观类型单位面积生态系统服务价值(表 3)。

表 3 西安市生态系统单位面积生态服务价值/(元 hm<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>)

Table 3 Ecosystem services value unit area of Xian County

生态系统服务价值 Ecosystem services value	耕地 Cropland	林地 Forestland	草地 Grassland	水域 Water	建设用地 Construction land	未利用地 Unused land
气体调节 Gas regulation	1384	9687	2214	0	0	0
气候调节 Climate regulation	2463	8680	6960	3060	0	0
土壤保持 Soil conservation	4041	10794	6640	28	55	55
水源涵养 Water conservation	1661	8857	2214	56406	83	83
废物处理 Waste disposition	4539	3626	3626	50317	28	28
维持生物多样性 Biodiversity maintainance	1965	9023	5820	6892	941	941
生态系统服务总价值 Total value of ecosystem services	16053	50667	27474	116703	1107	1107

#### (2) 生态系统服务价值评估

依据各土地利用类型的生态系统服务价值系数,基于谢高地等<sup>[8]</sup>的研究,1 个生态服务价值当量因子的经济价值量相当于当年研究区平均粮食单产市场价值的 1/7,分别计算 1980—2015 年西安市各用地类型的生态系统服务价值,公式如下:

$$ESV_n = \sum_{i=1}^n V_{in} \times A_i$$

式中,ESV<sub>n</sub>为某类生态系统服务的价值量,V<sub>in</sub>为第 i 类用地类型的第 n 种生态系统服务的价值系数,A<sub>i</sub>为该类型用地类型的面积。

### 1.3.4 景观指数与生态系统服务价值相关性分析

为了消除缓冲区面积大小引起的 ESV 和景观指数的差异,采用生态系统总服务价值中各缓冲区的平均值,并选取了 10 个与面积大小无关的景观指数。采用 SPSS 23 软件计算 ESV 与景观指数之间的相关系数,分析城市化引起的景观指数变化对 ESV 的影响。

## 2 结果与分析

### 2.1 土地利用与景观格局的总体空间特征分析

随着城市化的加快,1980—2015 年西安市各土地利用发生了较大变化,主要表现在各景观类型面积的动态演变(图 3)。研究区基本上以耕地、林地和草地 3 种土地利用类型为主,其中耕地所占面积比重最大(34.98%—39.17%),35 年间耕地、草地面积逐渐减少;林地、建设用地面积波动增加,其中建设用地面积增加了 554.23 km<sup>2</sup>,结合土地利用转移矩阵(表 4)增加面积主要来源于耕地转化。

1980—2015 年间,西安市 CONTAG、COHESION、NP 和 PD 总体呈现出减少的变化趋势,CONTAG 减少最多(-1.9665);LPI、LSI、DIVISION 和 SHDI 逐渐增加。说明西安市城市的扩展,导致斑块优势度增加,小而分散的斑块转换为大而集中的斑块,同时不规则程度增加,道路、居民点等景观的增加导致景观内部各斑块间连通性总体下降,破碎化程度增加(表 5)。

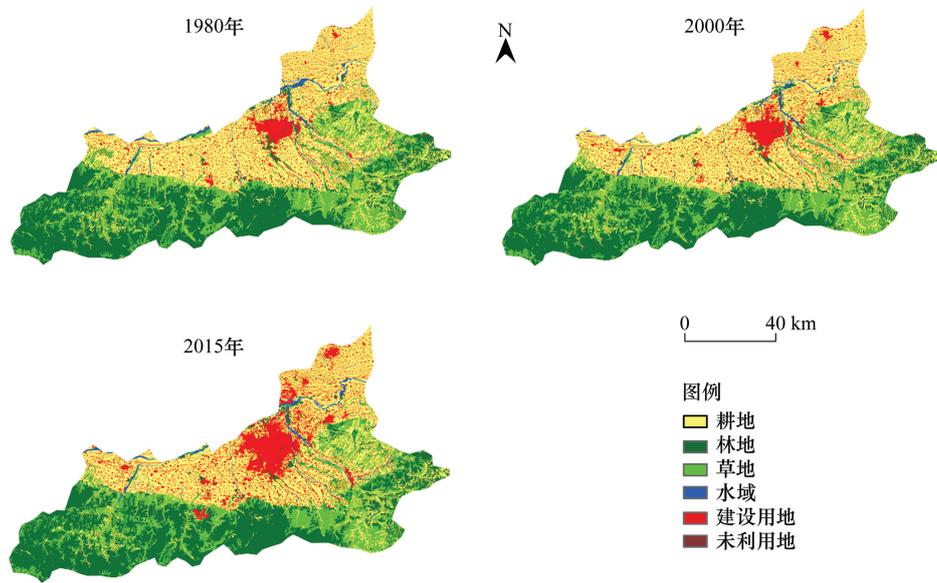


图3 西安市土地利用变化图

Fig.3 Land use change map of Xi'an

表4 研究区1980—2015年土地利用/土地覆被转移矩阵/km<sup>2</sup>

Table 4 Land use/land cover transfer matrix in the study area from 1980 to 2015

1980	2015					
	耕地 Cropland	林地 Forestland	草地 Grassland	水域 Water	建设用地 Construction land	未利用地 Unused land
耕地 Cropland	3385.80	26.12	46.89	20.88	508.24	0.12
林地 Forestland	11.79	3034.78	15.21	3.69	54.80	0.78
草地 Grassland	117.00	87.72	1963.56	5.56	16.68	0.85
水域 Water	23.52	4.68	5.88	106.80	2.94	0
建设用地 Construction land	24.57	1.24	2.13	0.50	692.09	0
未利用地 Unused land	0.003	0.79	0.09	0	0	3.35

表5 西安市1980—2015景观格局指数

Table 5 Landscape patter index in Xi'an City from 1980 to 2015

景观格局指数 Landscape patter index	1980	2000	2015	景观格局指数 Landscape patter index	1980	2000	2015
斑块数量 (NP)	6209	6234	6076	蔓延度指数 (CONTAG)	57.8997	57.6694	55.9332
斑块密度 (PD)	0.6098	0.6123	0.5967	结合度指数 (COHESION)	99.7393	99.7378	99.7099
最大斑块指数 (LPI)	10.9046	10.8693	11.0174	景观分割度 (DIVISION)	0.9585	0.9592	0.9646
景观形状指数 (LSI)	67.0518	67.9797	69.9851	多样性指数 (SHDI)	1.3112	1.3176	1.3745

## 2.2 土地利用与景观格局梯度变化

图4显示了1980—2015年沿城乡梯度的土地利用类型百分比。结果表明,距市中心距离越近,建设用地比例越高,从时间上看各年增加的比例逐渐加大。从市中心至25 km处耕地比例逐渐增加,之后则逐渐减少,林地呈相反变化趋势。其他土地利用类型的面积沿梯度变化趋势不明显。土地利用梯度的空间变化可以认为是从人为景观向自然景观的过渡,土地利用的梯度特征表明,由于土地开发的高强度,人类活动显著改变了土地利用格局,尤其是在城市地区。

PD、ED、LPI、DIVISION、SHDI和AI的结果表明(图5),在距市中心10 km左右有一个明显的变化拐点,

且随时间增加拐点逐渐后移。该处 PD、ED 和 DIVISION 景观指数最大,由于市区边缘的区域受到与城市扩张相关的开发和建设活动的显著影响,城市边缘区包含更多的破碎化斑块。SHAPE\_MN 和 FRAC\_MN 在距市中心 15 km 处最低,与土地利用图比较发现,缓冲区(宽度 15 km)主要以耕地为主,该处耕地斑块的形状和边缘简单而规则。SHDI 逐渐增加而 COHESION、AI 和 CONTAG 逐渐减小,说明远离市区景观变得丰富多样性增加,而斑块集聚程度和连通性下降。

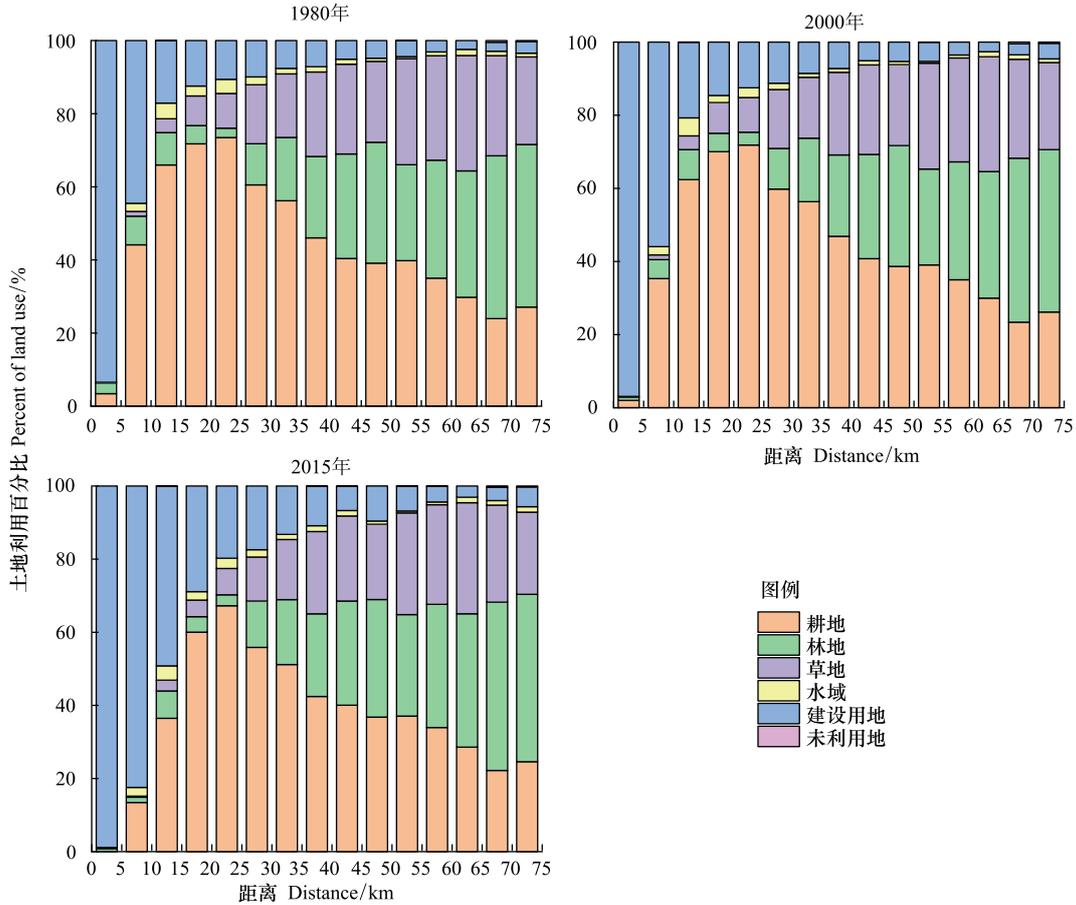


图 4 1980—2015 年土地利用沿城乡梯度变化

Fig.4 Land use change along urban-rural gradient from 1980 to 2015

### 2.3 不同景观的生态系统服务功能价值分析

依据西安市 3 期土地利用数据,结合生态服务价值系数(表 3),估算西安市景观格局改变引起的 ESV 变化(图 6,表 6)。结果表明:1980—2015 年,西安地区总生态服务价值减少了 9.56 亿元,耕地和草地的 ESV 都呈逐年减少趋势,耕地减少最多为 6.83 亿元,建设用地的 ESV 呈增加趋势。林地是提供生态系统服务的主要土地类型,其次是耕地;各项生态服务功能中最突出的功能是土壤保持功能,气体调节最低。1980—2015 年随着景观格局的演变,各项生态服务功能的价值均呈现波动减少趋势,废物处理功能减少最多为 6.01%。

### 2.4 生态系统服务价值沿城乡梯度的变化

城市化在时间和空间尺度上对 ESV 都会造成影响,构建同心圆缓冲区来探讨 ESV 沿城乡梯度的变化特征。由于缓冲区面积大小不同,分析时采用各缓冲区 ESV 平均值。结果表明缓冲区总 ESV 均值在  $0.19 \times 10^6$ — $3.54 \times 10^6$  元/ $\text{km}^2$  之间,呈现从市中心到农村递增的趋势(图 7),生态足迹随着距离市中心距离的增加而逐渐增加,较高的生态景观主要分布在植被较多、人类活动较少的自然景观区域,且由于城市化的影响时间上 ESV 均值呈现逐年减少现象。沿城乡梯度,土壤保持的 ESV 增长最快,气体调节的 ESV 最低。水源涵养的

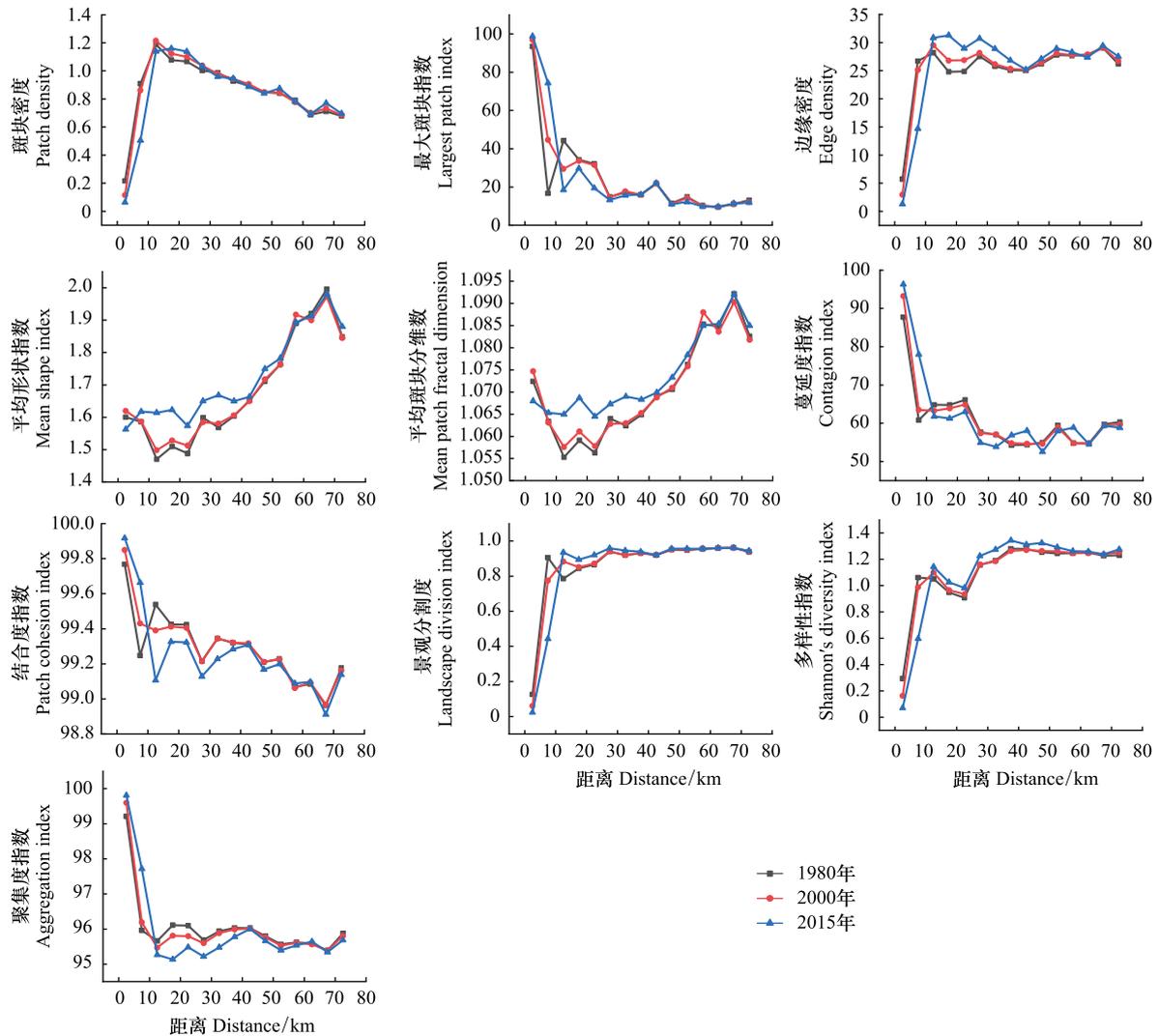


图5 1980—2015 年景观指数沿城乡梯度分布  
Fig.5 Landscape index distribution along urban-rural gradient from 1980 to 2015

ESV 在距离市中心 15 至 20 公里之间达到峰值点,并随时间逐渐后移(图 7)。结合土地利用图,水体主要分布在该区域内,是水源涵养 ESV 的主要影响因素。

表 6 1980—2015 年西安市生态服务价值及其变化/(亿元/a)

Table 6 The value of ecological services in Xi'an and its changes from 1980 to 2015

景观类型 Landscape type	1980	2000	2015	1980—2000	2000—2015	1980—2015
耕地 Cultivated field	64.02	63.39	57.19	-0.63	-6.20	-6.83
林地 Forest land	158.79	158.26	160.53	-0.53	2.26	1.74
草地 Grassland	60.21	59.41	55.88	-0.80	-3.53	-4.33
水域 Water area	16.79	13.89	16.04	-2.89	2.15	-0.75
建设用地 Construction land	0.8	0.91	1.41	0.11	0.50	0.61
未利用地 Unused land	0.005	0.005	0.006	0	0.001	0.001
总计 Total	300.61	295.87	291.05	-2.23	1.06	-9.56

### 2.5 景观指数与生态系统服务价值的响应关系

利用皮尔逊相关系数分析 ESV 指标以及景观指数因子之间的相关性(表 7)。结果表明,SHDI 与各类型 ESV 之间存在显著的相关关系,其中水源涵养与 SHDI 的相关性最高(0.847),其次是总 ESV 与 SHDI 的相关

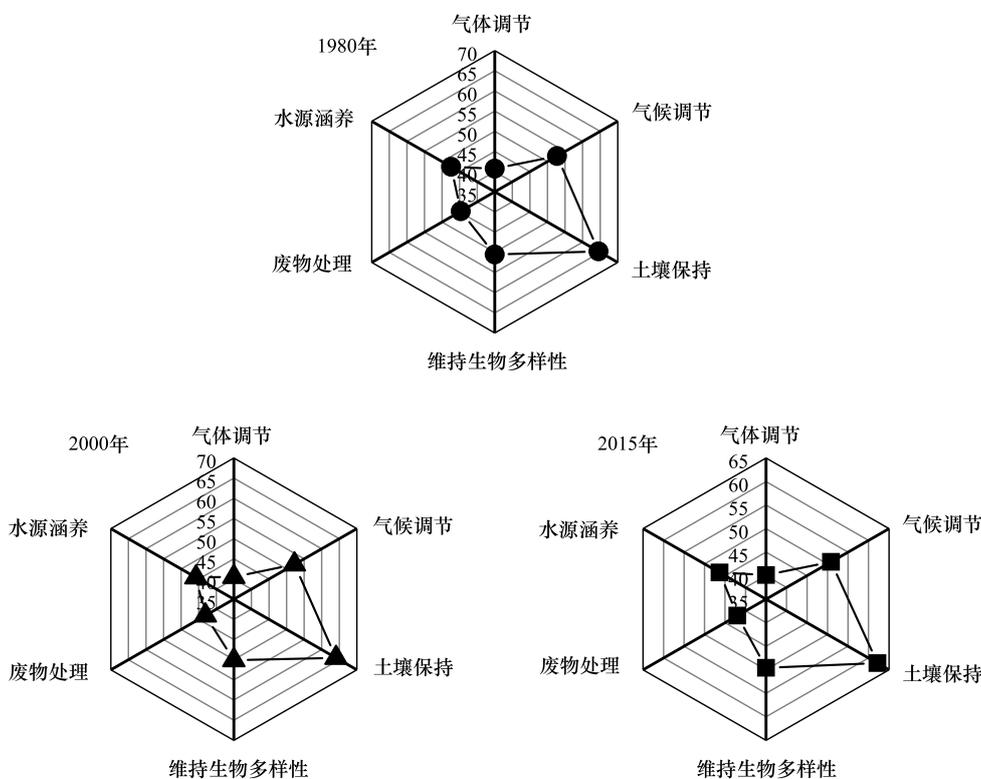


图 6 1980—2015 年西安市各服务功能生态价值量

Fig.6 Ecosystem values of different functions in Xi'an from 1980 to 2015

性(0.814)。此外,废物处理与 CONTAG 之间也存在显著的相关性(-0.810),LPI 与不同类型的 ESV 呈高度负相关,FRAC\_MN 与各类型 ESV 的相关性较差。减少建设用地斑块集中化、集聚化的发展,调节各类型用地均衡发展,提高斑块多样性会增加生态系统服务价值。

表 7 景观指数与各项生态系统服务价值的相关性分析

Table 7 Correlation between landscape metrics and ecosystem services values

景观指数 Landscape index	PD	LPI	ED	SHAPE_MN	FRAC_MN	CONTAG	COHESION	DIVISION	SHDI	AI
气体调节 Gas regulation	0.189	-0.680 **	0.444	0.580 *	0.511	-0.702 **	-0.595 *	0.621 *	0.769 **	-0.476
气候调节 Climate regulation	0.257	-0.696 **	0.475	0.504	0.431	-0.726 **	-0.580 *	0.645 **	0.784 **	-0.506
土壤保持 Soil conservation	0.301	-0.711 **	0.501	0.466	0.390	-0.746 **	-0.583 *	0.665 **	0.796 **	-0.530 *
水源涵养 Water conservation	0.398	-0.764 **	0.575 *	0.434	0.343	-0.800 **	-0.643 **	0.731 **	0.847 **	-0.600 *
废物处理 Waste disposal	0.620 *	-0.745 **	0.646 **	0.115	0.018	-0.810 **	-0.548 *	0.749 **	0.806 **	-0.662 **
维持生物多样性 Maintain biodiversity	0.256	-0.696 **	0.476	0.508	0.431	-0.729 **	-0.586 *	0.647 **	0.789 **	-0.506
总价值 Total value	0.334	-0.728 **	0.525 *	0.453	0.372	-0.765 **	-0.600 *	0.686 **	0.814 **	-0.553 *

\*\* . 在 0.01 水平(双侧)上显著相关; \* . 在 0.05 水平(双侧)上显著相关

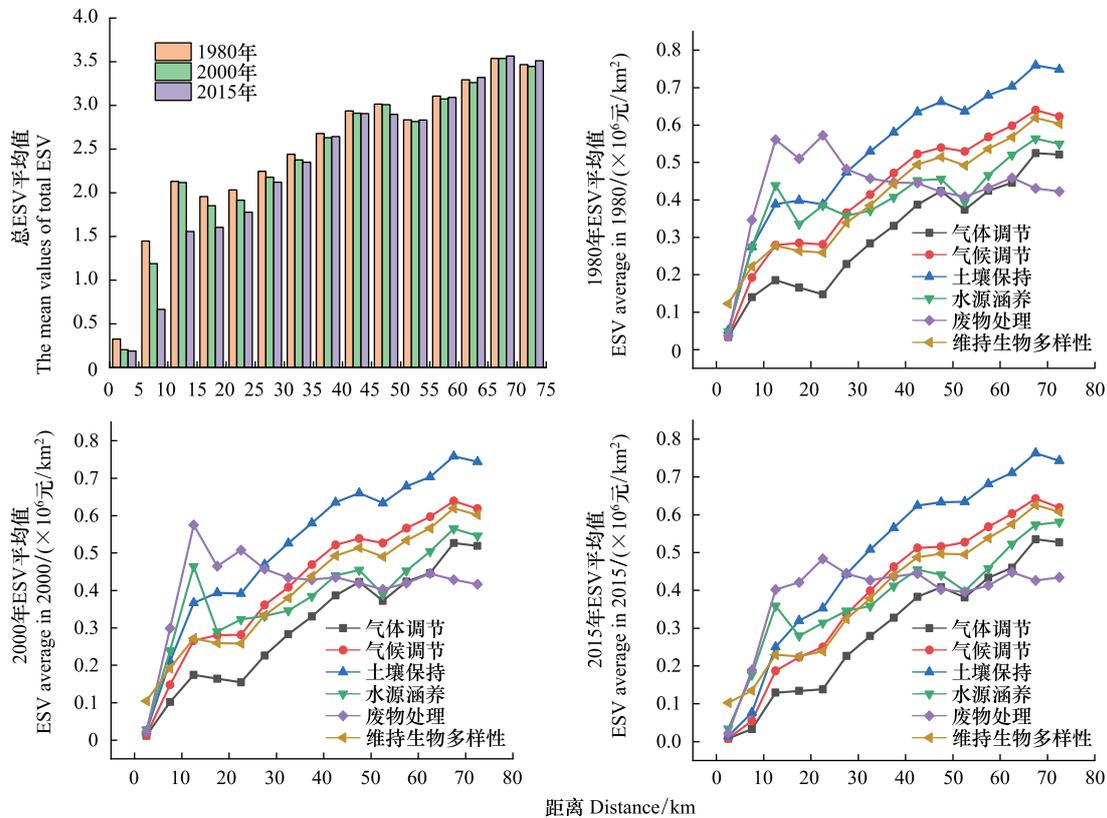


图7 1980—2015年总ESV和不同类型ESV平均值的梯度变化

Fig.7 The gradient change of the mean values of total ESV from 1980 to 2015, Gradient change of the mean value of ESV of different types from 1980 to 2015

### 3 讨论

#### 3.1 城市化发展对生态系统服务价值的影响

程琳<sup>[29]</sup>对中国超大城市ESV研究发现,1995—2008年间城市的土地利用及ESV动态演变之间存在差异;王丽群<sup>[9]</sup>对北京边缘地区牛栏山—马坡镇ESV变化进行分析,发现随着经济的发展,ESV呈现增加趋势;而王佼佼<sup>[30]</sup>对北京市顺义区2000—2008年ESV变化的研究发现,由于城市化发展,建设用地通过占用耕地、水域等面积不断增加而使得ESV降低;说明研究区域不同,城市内部政策导向和经济发展方式间存在差异,对ESV带来的影响不尽相同。西安市1980—2015年经济逐步发展,耕地、林地和草地不断向建设用地转换,城市扩张导致ESV逐渐降低。西安市ESV降低的主要原因包括:(1)土地面积占比最高的耕地面积逐年减少,减少量425.37 km<sup>2</sup>,大部分转化为建设用地,而建设用地生态价值系数低;(2)城市建筑景观的扩张与蔓延、主要交通干线的建设和延伸加剧了西安市景观破碎度,对各景观类型之间的养分循环带来影响,导致生态系统服务中的占比较高的土壤保持与气候调节功能降低;(3)工业发展排放大量污染物到水、大气和土壤中以及城市中硬化路面的增加,导致植被覆盖率的降低及水文循环的改变,使废物处理等能力显著下降。因此在西安市城市建设中要对耕地实行特殊的保护政策,严格控制建设用地的比例,减少建设用地斑块集中化、集聚化的发展,调节各类型用地均衡发展,同时提高城市绿化率,增加在生态服务中占主导作用的林地面积,提高林地斑块多样性以改善生态环境,提高生态系统服务价值。

#### 3.2 景观格局与生态系统服务价值的关系

景观格局改变影响生态系统物质循环和能量流动过程,并通过与生物及非生物过程的相互作用,最终导

致区域生态系统服务价值量的变化<sup>[31]</sup>。顾泽贤等<sup>[32]</sup>分析了澜沧县 ESV 与景观格局的关系,发现 ESV 与 PD、DIVISION、SHDI 等呈负相关,与 LPI、CONTAG、AI 均呈现正相关。张明阳等<sup>[33]</sup>以桂西北典型喀斯特区为例,研究景观格局变化对 ESV 的影响,得出 ESV 与 LPI、CONTAG 呈正相关,与 DIVISION、SHDI 负相关,ESV 随着斑块破碎与分离的增加而减少,随着连通度的增强而增加。岑晓腾<sup>[34]</sup>分析了杭州湾南岸区域 ESV 与景观格局的关系,发现土地利用越丰富、景观越破碎化、多样性程度越高有利于提高整体服务价值。本研究发现 ESV 与 SHDI 和 PD 呈正相关,与 CONTAG 呈负相关,该结果与岑晓腾一致。主要是由于西安市城市景观的集聚发展,斑块类型单一引起,故在城市规划中增加景观的多样性,调节各类土地均衡发展从而提高城市生态系统的价值。

### 3.3 城乡梯度下城市景观变化

城乡交错带,是由社会、经济、文化等多种因素综合作用所形成的城市与乡村的过渡区域<sup>[35]</sup>,景观格局的变化揭示了城市发展和人类活动的空间趋势,探索城乡关系及其景观格局是理解中国社会经济转型的关键<sup>[36]</sup>。本研究以同心圆理论为基础,沿城乡梯度对景观格局与 ESV 的关系进行了研究,但是景观指数和 ESV 梯度分析在刻画多中心城市、逆城市化等复杂的城市形态和发展趋势方面存在局限性。空间尺度也是显著影响生态系统服务及其价值的重要因素<sup>[37-38]</sup>,因此在城市地区采用更精细的分辨率数据将有助于对景观变化的研究,如何建立更加完善的分析方法也是今后的研究重点。

## 4 结论

(1)1980—2015 年西安市各景观类型面积发生显著变化。35 年间耕地、草地面积逐渐减少,建设用地面积波动增加,主要来源于优势景观耕地的转化;受城市的扩张以及人类活动的干扰,景观格局发生显著变化,斑块优势度增加,同时不规则程度和破碎化加剧,各斑块类型的面积比重更加均衡,趋于均匀分布。

(2)沿城乡梯度,距市中心距离越近,建设用地比例越高,且各年增加的比例逐渐加大。景观高度异质性主要出现在距市中心 10 km 的城市边缘区,且随时间增加,拐点逐渐后移,表明城市化范围扩大。

(3)1980—2015 年,西安地区总生态服务价值减少了 9.56 亿元,耕地减少最多(6.83 亿元),林地是提供生态系统服务的主要土地类型。沿城乡梯度,总 ESV 均值呈现从市中心到农村递增的趋势,土壤保持的 ESV 增长最快,时间上 ESV 均值呈现逐年减少现象。

(4)从景观格局对 ESV 影响分析得知,SHDI 与各类型 ESV 之间存在显著的相关关系,LPI 与不同类型的 ESV 呈高度负相关。减少建设用地斑块集中化、集聚化的发展,调节各类型用地均衡发展,提高林地斑块多样性会增加生态系统服务价值。

### 参考文献 (References):

- [ 1 ] 郭娅琦. 城市化进程对城市生态环境的影响研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2007.
- [ 2 ] 邓伟志. 社会学辞典. 上海: 上海辞书出版社, 2009.
- [ 3 ] 张桂文. 中国城镇化进程中“农村病”和“城市病”及其治理. 辽宁大学学报: 哲学社会科学版, 2014, 42(3): 17-24.
- [ 4 ] Su S L, Xiao R, Jiang Z L, Zhang Y. Characterizing landscape pattern and ecosystem service value changes for urbanization impacts at an eco-regional scale. *Applied Geography*, 2012, 34: 295-305.
- [ 5 ] 谢高地, 鲁春霞, 成升魁. 全球生态系统服务价值评估研究进展. *资源科学*, 2001, 23(6): 5-9.
- [ 6 ] Costanza R, d'Arge R, de Groot R, Farber S, Grasso M, Hannon B, Limburg K, Naeem S, O'Neill R V, Paruelo J, Raskin R G, Sutton P, van den Belt M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 1997, 387(6630): 253-260.
- [ 7 ] 李全, 李腾, 杨明正, 应玮. 基于梯度分析的武汉市生态系统服务价值时空分异特征. *生态学报*, 2017, 37(6): 2118-2125.
- [ 8 ] 谢高地, 鲁春霞, 肖玉, 郑度. 青藏高原高寒草地生态系统服务价值评估. *山地学报*, 2003, 21(1): 50-55.
- [ 9 ] 王丽群, 张志强, 李格, 马丰伟, 陈立欣. 北京边缘地区景观格局变化及对生态系统服务的影响评价——以牛栏山-马坡镇为例. *生态学报*, 2018, 38(3): 750-759.
- [ 10 ] Burgess E W. The growth of the city: an introduction to a research project//Marzluff J M, Shulenberg E, Endlicher W, Alberti M, Bradley G,

- Ryan C, eds. *Urban Ecology*. Boston: Springer, 2008.
- [11] Lin T, Sun C G, Li X H, Zhao Q J, Zhang G Q, Ge R B, Ye H, Huang N, Yin K. Spatial pattern of urban functional landscapes along an urban-rural gradient: a case study in Xiamen City, China. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2016, 46: 22-30.
- [12] Hahs A K, McDonnell M J. Selecting independent measures to quantify Melbourne's urban-rural gradient. *Landscape and Urban Planning*, 2006, 78(4): 435-448.
- [13] Yang Y Y, Liu Y S, Li Y R, Du G M. Quantifying spatio-temporal patterns of urban expansion in Beijing during 1985-2013 with rural-urban development transformation. *Land Use Policy*, 2018, 74: 220-230.
- [14] Diaz-Palacios-Sisternes S, Ayuga F, Garcia A I. A method for detecting and describing land use transformations: an examination of Madrid's southern urban-rural gradient between 1990 and 2006. *Cities*, 2014, 40: 99-110.
- [15] Lin T, Grimm N B. Comparative study of urban ecology development in the U.S. and China: opportunity and challenge. *Urban Ecosystems*, 2015, 18(2): 599-611.
- [16] 韦薇,张银龙,赵兵,王浩.快速城市化进程中城市扩张对景观格局分异特征的影响. *生态环境学报*, 2011, 20(1): 7-12.
- [17] 潘竟虎,苏有才,黄永生,刘晓.近30年玉门市土地利用与景观格局变化及其驱动力. *地理研究*, 2012, 31(9): 1631-1639.
- [18] 阳文锐.北京城市景观格局时空变化及驱动力. *生态学报*, 2015, 35(13): 4357-4366.
- [19] Lee Y C, Ahern J, Yeh C T. Ecosystem services in peri-urban landscapes: the effects of agricultural landscape change on ecosystem services in Taiwan's western coastal plain. *Landscape and Urban Planning*, 2015, 139: 137-148.
- [20] 李涛,甘德欣,杨知建,王宽,齐增湘,李晖,陈希.土地利用变化影响下洞庭湖地区生态系统服务价值的时空演变. *应用生态学报*, 2016, 27(12): 3787-3796.
- [21] 刘桂林,张落成,张倩.长三角地区土地利用时空变化对生态系统服务价值的影响. *生态学报* 2014, 34(12): 3311-3319.
- [22] 王云,周忠学.城市化对都市农业景观的影响——以西安市长安区为例. *中国生态农业学报*, 2014, 22(5): 610-617.
- [23] 宋晓媚,周忠学,王明.城市化过程中都市农业景观变化及其生态安全评价——以西安市为例. *冰川冻土*, 2015, 37(3): 835-844.
- [24] 程旭,杨海娟.城市扩张对大城市周边基本农田的影响——以西安市长安区为例. *中国农业资源与区划*, 2017, 38(8): 25-34.
- [25] Turner M G, Gardner R H. *Quantitative Methods in Landscape Ecology*. New York: Springer, 1991.
- [26] 谢高地,张彩霞,张雷明,陈文辉,李士美.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. *自然资源学报*, 2015, 30(8): 1243-1254.
- [27] 胡忠秀,周忠学.西安市绿地生态系统服务功能测算及其空间格局研究. *干旱区地理*, 2013, 36(5): 913-921.
- [28] 李梦桃,周忠学.西安市城市景观的正负生态系统服务测算及空间格局. *地理学报*, 2016, 71(7): 1215-1230.
- [29] 程琳,李锋,邓华锋.中国超大城市土地利用状况及其生态系统服务动态演变. *生态学报*, 2011, 31(20): 6194-6203.
- [30] 王佼佼,胡业翠,吕小龙,郑新奇.基于土地利用变化的北京市生态系统服务价值研究. *中国农学通报*, 2012, 28(32): 229-236.
- [31] 周忠学.城市化背景下农业景观变化对生态服务影响——以西安都市圈为例. *干旱区地理*, 2015, 38(5): 1004-1013.
- [32] 顾泽贤,赵筱青,高翔宇,谢鹏飞.澜沧县景观格局变化及其生态系统服务价值评价. *生态科学*, 2016, 35(5): 143-153.
- [33] 张明阳,王克林,刘会玉,陈洪松,章春华,岳跃民.桂西北典型喀斯特区生态系统服务价值对景观格局变化的响应. *应用生态学报*, 2010, 21(5): 1174-1179.
- [34] 岑晓腾.土地利用景观格局与生态系统服务价值的关联分析及优化研究[D].杭州:浙江大学,2016.
- [35] 陈佑启.城乡交错带名辩. *地理学与国土研究*, 1995, (1): 47-52.
- [36] Tang W S, Chung H. Urban-rural transition in China: beyond the desakota model//Li S M, Tang W S, eds. *China's Regions, Polity and Economy: A Study of Spatial Transformation in the Post-Reform Era*. Hong Kong, China: The Chinese University of Hong Kong Press, 2000: 275-308.
- [37] Konarska K M, Sutton P C, Castellon M. Evaluating scale dependence of ecosystem service valuation: a comparison of NOAA-AVHRR and Landsat TM datasets. *Ecological Economics*, 2002, 41(3): 491-507.
- [38] Li T H, Li W K, Qian Z H. Variations in ecosystem service value in response to land use changes in Shenzhen. *Ecological Economics*, 2010, 69(7): 1427-1435.