

太原城市群三生空间时空演变特征及功能

刘海龙^{1,2}, 王跃飞¹, 谢亚林¹, 呼旭红¹, 刘美彤¹, 李曼^{1,2}

(1. 山西师范大学 地理科学学院, 山西 临汾 041000; 2. 山西师范大学 人文地理研究所, 山西 临汾 041000)

摘要: [目的] 研究太原城市群三生空间时空演变和功能测度, 为研究区生态文明建设的政策制定提供科学依据。[方法] 基于太原城市群 2000, 2005, 2010, 2018 年的 4 期土地利用类型数据及经济数据, 运用三生空间功能测度模型和空间异质性评价方法, 采用 ArcGIS 10. 4. 1 将土地利用类型按其功能重分类。[结果] ①太原城市群生产空间主要位于东南部太原盆地粮食主产区, 由东南部向四周辐射扩张, 2018 年功能性较强的县市有清徐县(2. 09)、小店区(1. 96)。②研究区生活空间主要集中在东部太原市主城区, 并不断向南扩张, 呈现总体分散而区域集中的趋势, 2018 年功能性较强的县市有小店区(1. 89)、迎泽区(1. 81)、尖草坪区(1. 78)等。③研究区生态空间呈现西北高、东南低的格局, 2018 年功能性较强的县市有交城县(4. 34)等, 主要集中于吕梁山区生态保护区和采煤植被恢复区。[结论] 太原城市群三生空间时空格局和功能测度基本一致, 遵循大都市区核心—边缘发展模式, 并与土地潜力分布基本相符。

关键词: 三生空间; 功能测度; 生态文明; 太原城市群

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2020)05-0310-09

中图分类号: K902

文献参数: 刘海龙, 王跃飞, 谢亚林, 等. 太原城市群三生空间时空演变特征及功能[J]. 水土保持通报, 2020, 40(5): 310-318. DOI: 10. 13961/j. cnki. stbctb. 2020. 05. 044; Liu Hailong, Wang Yuefei, Xie Yalin, et al. Characteristics and functions of spatiotemporal evolution of production-living-ecological space in Taiyuan urban agglomeration region [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2020, 40(5): 310-318.

Characteristics and Functions of Spatiotemporal Evolution of Production-living-ecological Space in Taiyuan Urban Agglomeration Region

Liu Hailong^{1,2}, Wang Yuefei¹, Xie Yalin¹, Hu Xuhong¹, Liu Meitong¹, Li Man^{1,2}

(1. School of Geography and Environmental Science, Shanxi Normal University, Linfen, Shanxi

041000, China; 2. Institute of Human Geography, Shanxi Normal University, Linfen, Shanxi 041000, China)

Abstract: [Objective] The spatiotemporal evolution and function measurement of the production-living-ecological space of Taiyuan urban agglomeration region were studied to provide a scientific basis for the policy formulation of the ecological civilization construction in the research area. [Methods] Based on land-use type data and economic data of Taiyuan urban agglomeration region for 2000, 2005, 2010, and 2018, ArcGIS 10. 4. 1 was adopted to reclassify land-use types with respect to their functions. This was coupled with the production-living-ecological space function-measurement model and spatial heterogeneity evaluation method. [Results] ① The grain production area located in the southeast part of Taiyuan basin was the main production space of Taiyuan urban agglomeration region, which radiated and expanded from the southeast towards the surroundings. The counties with a comparatively strong function with respect to production space in 2018 included Qingxu County (2. 09) and Xiaodian District (1. 96). ② The living space of the research region was mainly concentrated in the urban area of Taiyuan City in the east and constantly expanded towards the south, with a general trend of decentralization and regional concentration. Counties with a relatively strong function with respect to living space in 2018 included Xiaodian District (1. 89), Yingze District (1. 81), and Jiancaoping District. ③ The ecological space of the research region was high in the northwest and low in the southeast.

收稿日期: 2020-05-15

修回日期: 2020-06-28

资助项目: 山西省哲学社会科学规划项目“省际边界区域产业空间联系及组合模式研究: 以晋陕豫黄河金三角地区为例”(晋规办字[2017]2号); 国家自然科学基金青年项目(41701062)

第一作者: 刘海龙(1983—), 男(汉族), 甘肃正宁县人, 博士, 副教授, 硕士生导师, 主要研究方向为区域生态环境与可持续发展。Email: liuhailong5117@163. com.

Counties with relatively greater ecological space included Jiaocheng County (4.34) among others, which were primarily located within the ecological protection area and coal mining vegetation-restoration area in the Lüliang Mountain region. [Conclusion] The spatiotemporal pattern and function measurement of the production-living-ecological space of Taiyuan urban agglomeration region are consistent with the metropolitan development pattern of core-periphery, which is also consistent with the land potential distribution.

Keywords: production-living-ecological space; function index; ecological civilization; Taiyuan urban agglomeration region

城市作为经济、政治和文化中心,日益推动着社会发展,同时城市发展是人类社会进步的集中体现,也是社会生产力集聚的重要标志。中国城镇化发展已迈向快速成长阶段^[1]。2018年中国常住人口城镇化水平达到59.58%,比世界城镇化平均水平高出4个百分点。目前,中国城市发展处于向城市群转变的重要节点,逐步由行政区单一发展阶段向各级行政区协同发展阶段过渡。《国家新型城镇化规划(2014—2020)》将城市群定位为推动国家新型城镇化的重要经济单元,并提出由城市群主导推动大、中、小城市和小城镇协同发展的目标。而城市群的快速发展会引起人口激增、环境恶化、人地关系不和谐和生产、生活和生态用地矛盾加剧等一系列问题^[2]。对此国家已明确提出“生产空间集约高效、生活空间宜居适度、生态空间山清水秀”的战略,并指出国土空间优化目标和原则为生产的合理和可持续发展,生活上满足物质需求和精神需求,生态上呈现和谐的“三生空间”(生产空间—生活空间—生态空间)发展理念。因此,三生空间的协调发展已成为中国生态文明建设的重要内容之一。

在国外学者研究中,Jun M等^[3]从经济、社会、生态角度对土地功能进行归纳;O'Sullivan L^[4]通过界定土地功能管理,提出将功能性土地管理(FLM)作为可持续性政策的整合途径;Wästfelt A^[5]研究生产土地功能中农场和土地的利用变化和空间格局;Cho S E等^[6]和Pula W等^[7]运用承载力模型研究和评价土地功能构建问题。国内学者则基于不同的地理视角进行研究和讨论,对三生空间分析方法进行划分,主要包括:探究LUCC(土地利用/土地覆盖变化)的中国三生空间分类评价^[8]、时空演化^[9-12]和经济指标^[13],选取国土空间质量评价和承载力体系模型进行适宜性分析^[14-15],研究国土空间优化的城乡交错区及三生用地分类体系结合特征^[16-17],测度三生空间功能耦合协调度,对生产—生活—生态相关性做出评价以及提出协调发展对策^[18],测算三生空间对景观生态风险和生态服务的时空分布影响程度^[19-21]。

梳理相关研究成果得出,三生空间的研究评价主

题主要集中于用地分类体系^[8,13-14],研究尺度多为行政单元^[9,17],而较少关注到经济单元^[11]。在新型城镇化发展中,三生空间对城市群的影响作用逐渐增大,因此亟需深入开展基于城市群的三生空间时空演变格局和发展过程的研究。本文依据三生空间分类评价体系^[8,10],采用ArcGIS 10.4.1将研究区的土地按其功能进行重分类,根据三生空间功能测度模型和空间异质性评价方法,分析太原城市群2000,2005,2010,2018年时空格局演变特征,从而揭示其三生空间格局的发展规律。相关结论可为太原城市群生态文明建设的政策制定提供科学依据。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

太原城市群以“一带一路”^[22]为发展背景,发挥北联俄蒙走廊,南通新亚欧大陆桥,以及连通秦皇岛的煤炭铁路专线的区域优势,已发展成为山西省经济最发达的地区,也是国家重点建设的14个城市群之一。依据《中华人民共和国国民经济和社会发展第十二个五年规划》指出太原城市群包括太原市的古交市、尖草坪区、晋源区、娄烦县、清徐县、万柏林区、小店区、杏花岭区、阳曲县、迎泽区,晋中市的介休市、平遥县、祁县、太谷县、榆次区,吕梁市的交城县、岚县、文水县、孝义市、汾阳市,忻州市的静乐县。研究区位于黄土高原生态脆弱区东部,东南部为太原盆地,西侧为吕梁山区,东侧为太行山区,呈现“中间低、东西高”的地形特征,以温带大陆性气候为主。研究区总面积 $2.08 \times 10^4 \text{ km}^2$,占山西省总面积13.87%。2017年区域GDP为 4.89×10^{11} 元,占山西省GDP的32.11%,常住人口为 8.52×10^6 人,占山西省总人口的23.02%。

1.2 数据来源

文中图件涉及的行政区域边界来源于国家测绘地理信息局基础地理信息中心(<http://ngcc.sbsm.gov.cn/>)1:400万数据,审图号为GS(2016)2556号,地理数据来源于中国科学院资源环境科学数据中

心(<http://www.resdc.cn>),地形数据为 90 m 分辨率 DEM 图,土地利用类型数据为刘纪远团队^[23-24]制作的 1:10 万数据,年份涉及 2000,2005,2010,2018 年共 4 期,空间分辨率为 30 m。具体选取原则为:选择 5 月上旬至 10 月中旬的图像,该时段云量较少,植被生长茂盛,能较好反映土地利用类型^[23]。土地利用类型数据依据最新《土地利用现状分类》GB/T 21010-2017 对土地进行重分类,包括耕地、林地、草地、建设用地、未利用地和水域。社会经济数据来源于《山西省统计年鉴(2001—2018)》以及相应年份的县(市、区)国民经济和社会发展统计公报。

2 研究方法

2.1 三生空间分类指标体系

生产用地指人类初级产品生产活动所需的土地,生活用地指满足人类生存、娱乐、学习和休息的土地,生态用地指具有调节和修复功能并维持生态系统稳定的土地^[8]。为正确处理“生产—生活—生态”的用地关系,并结合三生空间的相关研究^[10],依据研究区内耕地既是农业生产用地,发挥着生产功能,为半生产用地,也是人工生态系统用地,发挥着生态功能,为半生态用地,两者相权,生产功能为主要功能,生态功能应属次要功能;草地的主导功能是生态功能,也承担了部分的农牧生产功能,生态功能为主要功能,生产功能应属次要功能;建设用地为人们生活提供场所,是主要的生活用地;林地、草地、水域和未利用地中的部分土地利用类型,属于完全的生态用地,发挥着重要的生态价值。因此对研究区土地主次功能的强弱特征划分土地等级(见表 1)。

2.2 三生空间功能测度模型

功能指具有内外部联系与关系的特定结构的事物或系统所表现出来的特征和能力^[10]。功能测度是指不仅能保障自身需求,也可以对其他系统支撑和协作能力产生作用^[25]。本文基于三生空间的发展原则^[26],运用功能测度模型^[13]测算太原城市群三生空间功能指数(production-living-ecological functional index, PLEFI),分别计算生产空间功能指数(productional functional index, PFI)、生活空间功能指数(living functional index, LFI)和生态空间功能指数(ecological functional index, EFI)。计算空间功能指数平均值,计算公式为:

$$PLEFI_i = \overline{PFI}_i \times 0.333 + \overline{LFI}_i \times 0.333 + \overline{EFI}_i \times 0.334 \quad (1)$$

式中:PLEFI_i为*i*区域三生空间功能指数;PFI_i为*i*区域生产空间指数; \overline{LFI}_i 为*i*区域生活空间指数;

\overline{EFI}_i 为*i*区域生态空间指数。PLEFI_i越高,城市群功能水平越强;该指数越低,则越弱。

表 1 太原城市群三生空间土地利用分类体系及评分

一级类		二级类		生产用地	生活用地	生态用地
编码	名称	编码	名称			
1	耕地	11	水田	3	0	3
		12	旱地	3	0	3
2	林地	21	有林地	0	0	5
		22	灌木林地	0	0	5
		23	其他林地	0	0	5
3	草地	31	天然草地	1	0	5
		32	人工草地	1	0	1
		33	其他草地	0	0	5
		41	河流水面	0	0	5
4	水域	42	湖泊水面	0	0	5
		43	水库水面	1	0	1
		44	坑塘水面	1	0	1
		45	内陆滩涂	0	0	5
		46	沟渠	1	0	1
		51	城镇用地	0	5	0
5	建设用地	52	农村居民点	0	5	0
		53	其他建设地	3	3	0
6	未利用地	61	沙地	0	0	5
		62	裸地	0	0	5
		63	空闲地	0	0	5

注:评价标准采用 1,3,5 三级赋分法,最高得分 5 分,最低得分 1 分,功能缺失得 0 分^[8]。

太原城市群运用均分法将 PLEFI 划分为 5 类^[27](1.65~1.74 为低值,1.74~1.77 为较低值,1.77~1.83 为中等值,1.83~1.89 为较高值和 1.89~1.95 为高值)。PFI 划分为 5 类(0.40~0.80 为低值,0.80~1.20 为较低值,1.20~1.60 为中等值,1.60~2.00 为较高值和 2.00~2.40 为高值)。LFI 划分为 5 类(0.00~0.40 为低值,0.40~0.80 为较低值,0.80~1.20 为中等值,1.20~1.60 为较高值和 1.60~2.00 为高值)。EFI 划分为 5 类(1.60~2.20 为低值,2.20~2.80 为较低值,2.80~3.40 为中等值,3.40~4.00 为较高值和 4.00~4.60 为高值)。

土地功能之间的协调呈现差异性,为准确判断三生空间的功能测度,本文利用空间自相关测度研究单元和相邻单元之间的集聚趋势,综合分析三生空间的空间集聚特征,通过 Getis-Ord Gi 指数分析研究区县域三生空间的集聚状态^[9],由此探讨三生空间功能性分异和异质性特征,计算公式为:

$$\text{Moran}'a I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x}) / s^2}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij}} \quad (2)$$

$$G_i(d) = \frac{\sum_{j=1}^n W_{ij} x_j / \sum_{j=1}^n x_j}{s} \quad (3)$$

式中: W_{ij} 为要素*i*和*j*之间的空间权重矩阵; x_i 和 x_j 为要素*i*和*j*的属性值; n 为研究区县域数量之和; s 为所有空间权重的聚合。

3 结果与分析

3.1 三生空间时空格局演变

运用ArcGIS 10.4.1中的自然间断点分级法,结合山西省自然资源厅土地利用规划方案^[28],将“三

生”空间划分为缩减、保持和扩张3种类型,进而得出“三生”空间演变格局(见图1)。

3.1.1 生产空间格局演变 以太原城市群生产空间原始30 m分辨率土地利用类型影像为样本,对其重分类并评分(见表1),得出生产空间格局。研究区2000—2018年生产空间(见图1)主要集中在东南部(太原盆地),其余分布于忻定盆地内和太原盆地边界,西北部呈稀疏分布。

研究区生产空间格局演变呈现缩减和扩张范围相对平衡,东南部、南部和东部以缩减为主,西北部和西南部以扩张为主,南部和东部则有少量扩张(见图2a)。

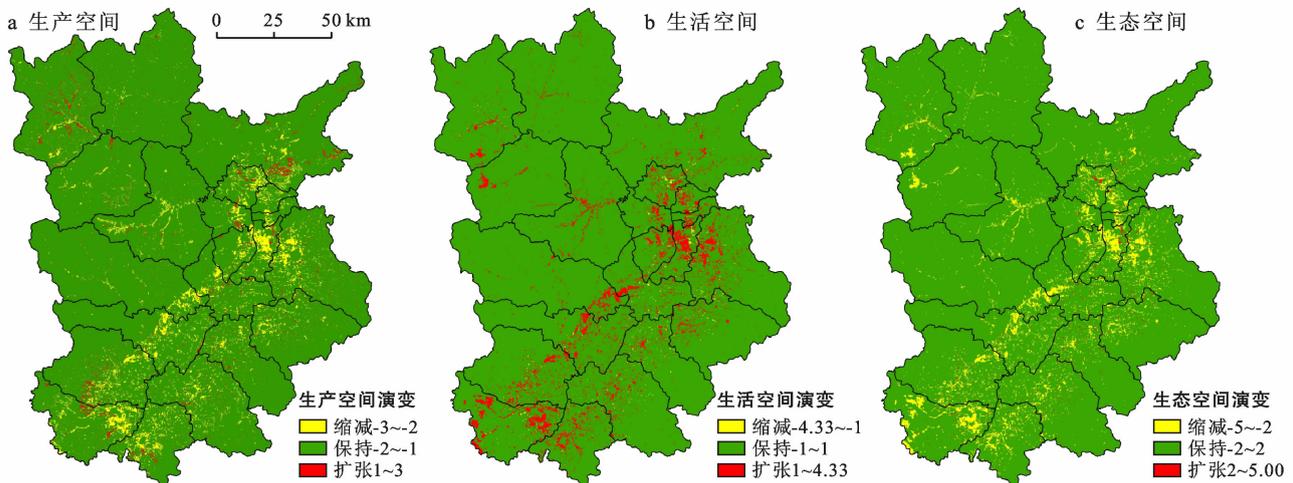


图1 2000—2018年太原城市群“三生”空间格局演变

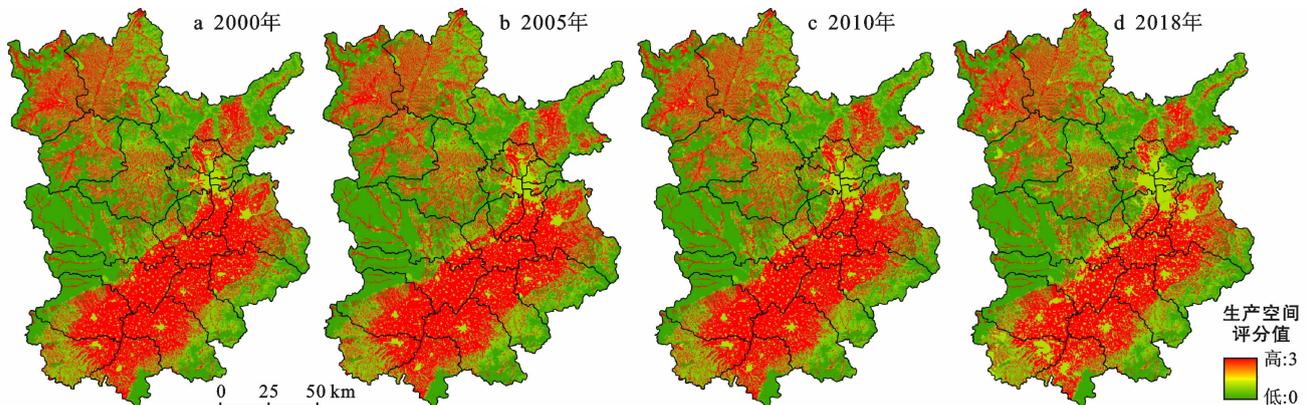


图2 2000—2018年太原城市群生产空间格局

生产空间总面积缩减为49.69 km²,耕地占比较大(年平均缩减0.45%),其余土地利用类型占比小,2000—2010年耕地平均缩减0.19%,究其原因为1999年山西省成为退耕还林还草政策的试点区域,2010—2018年耕地平均缩减0.97%,在此期间,太原城市群建设用地的快速增加,部分耕地被转化为建设用地。土地潜力是土地自然要素相互作用表现出的潜在生产能力,并通过空间结构、自然条件、经济

发展和生态敏感性反映^[29]。本文运用最新农田生产潜力数据^[30]对生产空间土地潜力进行判断。研究区土地潜力表现为东南部(太原盆地)生产潜力最高,北部忻定盆地内和太原盆地边界生产潜力较高,西北部生产潜力较低,西部生产潜力最低,土地潜力分布与生产空间基本相符。生产空间整体呈现西北部和西南部扩张快,东部和东南部缩减快的变化,研究区生产空间发展态势与粮食生产区(太原盆地)基本相同。

3.1.2 生活空间格局演变 太原城市群 2000—2018 年生活空间格局变化明显,呈现东部密集、西部

稀疏的格局,且变化为东南部至西北部逐渐减少(见图 3)。

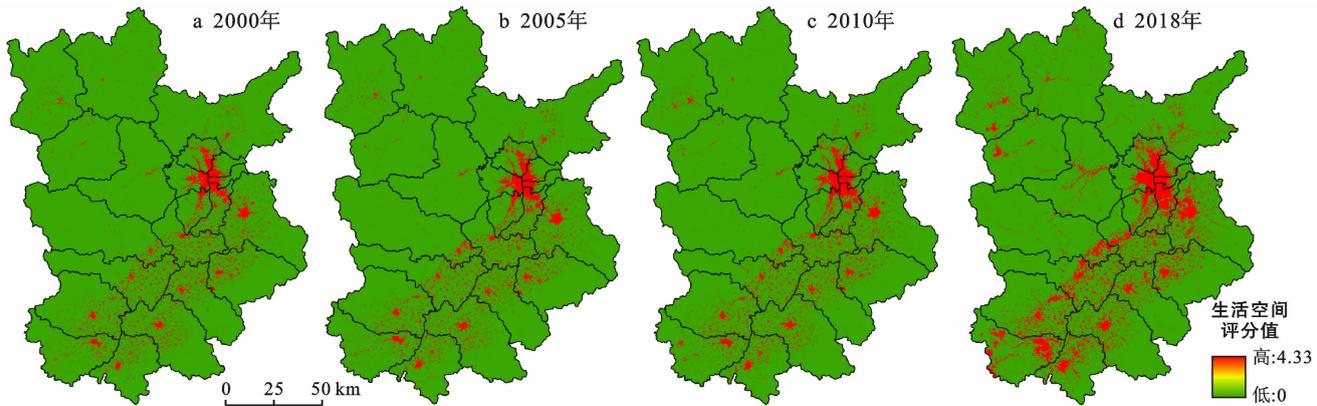


图 3 2000—2018 年太原城市群生活空间格局

生活空间集中于社会经济发展快速的太原市主城区(杏花岭区、万柏林区、晋源区、小店区、迎泽区和杏花岭区)。研究区生活空间格局演变呈现扩张趋势(见图 1b),主要集中于东部。2000—2018 年生活空间用地范围增大(年平均扩张 4.23%),总面积增幅为 967.95 km²,建设用地为生活空间演变主要影响因素,其中,2000—2010 年生活空间用地平均扩张 1.29%,2000—2010 年 GDP 由 5.00×10¹⁰ 元增加到 2.30×10¹¹ 元,2010—2018 年生活空间用地平均扩张 10.10%,2010—2018 年 GDP 由 2.30×10¹¹ 元增加到 4.89×10¹¹ 元,特别是 2012 年太原市主城区建设速度加快导致生活空间扩张明显。生活空间扩张东部最快,因城市开发较早,且基础设施和城区发展建设投入最多。生活空间东南部扩张较快,增长的地区为贫困地区和工业发展地区,随着贫困问题的逐步解决和

工业化的快速发展使人口生活质量提高,从而促进生活空间快速扩张。生活空间西北部、西部和中部扩张较慢,因地形因素(山地)、基础设施建设进程慢、人口稀少和贫困问题的存在仍对发展影响较大。研究区土地潜力呈现东部高,西部低的格局,生活空间以自然条件和人口相关,土地潜力对生活空间影响较低,土地潜力分布与生活空间基本相符。因此,生活空间整体呈现逐年扩张的趋势,但东部和东南部部分地区生活空间内部呈现较小的缩减态势,源自城市生态景观、绿地廊道和游憩公园的修建。

3.1.3 生态空间格局演变 太原城市群 2000—2018 年生态空间格局变化明显(见图 4),主要呈圈层状分布于西部的吕梁山区,东部的太原市主城区生态空间分布最少。生态格局总体呈现西部稠密和东部稀疏的格局。

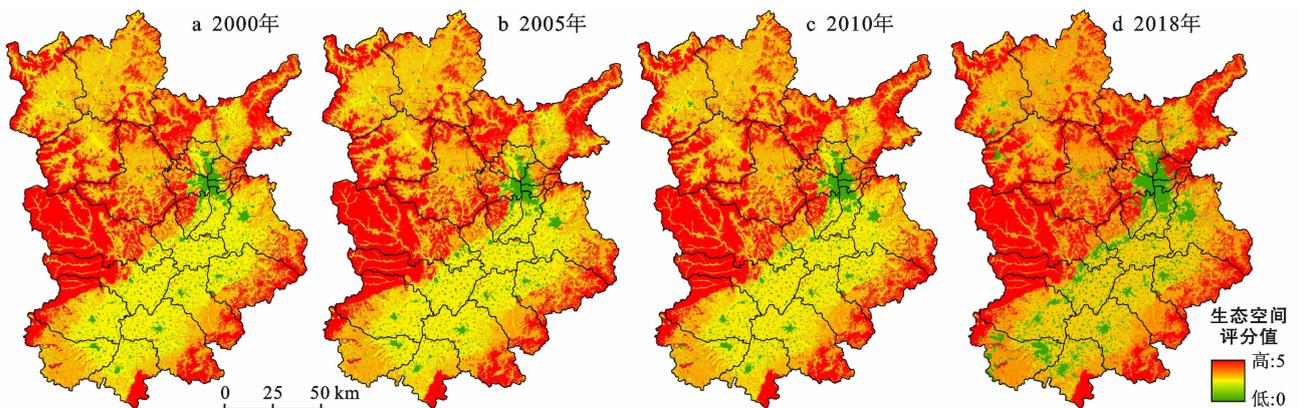


图 4 2000—2018 年太原城市群生态空间格局

生态空间演变格局明显且用地面积整体缩减(见图 1c),研究区东部和南部以缩减为主,总面积缩减为 967.95 km²,但部分地区略有增加。太原城市群处

于干旱与半干旱自然过渡带,林地和草地占比大,耕地占比较大,其余土地利用类型占比小,2000—2018 年研究区林地年平均扩张 0.03%,草地年平均缩减

0.16%,耕地年平均缩减0.45%。其中,2000—2005年林地平均扩张0.006%,草地平均扩张0.04%,在于1999年山西省成为退耕还林还草政策的试点区,且林木生长周期较长,森林覆盖度较低,故林木斑块变幅较小,草地生长较快,斑块明显扩张。研究区2010—2018年林地平均扩张0.09%,草地平均缩减0.57%,山西省在2014年再次推进退耕还林还草政策,林木数量明显增长,同时生态区林地面积不断增长、森林覆盖度提高以及部分草地类别转为林地,但为了满足经济建设的发展需求,部分生态用地变为建设用地,主要集中于东部和东南部。研究区土地潜力呈现西部低潜力,东部高潜力的格局,生态空间突出表现为生态敏感性和自然条件,土地潜力分布与生态空间基本相符。因此,研究区生态空间整体为中部和南部呈缩减趋势,而少部分西部区域呈现扩张趋势。由此可见,研究区在城市化快速发展和生态文明建设的大背景下,需要更加注重生态空间的建设和生态植被的保护。

3.2 三生空间功能评价

3.2.1 三生空间总体测度 因三生空间的发展协调性差异明显,为探索区域三生空间发展规律,进而将景观生态转为区域生态尺度^[31],提高国土空间优化的可操作性,参考中国地域多功能性评价标准^[32],采用县域区划图的方式评价和分析研究区2000—2018

年三生空间功能性与相关性。太原城市群2000—2018年PLEFI发展较为平稳,但PLEFI值有所下降。PLEFI为东部功能性明显偏高,并由东部向四周呈放射状递减趋势,呈现都市区的“核心—边缘”模式(见图5)。2000年总体PLEFI值为1.741,小店区为高值,清徐县为较高值,榆次区、交城县、文水县、汾阳市和平遥县为中等值,尖草坪区、万柏林区、晋源区、太谷县、祁县、孝义市和岚县为较低值,杏花岭区、迎泽区、介休市、阳曲县、静乐县、娄烦县和古交市为低值。2005年总体PLEFI值为1.740,孝义市变为较高值,晋源区和介休市变为中等值,交城县变为低值,其余县市未发生变化。2010年总体PLEFI值为1.739,小店区和清徐县变为较高值,孝义市变为为较低值,万柏林区变为低值,其余县市未发生变化。2018年总体PLEFI值为1.737,各县市未发生变化。通过全局空间自相关莫兰指数检验出研究区PLEFI值空间上具有相关性,呈现正相关。通过局部空间自相关测算,研究区PLEFI值呈现东南部高高聚类、西部部分地区低低聚类、东北部高低聚类的特征,其余地区为不显著。研究区三生空间Getis-Ord Gi指数表明热点主要分布在东南部且为高水平的空间集聚,冷点主要分布在西部、东北部地区,其余区域为不显著地区。通过检验得出研究区三生空间功能性测度高值区主要分布于东南地区。

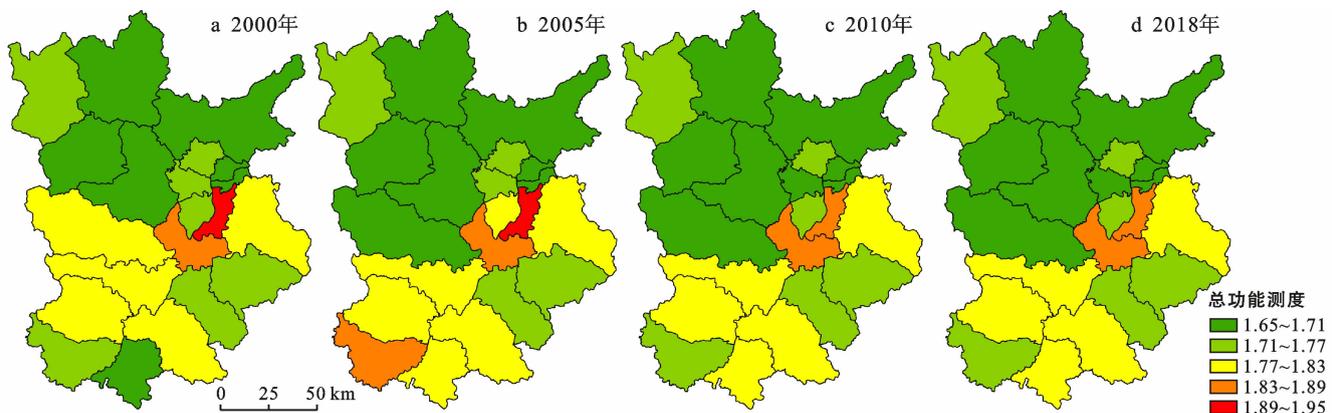


图5 2000—2018年太原城市群三生空间功能性评价

3.2.2 生产空间测度 太原城市群2000—2018年生产空间总体变化较小。2000—2018年PFI内部测度差异大,由东南部向西北部降低,南部地区整体功能性较好,西部地区生产功能性最弱(见图6)。东南部为盆地地形,易于开垦农业,西北部为山地地形,坡度大于25°不宜开垦农田,与此同时,西北部为退耕还林和生态保育的重点监控地区,以植树造林为主。由于生产空间对地形条件要求高,盆地更易农业集聚发

展,形成南部农谷区的集聚。

2000年研究区PFI小店区、清徐县为高值,交城县、汾阳市、平遥县、榆次区、祁县、文水县和汾阳市为较高值,岚县、静乐县、尖草坪区、晋源区、太谷县和孝义市为中等值,阳曲县、娄烦县、古交市、万柏林区、杏花岭区和迎泽区为较低值,介休市为低值。2005年PFI孝义市和介休市变为较高值,交城县变为低值,其余县市未发生变化。2010年PFI孝义市和文水县

变为中等值,其余县市未发生变化。2018 年 PFI 为 1.32,杏花岭区和迎泽区变为低值,其余县市未发生变化。运用全局空间自相关检验,研究区 PFI 值具有相关性,呈现正相关。通过局部空间自相关测算,研究区 PFI 值整体呈现不显著特征。研究区生产空间

Getis-Ord G_i^* 指数表明热点主要分布在东南部且为高水平的空间集聚,冷点主要分布在东北部和中部部分地区且集聚范围扩大,其余区域为不显著地区。通过检验得出研究区生产空间功能性测度高值区主要分布于东南地区。

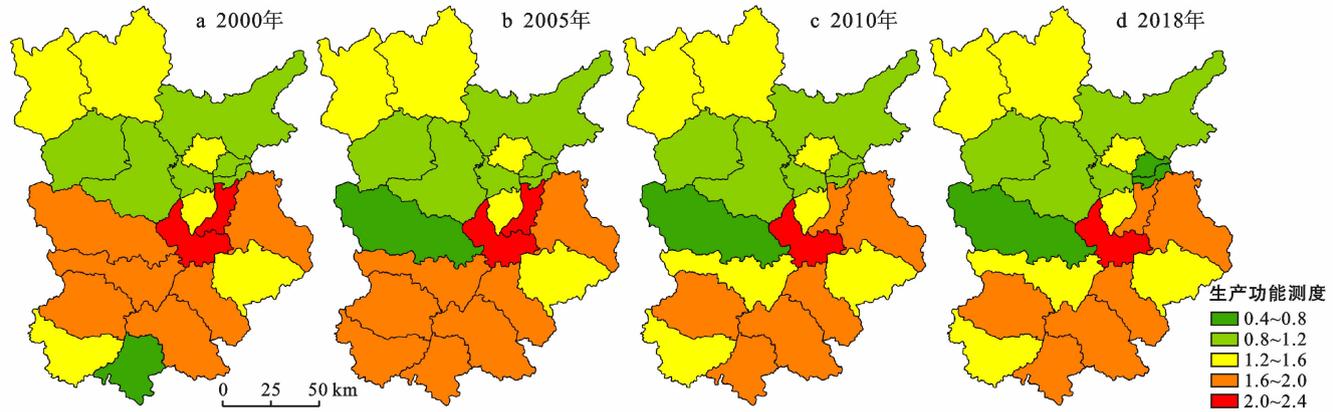


图 6 2000—2018 年太原城市群生产空间功能性评价

3.2.3 生活空间测度 太原城市群 2000—2018 年生活空间总体呈现扩张趋势。2000—2018 年 LFI 逐渐增加,呈现东部集中趋势(见图 7)。

功能测度 LFI 相对较低,西北部为低功能性。东部地区为盆地地形,三面环山、有汾河流经且为省会城市所在地,发展较早,虹吸效应使人口分布呈现集中态势,人口规模高于其他县市,其中小店区、万柏林区、杏花岭区人口较多,人口数量直接影响建设用地需求量。

生活功能持续高的区域主要位于东部,集中在迎泽区、杏花岭区、尖草坪、小店区、万柏林区和晋源区,由东部向西北部降低的趋势,南部和东北部的生活

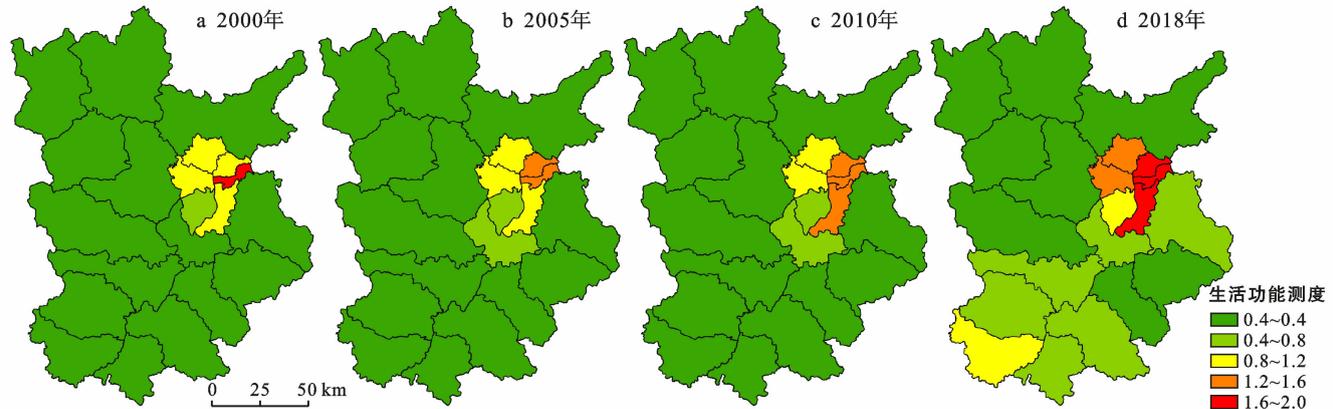


图 7 2000—2018 年太原城市群生活空间功能性评价

因此,2000—2010 年城市发展以迎泽区、小店区、杏花岭区、尖草坪区、晋源区和万柏林区为主,2010—2018 年城市建设加快,城市由老城区向外辐射,南部太谷县、介休市、孝义市等得以发展。以县域尺度对研究区测评,2000 年迎泽区 LFI 值较高,小店区、杏花岭区、尖草坪区和万柏林区为中等值,晋源区为较低值,古交市、娄烦县、清徐县、阳曲县、介休市、平遥县、祁县、太谷县、榆次区、交城县、岚县、文水县、孝义市和静乐县为低值。2005 年 LFI 清徐县变为较

低值,其余县市未发生变化。2010 年 LFI 尖草坪区变为中等值,其余县市未发生变化。2018 年总体 LFI 指数为 0.71,小店区、杏花岭区变为高值,尖草坪区、万柏林区变为较高值,孝义市和晋源区变为中等值,榆次区、清徐县、文水县、汾阳市、介休市、平遥县变为为较低值,其余县市未发生变化。运用全局空间自相关检验,研究区 LFI 值具有相关性,呈现正相关。通过局部空间自相关测算,研究区 LFI 值呈现中部高高聚类、西北部低低聚类的特征,其余地区不显著。研

究区生活空间 Getis-Ord G_i^* 指数表明热点主要以高水平的空间集聚分布在中部且集聚范围不断扩大,冷点主要分布在西北部,其余区域为不显著地区。通过检验得出研究区生活空间功能性测度高值区主要分布于中部地区。

3.2.4 生态空间测度 太原城市群 2000—2018 年生态空间总体呈现缩减趋势。2000—2018 年东部和南部生态空间呈缩减趋势,生态空间由西北部主导。生态功能由西北部地区向东南部地区降低,其中,阳曲县 2000—2018 年保持较高,交城县 2005—2018 年保持最高(见图 8)。研究区南部 EFI 总体较低,东部地区为低。研究区受地形影响,地势中间低、东西高,吕梁山区为生态保护区、娄烦县和阳曲县为生态保育区、古交市为采煤植被恢复区,导致其生态空间发生位移。2000 年研究区 EFI 介休市、阳曲县和娄烦县为高值,太谷县、汾阳市、文水县、古交市、静乐县和岚

县为较高值,孝义市、平遥县、祁县、交城县、榆次区、清徐县、晋源区、万柏林区、迎泽区和杏花岭区为中等值,尖草坪区和小店区为较低值。2005 年 EFI 介休市变为中等值,其余县市未发生变化。2010 年 EFI 各县市未发生变化。2018 年总体 EFI 指数为 3.21,娄烦县变为较高值,汾阳市变为中等值,迎泽区和清徐县变为较低值,小店区变为低值,其余县市未发生变化。运用全局空间自相关检验,研究区 EFI 值具有相关性,呈现正相关。通过局部空间自相关测算,研究区 EFI 值呈现西北高高聚类,中部部分地区低低聚类的特征,其余地区不显著。研究区生态空间 Getis-Ord G_i^* 指数表明热点主要分布在西部且高水平的空间集聚集中在西北部,冷点主要分布在中部部分和东部部分地区,其余区域为不显著地区。通过检验得出研究区生活空间功能性测度高值区主要分布于西部地区。

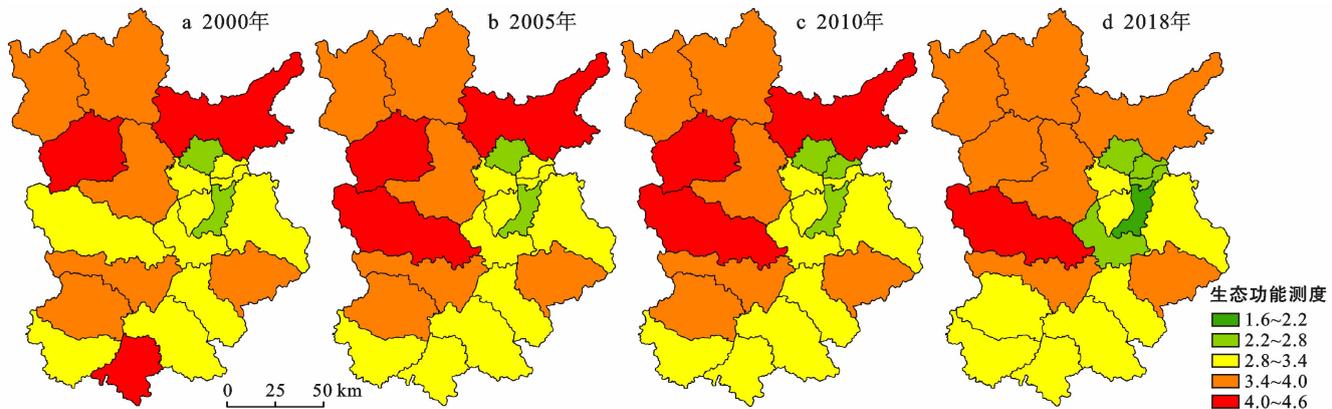


图 8 2000—2018 年太原城市群生态空间功能性评价

4 结论与建议

4.1 结论

本文采用 ArcGIS 10.4.1 将太原城市群的土地按其功能进行重分类,根据三生空间功能测度模型和空间异质性评价等方法,分析太原城市群各时段时空格局演变特征,探究 2000—2018 年太原城市群三生空间总体时空演变格局和区域内部功能性差异。

(1) 太原城市群生产空间格局集中在太原盆地、其余分布于忻定盆地和太原盆地交界处,西北部呈稀疏分布,生活空间格局集中于东部、大部分集中于东南部,生态空间格局集中于西部、东部稀疏,且生产空间、生活空间和生态空间格局与土地潜力分布基本相符。

(2) 研究区三生空间功能测度时间格局未发生明显变化,景观格局内部分布差异明显,县域尺度功

能性差异也明显,呈现东部功能性明显偏高,并由东部向四周呈现放射状递减趋势;生产功能高的区域位于东南部并由东南部向西北部降低,生活功能持续高的区域位于东部且呈现东部向西北部降低,生态功能高的区域位于西北部,功能性由西北部地区向东南部地区降低,三生空间遵循大都市区的“核心—边缘”模式。

(3) 本文通过运用三生空间土地利用分类评价体系,构建功能测度模型,探索太原城市群三生空间格局演变特征和功能。三生空间实质是反映人地关系在空间上的整体性、差异性和综合性,受研究区土地状况影响,结合中国三生空间分类评价对三生空间土地利用分类体系做出相应调整,以符合研究区的土地利用地域状况。为使三生空间分析更精确,评价研究区功能性测度和空间相关性时加入社会经济数据进行探索。经济社会生态发展及区域因素时间尺度

较完整,但空间定量分析仍不充分,今后仍需向微观空间尺度系统完善,并深入分析三生空间分异和异质性特征,判断三生空间功能性驱动因素。

4.2 建议

太原城市群位于黄土高原生态脆弱区,东南部和北部以盆地为主,东西两侧为山脉。因此研究区发展应遵循国土空间规划的三区三线原则,避免过大圈地,要重视区域内部结构合理发展,通过研究区内部土地利用和产业结构优化,以促进三生空间总体协调发展。

(1) 研究区生产空间对地形条件要求较大,平坦的盆地适宜大规模耕种,并且盆地人口聚集对生产空间发展有促进作用。对于生产空间发展,保证永久基本农田不被占用、不被非农产业开发,生产用地要依据地形条件合理发展种植业。运用农业科学技术,依据气候降水条件发展生产,保障基本粮食供应和特色杂粮出口,使生产用地在三生空间中合理使用。

(2) 研究区为区域性城市群,也是重工业和北煤南运的重要纽带。研究区城镇发展呈现以东部为中心的发展趋势,并向南部扩展。对于生活空间发展因避开地质灾害区和断层,落后地区和贫困地区的居民生活基础公共服务设施进行重点投资建设,如廉租房、休闲广场等;中心城市,特别是太原市主城区,要向高质量发展转型,提高金融业和服务业的产业创新水平、城市公园绿地建设规模和文化产业建设质量情况;资源城市要合理布局工业企业与居民生活空间的位置。

(3) 研究区生态空间格局范围最广,要基于生态保护红线,依据东南部地区盆地、东西两侧山脉的地形条件地形,吕梁山区为生态保护区,古交市及其周边为采煤植被恢复区。对于生态空间发展,应坚持生态涵养为主,保证生态用地面积,封山育林,并依据国家每年 3% 植树造林的增长率,因地制宜的植树造林种草。对因发展生态而受损失的县市和乡村的居民进行生态补偿。太原盆地和忻定盆地在发展生产空间和生活空间时,要合理规划生态用地,农业生产要留出生态廊道以保持水土、防止土地盐渍化,城市规划要布局绿地和景观植被公园以提高环境质量。

[参 考 文 献]

- [1] 方创琳. 中国城市发展空间格局优化的总体目标与战略重点[J]. 城市发展研究, 2016, 23(10): 1-9.
- [2] 方创琳, 王振波, 马海涛. 中国城市群形成发育规律的理论认知与地理学贡献[J]. 地理学报, 2018, 73(4): 651-665.
- [3] Jun M. The effects of Portland's urban growth bounda-
- ry on housing prices[J]. Journal of The American Planning Association, 2006, 72(2): 239-243.
- [4] O'Sullivan L, Wall D, Creamer R, et al. Functional Land Management: Bridging the Think-Do-Gap using a multi-stakeholder science policy interface[J]. Ambio, 2018, 47(2): 216-230.
- [5] Wästfelt A, Zhang Qian. Keeping agriculture alive next to the city: The functions of the land tenure regime nearby Gothenburg, Sweden [J]. Land Use Policy, 2018, 78: 447-459.
- [6] Cho S E, Park H C. Effect of spatial variability of cross-correlated soil properties on bearing capacity of strip footing[J]. International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics, 2010, 34(1): 1-26.
- [7] Pula W, Chwala M. Random bearing capacity evaluation of shallow foundations for asymmetrical failure mechanisms with spatial averaging and inclusion of soil self-weight[J]. Computers and Geotechnics, 2018, 101: 176-195.
- [8] 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.
- [9] 崔家兴, 顾江, 孙建伟, 等. 湖北省三生空间格局演化特征分析[J]. 中国土地科学, 2018, 32(8): 67-73.
- [10] 金星星, 陆玉麒, 林金煌, 等. 闽三角城市群生产—生活—生态时空格局演化与功能测度[J]. 生态学报, 2018, 38(12): 4286-4295.
- [11] 徐磊, 董捷, 陈恩. 基于“三生”功能的长江中游城市群国土空间利用协调特征[J]. 水土保持研究, 2018, 25(2): 257-263.
- [12] 万将军, 邓伟, 张少尧, 等. 喀斯特山区国土空间类型划分及其变化特征研究[J]. 生态经济, 2018(10): 184-190.
- [13] 李秋颖, 方创琳, 王少剑. 中国省级国土空间利用质量评价: 基于“三生”空间视角[J]. 地域研究与开发, 2016, 35(5): 163-169.
- [14] 方创琳, 贾克敬, 李广东, 等. 市县土地生态—生产—生活承载力测度指标体系及核算模型解析[J]. 生态学报, 2017, 37(15): 5198-5209.
- [15] 陈晓华, 钱欣. 长江生态经济区城市群综合承载力评价[J]. 统计与决策, 2019(10): 64-66.
- [16] 沈悦, 严金明, 陈昊. 基于“三生”空间优化的城乡交错区土地整治功能单元划定[J]. 农业工程学报, 2018, 34(11): 243-252.
- [17] 丁茜. 基于“三生”空间的国土空间开发利用分析: 以浙江省为例[J]. 中国国土资源经济, 2018, 31(9): 11-18.
- [18] 胡玉玺, 吴晓磊, 马世昌, 等. 湿地“三生”空间耦合的系统动力学模型实证分析: 以西溪国家湿地公园为例[J]. 经济地理, 2018, 38(7): 173-180.

- arid and semiarid areas of China: Achievements, problems, synthesis, and applications [J]. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 2011, 41(4):317-335.
- [28] Cao Shixiong, Chen Li, Shankman D, et al. Excessive reliance on afforestation in China's arid and semi-arid regions: Lessons in ecological restoration [J]. *Earth Science Reviews*, 2011, 104(4):240-245.
- [29] Yang Yuting, Long Di, Guan Huade, et al. GRACE satellite observed hydrological controls on interannual and seasonal variability in surface greenness over mainland Australia [J]. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 2014, 119(12):2245-2260.
- [30] Piao Shilong, Yin Guodong, Tan Jianguang, et al. Detection and attribution of vegetation greening trend in China over the last 30 years [J]. *Global Change Biology*, 2015, 21(4):1601-1609.
- [31] Zhou Decheng, Zhao Shuqing, Liu Shuguang, et al. Spatiotemporal trends of terrestrial vegetation activity along the urban development intensity gradient in China's 32 major cities [J]. *The Science of the Total Environment*, 2014, 488/489:136-145.
- [32] 王园香,唐世浩,郑照军. 1982—2006 年中国 5—9 月的 NDVI 变化与人类活动影响分析 [J]. *地球信息科学学报*, 2015, 17(11):1333-1340.
- [33] Zhang Yao, Peng Changhui, Li Weizhong, et al. Multiple afforestation programs accelerate the greenness in the 'Three North' region of China from 1982 to 2013 [J]. *Ecological Indicators*, 2016, 61:404-412.
- [34] Zeppel M J B, Wilks J V, Lewis J D. Impacts of extreme precipitation and seasonal changes in precipitation on plants [J]. *Biogeosciences*, 2013, 11(11):3083-3093.

(上接第 318 页)

- [19] 刘海龙,谢亚林,贾文毓,等. 山西省生态安全综合评价及时空演化[J]. *经济地理*, 2018, 38(5):161-169.
- [20] 刘海龙,石培基,李生梅,等. 河西走廊生态经济系统协调调度评价及其空间演化[J]. *应用生态学报*, 2014, 25(12):3645-3654.
- [21] 戴文远,江方奇,黄万里,等. 基于“三生空间”的土地利用功能转型及生态服务价值研究:以福州新区为例[J]. *自然资源学报*, 2018, 33(12):2098-2109.
- [22] 张春.“一带一路”倡议与全球治理的新实践[J]. *国际关系研究*, 2017(2):99-112.
- [23] 徐新良,刘纪远,张树文,等. 中国多时期土地利用土地覆被遥感监测数据集(CNLUCC)[DS]. 中国科学院资源环境科学数据中心数据注册与出版系统(<http://www.resdc.cn/DOI>), 2018. DOI:10.12078/2018070201.
- [24] 薛晓玉,王晓云,段含明,等. 基于土地利用变化的祁连山地区生境质量时空演变分析[J]. *水土保持通报*, 2020, 40(2):278-284.
- [25] 陈婧,史培军. 土地利用功能分类探讨[J]. *北京师范大学学报(自然科学版)*, 2005, 41(5):536-540.
- [26] 刘燕. 论“三生空间”的逻辑结构、制衡机制和发展原则[J]. *湖北社会科学*, 2016(3):5-9.
- [27] 杨传明, Gabor Horvath. 时空交互视角下长三角城市群雾霾污染动态关联网络及协同治理研究[J]. *软科学*, 2019, 33(12):114-120.
- [28] 山西省土地利用总体规划(2006—2020 年)方案[EB/OL]. [2017-09-21] (2020-05-15). http://zrzt.shanxi.gov.cn/zwgk/zwgk_jbml/ghjh/tdgh/201709/t20170921_81004.shtml.
- [29] 傅伯杰. 土地潜力评价的类型与方法[J]. *国土与自然资源研究*, 1990(2):29-32.
- [30] 徐新良,刘洛,蔡红艳. 中国农田生产潜力数据集. 中国科学院资源环境科学数据中心数据注册与出版系统(<http://www.resdc.cn/DOI>), 2017. DOI:10.12078/2017122301.
- [31] 陈利顶,刘洋,吕一河,等. 景观生态学中的格局分析:现状、困境与未来[J]. *生态学报*, 2008, 28(11):5521-5531.
- [32] 刘彦随,刘玉,陈玉福. 中国地域多功能性评价及其决策机制[J]. *地理学报*, 2011, 66(10):1379-1389.