

DOI: 10.5846/stxb201801310277

李冬杰, 杨利, 余俞寒, 罗文斌, 王兆峰. 都市生态旅游区土地利用碎片化对生态系统服务价值的影响——以武汉东湖生态旅游区为例. 生态学报, 2019, 39(13): - .

Li D J, Yang L, Yu Y H, Luo W B, Wang Z F. Impact of land use fragmentation on ecosystem service values in an urban ecotourism area: A case study of East Lake ecotourism area, Wuhan. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(13): - .

都市生态旅游区土地利用碎片化对生态系统服务价值的影响

——以武汉东湖生态旅游区为例

李冬杰¹, 杨利^{1,*}, 余俞寒², 罗文斌¹, 王兆峰¹

¹ 湖南师范大学旅游学院, 长沙 410081

² 华中农业大学资源与环境学院, 武汉 430070

摘要: 都市生态旅游区是都市生态系统重要的组成部分, 聚焦其土地利用碎片化对区域生态系统服务价值的影响, 有助于促进都市生态旅游区的保护与合理开发, 维护都市生态系统服务的稳定。结合 RS、GIS 技术量化评估 2000—2015 年武汉东湖生态旅游区土地生态系统服务价值, 并通过景观格局指数测定土地利用碎片化程度, 进而理清土地利用和生态系统服务价值的时空演化趋势, 最后剖析土地利用碎片化对生态系统服务价值的影响。结果表明: (1) 2000—2015 年, 主要地类向建设用地转换量较大; 土地景观明显碎片化趋势, 斑块密度由 1.67 升至 1.96, 景观多样性指数则由 1.59 增至 1.71。 (2) 15 年间, 土地生态系统整体及各项服务价值均呈逐年下降趋势, 总价值减少 6248.81 万元, 水域占总体服务价值的 80% 左右。 (3) 草地和耕地的面积变化与部分调节性和供给性功能的价值变化呈显著正相关, 水域的面积变化对部分支持性和文化性功能的价值和总体价值的下降具有显著推动作用; 区域景观斑块密度指数、景观多样性指数和林地、水域的破碎度指数变化与部分支持性和文化性功能的价值变化存在显著相关; 水域的碎片化成为东湖观光游憩等文化性功能的价值及生态系统服务总价值下降的关键因素。

关键词: 都市生态旅游区; 土地利用碎片化; 生态系统服务价值; 武汉东湖生态旅游区

Impact of land use fragmentation on ecosystem service values in an urban ecotourism area: A case study of East Lake ecotourism area, Wuhan

LI Dongjie¹, YANG Li^{1,*}, YU Yuhang², LUO Wenbin¹, WANG Zhaofeng¹

¹ College of Tourism, Hunan Normal University, Changsha 410081, China

² College of Resource and Environment, Huazhong Agriculture University, Wuhan 430070, China

Abstract: Ecotourism is an important part of the urban ecosystem. Understanding the impact of land use fragmentation in urban ecotourism areas on regional ecosystem service values can help promote the protection and rational development of urban ecotourism areas and maintain the stability of urban ecosystem services. We quantitatively assessed the value of terrestrial ecosystem services in the East Lake ecotourism area of Wuhan, from 2000 to 2015, using RS and GIS technologies. We determined the degree of land use fragmentation from a landscape pattern index and then clarified the temporal and spatial trends of land use and ecosystem service values. Finally, we analyzed the impact of fragmentation on ecosystem services. The results showed that (1) from 2000 to 2015, the area of land converted to construction in the East Lake ecotourism area was relatively large and the landscape showed obvious fragmentation trends; patch density increased

基金项目: 国家自然科学基金项目(41771162, 41301629); 国家社会科学基金项目(18BJL062); 湖南省自然科学基金项目(2018JJ2257)

收稿日期: 2018-01-31; **网络出版日期:** 2018-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhouwulian0408@163.com

from 1.67 to 1.96, and the landscape diversity index increased from 1.59 to 1.71. (2) During the 15-year study period, the value of overall services and function services of land ecosystems declined year by year. The total value decreased by 62.4881 million yuan, but the order of the value of various service functions remained stable; the top three functions were water conservation, waste treatment, and biodiversity conservation. Water-related services accounted for about 80% of the total service value. (3) There were significant positive correlations between the change in the area of grassland and cultivated land and the values of some regulatory and supply functions. Changes in the area of water had a significant negative effect on the overall value and the value of some supporting and cultural functions. There were significant correlations between changes in the patch density and the diversity indices of the landscape and the fragmentation index of forest lands and waters, and the change in values of some supportive and cultural functions. Fragmentation of the water area is a key factor in the decline of the overall value of ecosystem services and the value of cultural functions in the East Lake area.

Key Words: urban ecotourism area; fragmented land use; ecosystem service value; East Lake Wuhan

城市是土地利用程度最高的地域系统,城市建设活动改变了地表景观格局,致使都市自然生态系统结构发生变化,由此影响生态系统所提供的服务功能及其价值,最终损害人类从生态系统中获取的惠益^[1-3]。都市生态旅游区在城市自然环境中发挥着重要的生态功能,而城市发展助推建设用地的肆意扩张,加速了都市生态旅游区土地利用的碎片化趋向,进而对区域生态系统服务价值造成损耗性影响。因此,聚焦都市生态旅游区土地利用碎片化过程及其对生态系统服务价值的影响态势,有助于理解城市规模化过程中都市生态旅游区生态作用的演变趋势,揭示其生态价值和意义,以维护都市生态系统整体生态价值。

生态系统服务功能依托于地表自然资源提供丰富的价值,国内外诸多学者探索和研究了大量评估此类价值的方法。最著名的是 1997 年 Costanza 等评估了全球生态系统服务价值,研究提出各地类的生态服务价值系数^[4];此后诸多学者针对不同研究对象进行生态系统服务价值量评估,并就大尺度区域的评估进行了方法探索^[5-7]。国内方面,欧阳志云等于 1999 年先行探索了中国陆地生态系统服务功能的价值,后于 2016 年在《Science》上发表了有关自然资本投资改善生态系统服务的研究成果^[8-9];谢高地等基于中国自然环境特征修正了 Costanza 等的系数,于 2003 年和 2008 年先后估算和改进了我国陆地生态系统单位面积生态服务价值当量表^[10-11];期间国内学者先后评估了城市化流域、湿地、耕地和海岸带等各类土地系统的生态系统服务价值^[12-15],且近年来集中于城市群、山区、海湾区等宏观区域研究^[16-18],而对旅游景区这类微小区域研究较少。针对生态旅游区生态系统服务的研究开展较晚,Gössling 等人于 1999 年先行探索了生态旅游发展对生态系统服务的影响^[19];国内学者王洪翠等于 2006 年较早的对武夷山景区的生态系统服务价值进行评估^[20];此后陆续有学者分别对都市绿地、山岳、水利等类型景区的生态系统服务展开研究^[21-24],但上述研究多囿于空间格局和价值量变化等表层分析,缺乏对影响机理的深度剖析。都市土地景观破碎化对生态系统服务的影响近年来也受到关注,国内学者针对都市农业景观和水体景观等进行了相应探索^[25-26]。作为都市生态系统重要的组成部分,都市生态旅游区土地利用碎片化势必对都市生态系统服务价值产生影响,但目前针对的定量研究还比较匮乏。

基于此,研究着眼小尺度区域,从土地利用碎片化角度入手,以武汉东湖国家生态旅游区为实证对象,利用武汉市土地利用和相关社会经济数据,结合 RS/GIS 技术,从时空维度系统分析东湖生态旅游区土地利用碎片化进程,并结合政策背景及相关领域研究成果,从土地利用类型和景观格局变化两个角度分析土地利用碎片化对生态系统服务价值的影响,试图细化当前土地利用变化对生态系统服务价值影响的研究,从土地景观格局视角剖析生态服务价值变化的主要影响因素,以期扩充和完善都市生态旅游区的研究范畴,促进都市生态旅游区土地资源的保护利用,为都市生态系统合理维护和生态旅游区科学管理提供决策参考。

1 研究区域概况

武汉东湖生态旅游风景区位于湖北省武汉市中心城区,是首批国家重点风景名胜区、国家 5A 级旅游景

区(图 1)。风景区总面积 88km²,其中水域面积近 40 km²,以中国第二大城中湖——东湖为核心,环湖分布着 34 座小山,最高处珞珈山顶海拔 118.5 m,整体地势较为平坦,包括听涛、磨山、落雁、吹笛、白马和珞洪等 6 个片区,集旅游观光、休闲度假、科普教育为一体,年接待游客数百万人次。作为典型的都市生态旅游区,东湖在净化空气、防尘降噪、调节小气候、缓解城市热岛效应等方面发挥良好的生态功能,在武汉城市建成区自然生态系统中居于十分重要的地位。2000 年后,由于城市建设扩张及景区建设,东湖生态旅游区域内土地利用出现不合理转换,大量草地、水域、耕地等地类被建设用地取代,土地景观碎片化明显,对风景区及周边地区生态系统造成诸多不良影响。

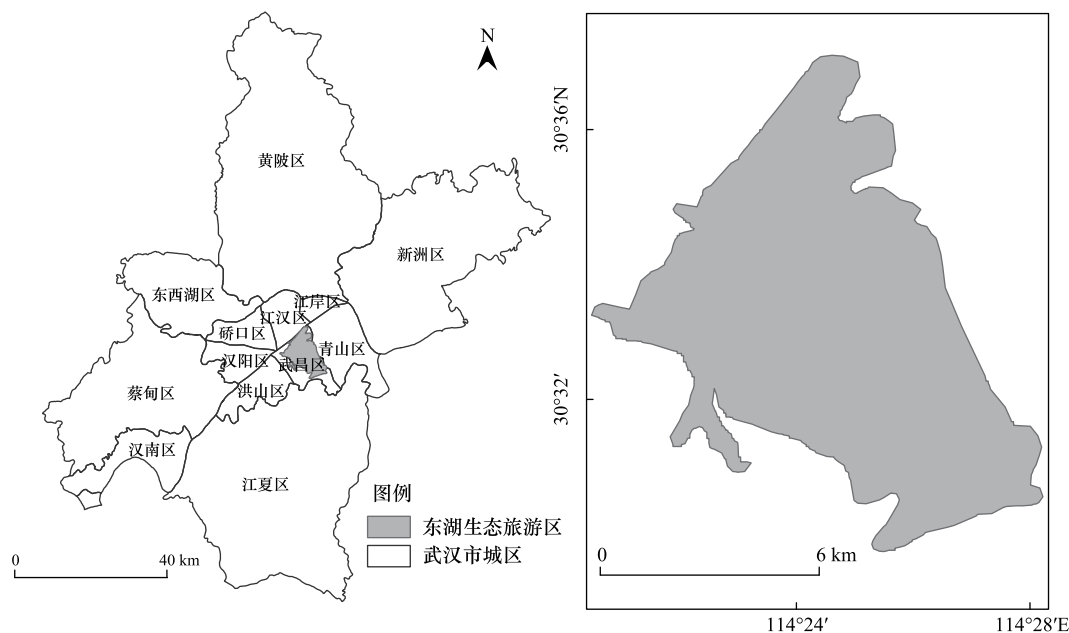


图 1 武汉东湖生态旅游区位图

Fig.1 Location of Wuhan East Lake ecological tourist area

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

土地利用数据共分四期,其中 2000 和 2005 年两期数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心(<http://www.resdc.cn>)的中国土地利用遥感监测数据库,分辨率为 30 m;2010 和 2015 年两期遥感影像来自于地理空间数据云平台(<http://www.gsccloud.cn>)的 Landsat 7 ETM+ SLC-off 矫正数据,分辨率为 15m,通过 ENVI 4.7 及 ArcGIS 平台分别进行影像几何校正、投影变换等,依据武汉东湖生态旅游风景区管理委员会提供的东湖生态旅游范围进行区域裁剪得到研究区影像,最后参照《土地利用现状分类》(GB/T 21010—2007)标准将影像人工解译为林地、草地、耕地、水域、未利用地和建设用地等 6 种一级地类,最终获得东湖生态旅游区 2010 和 2015 年两期土地利用数据(图 2)。经过与前期数据面积及结构比对调整后,检验解译数据 Kappa 值大于 0.75,数据拟合精度较好;为了进一步验证解译数据准确性,于 2018 年 9 月底实地选取 35 个 GPS 点与 2015 年数据进行结果比对,其中有 31 个点一级地类显示正确,准确率达 88.57%,考虑到短期内地类变化幅度较小,数据精度较为合理。实地调查确认耕地主要表现为人工低层植被区及少量水田,而建设用地(包括城镇居民用地、交通用地和其他建设用地)不纳入生态服务价值估算的范围。武汉市人口、GDP、粮食、油料、棉花等主要农作物单产等数据来源于《武汉统计年鉴—2016》。

2.2 土地利用碎片化测度

引入景观生态学的研究方法,结合土地利用数据,借助 ArcGIS 10.0 和 FRAGSTATS 4.2 软件进行综合测

算,景观格局指数选取情况见表 1。

表 1 景观格局指数选取列表

Table 1 Brief summary of selected landscape metric indexes

景观指数 Landscape index	描述 Description
斑块密度 PD Plaue density	$PD = \frac{\sum n_i}{A}$ 指区域所有异类景观单位面积斑块数,指数越高表示景观碎片化程度越高,取值 $PD > 0$,适宜度量整体景观格局。
景观多样性 SHDI Shannon's diversity index	$SHDI = - \sum_{i=1}^s p_i \ln p_i$ 在景观级别上等于各拼块类型的面积比乘以其值的自然对数之后的和的绝对值,指数越高表明区域土地利用越丰富,破碎化程度越高,取值 $SHDI \geq 0$,适宜度量整体景观格局。
景观破碎度 SPLIT Splitting index	$SPLIT = \frac{A^2}{\sum_{j=1}^n (a_{ij})^2}$ 表征景观被分割的破碎程度,指数与破碎程度正相关,取值 $0 < SPLIT \leq 100$,适宜度量某一类斑块空间格局。
最大斑块 LPI Largest patch index	$LPI = \frac{\max_{i=1}^m (a_{ij})}{A}$ 表征某类景观中的最大斑块占整个景观面积的比例,数值越低表示该类景观碎片化程度越高,取值 $0 < LPI \leq 100$,适宜度量某一类斑块空间格局。

2.3 土地生态服务价值评估

参考 Costanza 等研究的全球生态系统服务价值评价模型,以谢高地等 2008 年设定的“中国陆地生态系统单位面积生态服务价值当量因子表”为基础估算武汉市生态系统服务价值,谢高地等人研究结果认为一个当量因子的价值量为全国主要粮食作物平均单产价值量的 1/7,为了使估算结果更贴近武汉地区实际,参照《武汉统计年鉴—2016》,选取小麦、玉米、稻谷、棉花、油料等本地主要农作物,以武汉市域 2015 年农作物收购指导价作为基础价值当量,由公式(1)和(2)综合估算出武汉地区单位面积生态系统服务价值量。

$$J_n = \frac{1}{7} \sum_{j=1}^i \frac{o_j p_j q_j}{N}, (j = 1, \dots, i) \quad (1)$$

式中, J_n 为单位面积农田提供食物生产功能的经济价值(元/hm²), j 为农作物种类; p_j 为第 j 种农作物武汉地区收购价(元/t); q_j 为第 j 种农作物单产(t/hm²), o_j 为第 j 种农作物种植面积(hm²), N 为第 i 种农作物种植总面积(hm²)。

$$J_{xy} = j_{xy} J_n, (x = 1, 2, \dots, 9; y = 1, 2, \dots, 4) \quad (2)$$

式中, J_{xy} 为第 y 种地类第 x 种生态服务功能的单位面积价值量(元/hm²), j_{xy} 为第 y 种地类第 x 种生态服务功能相对于农田生态系统提供生态服务单价的当量因子; x 为生态系统服务功能类型, y 为土地利用类型。

由于东湖生态旅游是以水域为核心的生态旅游区,为了使估算价值当量更贴合水域在东湖景区实际生态价值量,借鉴张雅昕等改进的方法^[27],引入武汉市人口密度、人均经济产出、区位优势等本地因素,由公式(3)得出水域的单位面积生态系统服务价值;同时借鉴谢高地在 2015 年提出的单位面积价值当量因子动态评估方法^[28],突出东湖生态旅游的水域文化价值,结合专家经验调整东湖水域的娱乐文化价值量为林地的 3 倍;水域其他生态服务功能的价值量由其当量因子(谢高地系数)占水域总当量因子的比重求得。经估算得出 2015 年水域单位面积生态系统服务价值为 162346.87 元,高于李全等估算的武汉市 2010 年的 114928 元^[29],基于社会经济发展及水域的区域特殊性等因素考量,增长量较为合理。

$$J_w = -2398.31 X_s - 0.14 X_g + 34.03 X_m - 57696.29 X_f + 119763.87 X_h \quad (3)$$

式中, J_w 为水域单位面积生态系统服务价值, X_s 为年代, X_g 为人均 GDP, X_m 为人口密度, X_f 为方法(选择谢高地

系数法), X_h 为区位(选择中部地区)。

最后,根据公式(4)估算出区域土地生态系统服务总价值,并最终得到 2015 年武汉市土地系统单位面积生态服务价值当量(表 2)。

$$Z = \sum_{x=1}^9 \sum_{y=1}^5 N_y J_{xy} \quad (4)$$

式中, Z 为区域土地生态系统服务总价值; N_y 为第 y 种地类的面积; J_{xy} 为 y 种地类第 x 种服务功能的单位面积价值。

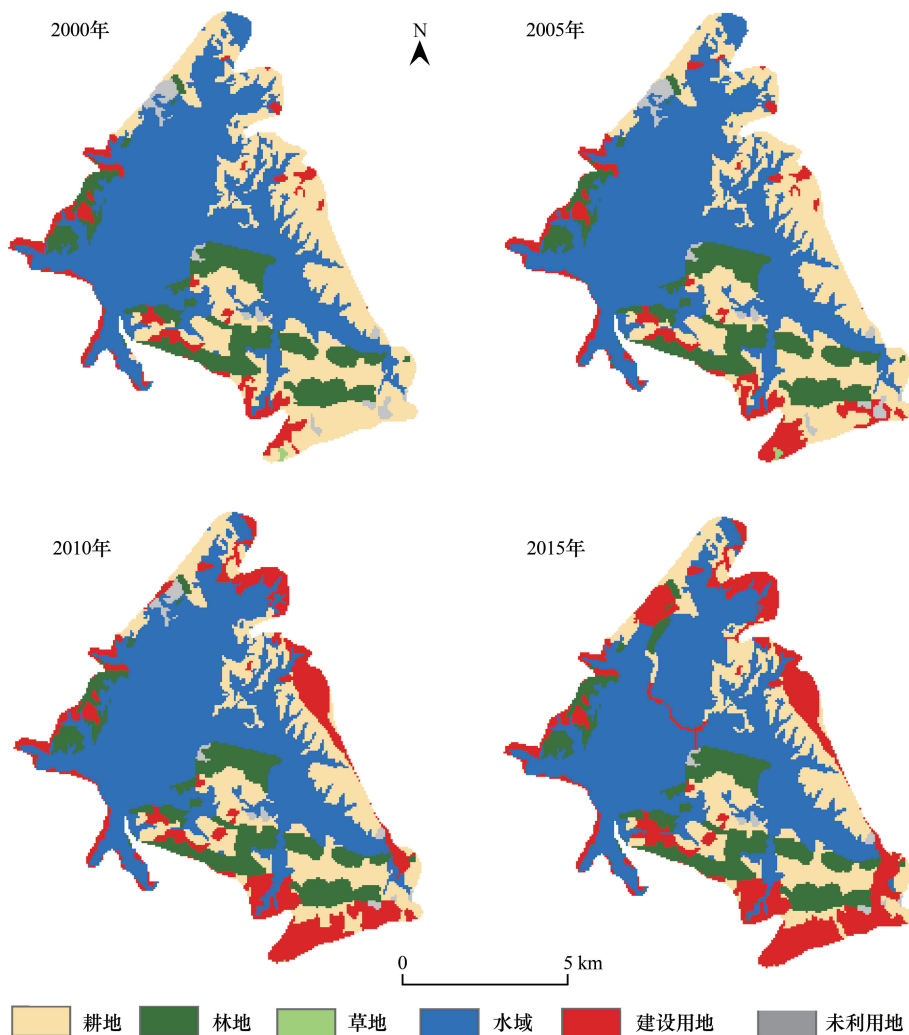


图 2 东湖生态旅游区 2000—2015 年土地利用空间分布

Fig.2 Spatial distribution of land use in East Lake ecotourism area from 2000 to 2015

3 结果与分析

3.1 武汉东湖生态旅游区碎片化土地利用时空格局

3.1.1 东湖生态旅游区各土地利用类型空间变化

2000—2015 年间,东湖生态旅游区各地类呈现“去自然化”趋向(表 3)。其中,耕地、水域、未利用地、城镇用地表现出趋势性变化。耕地面积缩减量最大,15 年共减少 722.49 hm^2 ,尤其 2005—2010 年间缩减率达到 23.7%;水域面积呈现递减趋势,15 年间共减少 227.73 hm^2 ;未利用地总体也呈缩减趋势。耕地、草地、水域面

积变化主要受城市粗放扩展影响,这一点从建设用地的变化中可以看出。建设用地面积迅猛递增,15年间共增加 997.54 hm²,最快的 2005—2010 年区间增长率达到 94.98%,是其他地类面积减少的主要因素。

表 2 武汉市 2015 年各土地利用类型的单位面积生态服务价值/(元 hm² a⁻¹)

Table 2 Average value of per-hectare of land ecosystem services in Wuhan in 2015

生态服务功能 Ecological service function	林地 Forestland	草地 Grassland	耕地 Cropland	水域 Water area	未利用地 Unused land
气体调节 Gas regulation	14874.624	5164.800	2479.104	1756.032	206.592
气候调节 Climate regulation	14013.824	5371.392	3339.904	7092.992	447.616
水源涵养 Water conservation	14082.688	5233.664	2651.264	64628.864	103.296
土壤形成与保护 Soil formation and protection	13841.664	7712.768	5061.504	1411.712	585.344
废物处理 Waste treatment	5922.304	4545.024	4786.048	51131.520	895.232
生物多样性保护 Biodiversity conservation	15528.832	6438.784	3512.064	11810.176	1377.280
食物生产 Food production	1136.256	1480.576	3443.200	1824.896	68.864
原材料 Raw material	10260.736	1239.552	1342.848	1205.120	137.728
娱乐文化 Entertainment culture	7161.856	2995.584	585.344	21485.568	826.368
合计 Total	96822.784	40182.144	27201.280	162346.880	4648.320

表 3 东湖生态旅游區 2000—2015 年各土地利用类型面积

Table 3 Area changes of land use in East Lake ecotourism area from 2000 to 2015

年份 Year	林地 Forestland		草地 Grassland		耕地 Cropland		水域 Water area		未利用地 Unused land		建设用地 Construction land	
	面积 Area/ hm ²	变化率 Rate of change/%	面积 Area/ hm ²	变化率 Rate of change/%	面积 Area/ hm ²	变化率 Rate of change/%	面积 Area/ hm ²	变化率 Rate of change/%	面积 Area/ hm ²	变化率 Rate of change/%	面积 Area/ hm ²	变化率 Rate of change/%
2000	1011.77	—	6.85	—	2288.75	—	3911.52	—	110.11	—	453.79	—
2005	1011.96	0.02	6.94	1.38	2139.86	-6.51	3902.48	-0.23	127.92	16.18	599.53	32.11
2010	989.04	-2.27	0.84	-87.88	1651.71	-22.8	3843.26	-1.52	91.36	-28.58	1213.06	102.30
2015	1026.78	3.82	0.83	-1.30	1582.37	-4.20	3639.24	-5.31	49.71	-45.59	1488.33	22.69

进一步通过 ArcGIS 平台对 2000 和 2015 年两组数据进行地类转换和叠加分析(图 3),结果发现:15 年间,耕地、水域和未利用地是主要被转换地类,建设用地是主要新转成地类。其中落雁、磨山和吹笛等景区大量耕地和未利用地被转换为建设用地,白马和听涛等景区许多水域被侵占转成耕地、林地甚至建设用地。分析结果表明,随着近年武汉建设国家中心城市战略的实行,城市“野蛮生长”,住宅、商业地产、道路扩容等环湖建设不断蚕食东湖生态旅游区的土地,大量自然地类被迫转换。值得注意的是,林地面积先减少后增加,反映出 2010 年以来城市生态建设意识的增强,森林植被保护与恢复的举措成效显著。

3.1.2 东湖生态旅游區土地利用碎片化过程分析

2000—2015 年,东湖生态旅游區土地利用景观整体呈现碎片化趋势,景观斑块密度指数、景观多样性指数均呈现递增趋势(图 4),尤其在 2005—2010 年变化最为明显,斑块密度指数由 1.67 上升到 1.94,景观多样性指数则由 2000 年的 1.59 增加到 2015 年的 1.71。上述变化表明,2000—2015 年东湖生态旅游區土地利用景观特征从边界完整、连通性较高向边界割裂、碎片化转变。由于武汉城市化的发展,东湖生态旅游區内建设用地不断蔓延,土地利用碎片化已成为区内景观格局变化的主导趋势,这一趋势在短期内仍将持续。

林地和水域是东湖生态旅游區最主要的土地利用类型,区内景观格局变化在这两种地类上体现较为明显。2000—2015 年间,东湖生态旅游區内林地景观破碎度呈先下降后上升的趋势,最大斑块面积先上升后下降(图 5)。其中景观破碎度指数从 2000 年的 6.71 下降到 2010 年的 6.62,之后上升到 2015 年的 7.01,最大斑块指数先从 2000 年 25.51 上升到 2010 年的 25.88,之后于 2015 年下降到 25.01,表明林地景观总体呈现破碎化趋势。水域的景观格局与林地有类似的发展倾向(图 5),景观破碎度呈现上升趋势,最大斑块面积呈现下

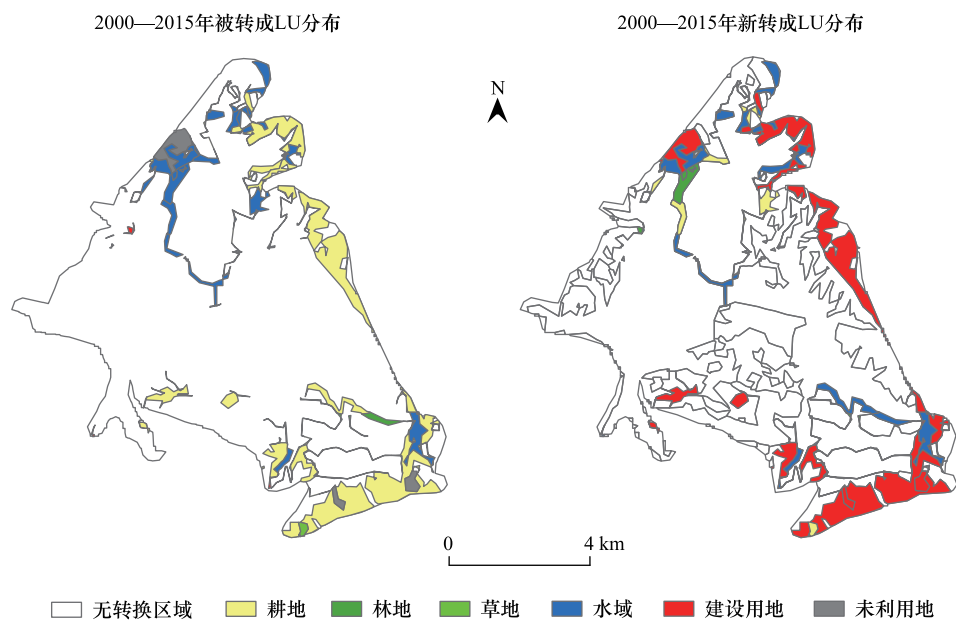


图3 东湖生态旅游区2000—2015年地类转换空间格局

Fig.3 Spatial pattern of land use conversion in East Lake ecotourism area from 2000 to 2015

降态势。需要特别注意的是2010—2015年,水域景观破碎度指数的上升趋势和最大斑块指数的下降趋势均出现加速特征,水域景观整体呈现碎片化。

3.2 东湖生态旅游区土地生态服务价值演化

2000—2015年间东湖生态旅游区土地生态系统服务价值呈前期降低较缓慢,后期降低较快的变化趋势(表4)。其中2000—2010年间,东湖生态旅游区土地生态系统服务总价值由79602.99万元降低至2010年的76508.92万元,年均降低309.41万元;而2010—2015年由76508.92万元下降到73354.18万元,年均减少630.95万元。表明2010年后,武汉城市化进程加快,东湖生态旅游区生态服务价值较高的水域和耕地被不合理转化,而无生态服务价值的建设用地面积快速增长,致使东湖生态旅游区生态系统服务总价值的下降趋势加剧。区域生态系统服务价值的主体地类依次为:水域>林地>耕地>未利用地>草地,其中水域是主要的价值提供地类,总价值占比达80%左右。

从生态系统服务功能角度看,2000—2015年间东湖生态旅游区土地生态系统各服务功能价值整体呈下

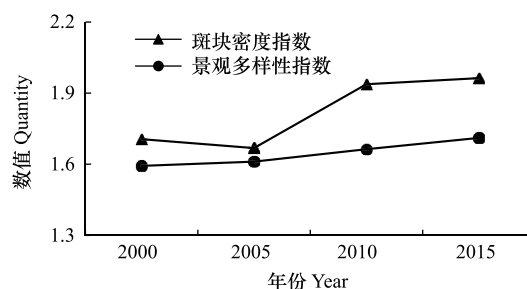


图4 东湖生态旅游区2000—2015年整体景观格局变化

Fig.4 The overall landscape pattern change in East Lake ecotourism area from 2000 to 2015

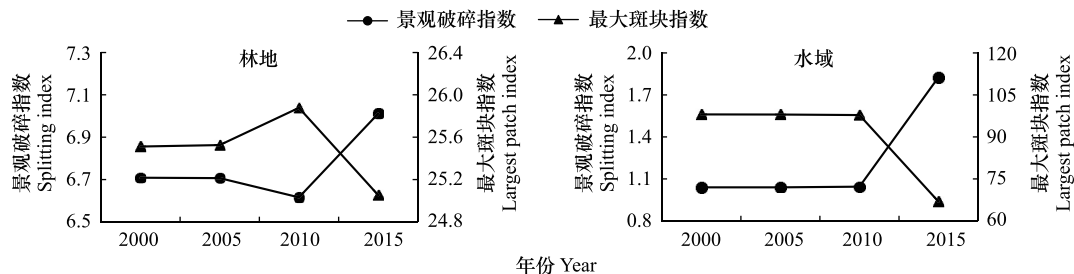


图5 东湖生态旅游区2000—2015年林地和水域景观格局变化

Fig.5 Landscape pattern change of forestland and water area in East Lake ecotourism area from 2000 to 2015

降趋势(表 5)。15 年来东湖生态旅游区土地生态系统各项服务功能价值的次序保持较稳定,依次为:水源涵养>废物处理>生物多样性保护>娱乐文化>气候调节>土壤形成与保护>气体调节>原材料>食物生产。其中 2010—2015 年,提供主要生态服务价值的 5 项服务功能价值变化尤为明显,其中水源涵养功能由 26670.66 万元降低到 25386.44 万元,废物处理功能由 21035.98 万元降低到 19978.22 万元,娱乐文化功能由 9070.28 万元降低到 8651.46 万元,生物多样性保护功能由 6668.03 万元降低到 6455.60 万元。

表 4 东湖生态旅游区 2000—2015 年土地生态系统服务价值

Table 4 Changes of ecosystem service value in East Lake ecotourism area from 2000 to 2015

	年份 Year	林地 Forestland	草地 Grassland	耕地 Cropland	水域 Water area	未利用地 Unused land	总计 Total
生态服务价值 Ecosystem service value/万元	2000	9796.27	27.52	6225.68	63502.35	51.18	79602.99
	2005	9798.06	27.90	5820.69	63355.59	59.46	79061.70
	2010	9576.12	3.38	4492.85	60394.10	42.47	76508.92
	2015	9941.60	3.34	4304.26	59081.88	23.11	73354.18
占比 Proportion/%	2000	12.31	0.035	7.82	79.77	0.06	100.00
	2005	12.39	0.035	7.36	80.13	0.07	100.00
	2010	12.52	0.004	5.87	81.55	0.06	100.00
	2015	13.55	0.005	5.87	80.54	0.03	100.00

表 5 东湖生态旅游区 2000—2015 年各项生态服务价值/万元

Table 5 Changes of ecosystem service value structure in East Lake ecotourism area from 2000 to 2015

	调节 Regulation			支持 Support			供给 Supply		文化 Culture
年份 Year	气体调节 Gas regulation	气候调节 Climate regulation	土壤形成 与保护 Soil formation and protection	水源涵养 Water conservation	废物处理 Waste t reatment	生物多样性 保护 Biodiversity conservation	食物生产 Food production	原材料 Raw material	娱乐文化 Entertainment culture
2000	2765.07	4965.35	3122.83	27316.1	21707.79	7014.14	1618.61	1819.25	9273.87
2005	2727.26	4910.32	3047.57	27218.70	21592.05	6953.97	1565.85	1798.61	9247.36
2010	2557.84	4668.23	2753.56	26670.66	21035.98	6668.03	1383.20	1701.14	9070.28
2015	2560.11	4551.39	2739.46	25386.44	19978.22	6455.60	1326.10	1705.40	8651.46

3.3 东湖生态旅游区碎片化土地利用对生态系统服务价值的影响

由前文可知,东湖生态旅游区土地生态系统服务价值总体呈下降趋势,与土地利用碎片化的上升趋势呈负相关关系。将土地利用变化和土地景观格局两类因素作为自变量,生态系统各服务功能价值及总价值作为因变量,运用 SPSS 软件对研究变量分别进行双变量相关性分析,依次得到土地利用类型和景观格局对生态系统服务价值的影响结果(表 6、表 7)。

3.3.1 土地利用变化因素

(1)草地和耕地的面积变化与生态系统服务中的气体调节、气候调节、土壤形成与保护等调节性功能和粮食生产、原材料等功能存在显著正相关,其中草地与水源涵养、土壤形成与保护等功能高度显著相关,耕地与气体调节、粮食生产等功能高度显著相关,均达 0.995 以上(表 6)。东湖生态旅游区位于城市建成区,区内的草地与耕地的覆被植物发挥着净化空气、保持水土、降解废弃物等重要功能,其调节性和支持性功能服务价值均较高。2000 年以来,草地和耕地面积大量缩减,成为调节性及支持性功能服务价值不断下降的重要影响因素。

(2)水域的面积变化与生态系统服务中的水源涵养、废物处理等支持性功能和娱乐文化功能存在显著正相关,其中,与水源涵养和娱乐文化等服务高度显著相关,达 0.995 以上(表 6)。水域是单位面积生态服务价值当量最高的地类,水体中的水生植物及微生物作用对废弃污染物有强大的净化能力,对东湖生态系统净化

作用突出;同时,湖泊型水域具有较高的游憩价值和景观美学价值。自 2000 年以来,随着水域的萎缩,东湖生态旅游区的净化功能受到干扰,生态系统中支持性功能的服务价值也随之降低;同时,水体游憩和景观美学价值受到影响,水域面积缩小成为文化性功能服务价值下降的主要影响因素。

(3) 水域和未利用地的面积变化与生态系统服务总价值存在显著正相关,其中水域与总价值相关性最高,达 0.969(表 6)。水体是湖泊型生态旅游区分布最广泛的景观,其在生态系统服务中占主导地位。2000 至 2015 年间,水域在东湖生态旅游区的面积占比从 50.26% 下降到 47.33%,对区域生态系统服务产生影响,成为生态系统服务总价值下降的关键因素;同时,城市发展促使密集型用地需求,大量未利用地转化为不具备生态服务价值的建设用地,对生态系统服务产生消极影响,成为生态系统服务总价值下降的重要影响因素。

表 6 东湖生态旅游区各土地利用类型变化与生态系统各项服务价值的相关性

Table 6 Correlation of land use change and ecosystem service value structure in East Lake ecotourism area

服务功能 Service function	林地 Forestland	草地 Grassland	耕地 Cropland	水域 Water area	未利用地 Unused land
气体调节 Gas regulation	0.148	0.988 *	0.996 **	0.746	0.795
气候调节 Climate regulation	-0.104	0.962 *	0.985 *	0.889	0.904
土壤形成与保护 Soil formation and protection	-0.181	0.999 **	0.977 *	0.728	-0.818
水源涵养 Water conservation	0.142	1.000 **	0.982 *	0.995 **	0.837
废物处理 Waste treatment	-0.422	0.834	0.875	0.990 **	0.960 *
生物多样性保护 Biodiversity conservation	-0.197	0.937	0.964 *	0.929	0.932
食物生产 Food production	-0.025	0.972 *	0.996 **	0.848	0.866
原材料 Raw material	0.167	0.989 *	0.993 **	0.734	0.788
娱乐文化 Entertainment culture	-0.475	0.802	0.843	0.997 **	0.962 *
总价值 Total value	-0.320	0.888	0.923	0.969 *	0.954 *

** $P \leq 0.01$, * $P \leq 0.05$

表 7 东湖生态旅游区土地景观格局变化与生态系统各项服务价值的相关性

Table 7 Correlation of landscape pattern change and ecosystem service value structure in East Lake ecotourism area

服务功能 Service function	景观斑块密度指数 PD	景观多样性指数 SHDI	林地最大斑块指数 LPI	林地景观破碎指数 SPLIT	水域最大斑块指数 LPI	水域景观破碎指数 SPLIT
气体调节 Gas regulation	-0.968 *	-0.928	0.079	-0.585	0.400	-0.840
气候调节 Climate regulation	-0.962 *	-0.991 **	0.327	-0.770	0.636	-0.977 *
土壤形成与保护 Soil formation and protection	-0.989 *	-0.906	0.051	-0.566	0.553	-0.922
水源涵养 Water conservation	-0.944	-0.922	0.091	-0.958 *	0.990 **	-0.893
废物处理 Waste treatment	-0.861	-0.977 *	0.619	-0.967 *	0.962 *	-0.937
生物多样性保护 Biodiversity conservation	-0.992 **	-0.998 **	0.416	-0.828	0.866	-0.992 **
食物生产 Food production	-0.963 *	-0.979 *	0.251	-0.715	0.647	-0.968 *
原材料 Raw material	-0.967 *	-0.921	0.059	-0.569	0.241	-0.335
娱乐文化 Entertainment culture	-0.834	-0.961 *	0.664	-0.991 **	0.995 **	-0.867
总价值 Total value	-0.906	0.994 **	0.528	-0.893	0.884	-0.884

** $P \leq 0.01$, * $P \leq 0.05$

3.3.2 土地景观格局因素

(1) 土地景观斑块密度指数和景观多样性指数变化与气候调节、生物多样性保护、食物生产等服务功能价值均呈显著负相关关系,其中与生物多样性保护相关性最高,均达-0.990 以上(表 7)。自 2000 年东湖生态旅游区获评全国首批 4A 级景区后,吹笛、磨山、听涛等景区对多处连片自然景观重新规划建设;2005 年后,科教院所环绕的吹笛和磨山景区,扩大基础设施建设,水域、耕地、未利用地遭到剖解,碎片化趋势明显。景观的碎片化破坏生态系统的完整性,降低生态服务功能的整体优势,进而消减生态系统服务价值;同时景观碎片化

对小气候调节、集约型产出等造成不良影响,导致生物栖息地萎缩,成为生态系统生物多样性服务功能不断下降的重要影响因素。

(2)林地的景观破碎指数变化与水源涵养、废物处理和娱乐文化等服务功能价值呈显著正相关关系,其中与娱乐文化相关性最高,达 0.991(表 7)。林地是东湖生态系统服务价值的重要提供者,2000—2010 年间,景区建设致使小片状林地被逐渐转化,引起林地破碎度指数略微下降;2011 年武汉提出建设生态文明城市,景区内行道树、林木景观小品的建设使得小片林地分布范围扩大,致使林地破碎度迅速回升。森林具有涵养水源、育土固碳等生态功能,林木小品及森林景观蕴含较好的观光游憩价值,因此,林地碎片化成为影响支持性和娱乐文化功能价值的重要因素。

(3)水域景观最大斑块指数与水源涵养、废物处理、娱乐文化等功能价值呈显著正相关关系,其中与娱乐文化相关性最高,达 0.995;水域景观破碎指数与气候调节、生物多样性保护、食物生产等功能价值和生态系统服务总价值呈显著负相关关系,其中与生物多样性保护相关性最高,达-0.992(表 7)。2010—2015 年间,东湖隧道开工建设,围堰明挖的施工方法对东湖水生生物群体产生较大危害,隧道配套设施建设侵占了水域空间;通过 Google Earth 高清影像发现,2012 年后湖心的环湖大道和亲水堤改造拓宽,至 2015 年达 150 米左右。这些建设行为导致水域的碎片化趋势加速,损害水域景观的生态支持功能和观光价值,致使区域生态系统服务总价值缩减。因此,水域碎片化成为生态系统服务价值下降的重要影响因素。

4 结论与讨论

以武汉东湖生态旅游区为研究对象,从时空维度系统分析土地利用碎片化趋势,进而探究土地利用碎片化对生态系统服务价值的影响,得出如下结论:

(1)2000 至 2015 年,东湖生态旅游区各地类呈现明显“去自然化”趋向,耕地、水域、未利用地呈递减的趋势,建设用地逐步增多。土地利用景观整体呈现碎片化趋势,斑块密度由 1.67 上升到 1.96,景观多样性指数则由 1.59 增加到 1.71。主要地类中的林地和水域景观格局也呈碎片化趋向。

(2)2000 至 2015 年,东湖生态旅游区土地生态系统服务价值整体呈逐年下降的趋势,从 79602.99 万元下降到 73354.18 万元,15 年间减少 6248.81 万元。贡献东湖生态旅游区生态系统服务价值的主体地类依次为:水域>林地>耕地>未利用地>草地,水域是东湖生态旅游区生态系统服务价值的主要提供者,占总体的 80%左右。从土地生态系统服务功能的价值构成来看,各项服务功能整体呈现下降趋势,价值次序为:水源涵养>废物处理>生物多样性保护>娱乐文化>气候调节>土壤形成与保护>气体调节>原材料>食物生产。

(3)在土地利用碎片化对生态系统服务价值影响的探究中,分别从土地利用变化及土地景观格局两类因素角度切入,发现:一方面,随着“去自然化”的地类转移,草地、耕地和水域面积变化与生态系统部分调节性、供给性、支持性和文化性功能的价值变化显著正相关,水域和未利用地的萎缩对生态系统服务总价值下降的作用较显著。另一方面,随着景区内规划改造及城市基建等影响,东湖生态旅游区主体景观碎片化趋向明显。分析发现区域景观斑块密度指数和景观多样性指数的增大对气候调节、生物多样性保护等功能价值下降具有消极作用,林地和水域的破碎化也一定程度推动了支持性和文化性功能的价值下降;主体地类水域的碎片化,成为东湖观光游憩等文化性功能价值及生态系统服务总价值下降的关键因素。

文章的评估和分析有利于强化对都市生态旅游区土地景观变化的认识,且对微小尺度的都市生态旅游区生态系统服务的研究是对当前宏观尺度相关研究的有益补充。随着城市建设扩张,其对域内生态系统服务的影响问题愈加显著。研究发现都市生态旅游区土地利用碎片化的主要原因是城市建设盲目发展,由此带来土地利用的不合理转化,耕地、水域和未利用地等自然地类被分割转变为建设用地,致使土地景观趋于碎片化,最终导致都市生态旅游区生态系统服务价值逐渐下降。鉴于此,相关政府部门有必要强化都市生态旅游区规划与管理,划定生态用地红线,严格控制生态旅游区内土地不合理转化,以维护都市生态系统平衡。由于获取的土地利用数据量较少,文章对生态系统服务价值变化的影响因素仅进行了统计性的相关分析,未来可适当

增加数据量,通过数理建模等方法提高影响因素分析的科学性。都市生态旅游区承载着生态观光和休闲娱乐等功能,而旅游发展使景区难以得到合理的利用与保护。因此,土地利用碎片化对都市生态旅游区旅游业持续发展的互动机制是未来值得深入研究的一个方向。

参考文献 (References):

- [1] 傅伯杰, 张立伟. 土地利用变化与生态系统服务: 概念、方法与进展. 地理科学进展, 2014, 33(4): 441-446.
- [2] Daily G C. Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems. 4th ed. Washington, DC: Island Press, 1997.
- [3] Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis. 2nd ed. Washington, DC: Island Press, 2005.
- [4] 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.
- [5] Ayanu Y Z, Conrad C, Nauss T, Wegmann M, Koellner T. Quantifying and mapping ecosystem services supplies and demands: a review of remote sensing applications. Environmental Science & Technology, 2012, 46(16): 8529-8541.
- [6] Fu B J, Wang S, Su C H, Forsius M. Linking ecosystem processes and ecosystem services. Current Opinion in Environmental Sustainability, 2013, 5(1): 4-10.
- [7] Martinez-harms M J, Balvanera P. Methods for mapping ecosystem service supply: a review. International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management, 2012, 8(1/2): 17-25.
- [8] 欧阳志云, 王效科, 苗鸿. 中国陆地生态系统服务功能及其生态经济价值的初步研究. 生态学报, 1999, 19(5): 607-613.
- [9] Ouyang Z Y, Zheng H, Xiao Y, Polasky S, Liu J G, Xu W H, Wang Q, Zhang L, Xiao Y, Rao E M, Jiang L, Lu F, Wang X K, Yang G B, Gong S H, Wu B F, Zeng Y, Yang W, Daily G C. Improvements in ecosystem services from investments in natural capital. Science, 2016, 352(6292): 1455-1459.
- [10] 谢高地, 鲁春霞, 冷允法, 郑度, 李双成. 青藏高原生态资产的价值评估. 自然资源学报, 2003, 18(2): 189-195.
- [11] 谢高地, 甄霖, 鲁春霞, 肖玉, 陈操. 一个基于专家知识的生态系统服务价值化方法. 自然资源学报, 2008, 23(5): 911-919.
- [12] 胡和兵, 刘红玉, 郝敬锋, 安静. 城市化流域生态系统服务价值时空分异特征及其对土地利用程度的响应. 生态学报, 2013, 33(8): 2565-2576.
- [13] 史洋洋, 吕晓, 黄贤金, 于森. 江苏沿海地区耕地利用转型及其生态系统服务价值变化响应. 自然资源学报, 2017, 32(6): 961-976.
- [14] 尹占娥, 田娜, 殷杰, 迟潇潇. 基于遥感的上海市湿地资源与生态服务价值研究. 长江流域资源与环境, 2015, 24(6): 925-930.
- [15] 李晓炜, 侯西勇, 邸向红, 苏红帆. 从生态系统服务角度探究土地利用变化引起的生态失衡——以莱州湾海岸带为例. 地理科学, 2016, 36(8): 1187-1204.
- [16] 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.
- [17] 殷莎, 赵永华, 韩磊, 王耀斌, 蔡健. 秦岭森林生态系统服务价值的时空演变. 应用生态学报, 2016, 27(12): 3777-3786.
- [18] 罗盛锋, 闫文德. 广西北部湾沿岸地区生态系统服务价值变化及其驱动力. 生态学报, 2018, 38(9): 3248-3259.
- [19] Gössling S. Ecotourism: a means to safeguard biodiversity and ecosystem functions? Ecological Economics, 1999, 29(2): 303-320.
- [20] 王洪翠, 吴承祯, 洪伟, 何东进, 林琴琴, 王萍兰, 陈灿. 武夷山风景名胜区生态系统服务价值评价. 安全与环境学报, 2006, 6(2): 53-56.
- [21] 陈波, 卢山. 杭州西湖风景区绿地生态服务功能价值评估. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 2009, 35(6): 686-690.
- [22] 游巍斌, 何东进, 巫丽芸, 洪伟, 詹仕华, 黄德华, 覃德华, 游惠明. 山岳旅游地生态服务价值时空分异及其与环境因子关系——以武夷山风景名胜区为例. 山地学报, 2012, 30(1): 113-120.
- [23] 陈键, 符国基. 水利风景区生态服务价值对土地利用变化的响应——以海南省南丽湖风景名胜区为例. 水土保持研究, 2016, 23(2): 229-235, 242-242.
- [24] 姚娟. 新疆喀纳斯旅游区游客的生态系统服务消耗研究. 冰川冻土, 2016, 38(3): 853-863.
- [25] 刘珍环, 王仰麟, 彭建, 李猷, 吴健生. 深圳市水体景观破碎化动态及其生态价值变化. 北京大学学报: 自然科学版, 2010, 46(2): 286-292.
- [26] 王云, 周忠学, 郭钟哲. 都市农业景观破碎化过程对生态系统服务价值的影响——以西安市为例. 地理研究, 2014, 33(6): 1097-1105.
- [27] 张雅昕, 刘娅, 朱文博, 李双成. 基于 Meta 回归模型的土地利用类型生态系统服务价值核算与转移. 北京大学学报: 自然科学版, 2016, 52(3): 493-504.
- [28] 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.
- [29] 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.