

doi: 10.6046/zrzyyg.2021180

引用格式: 李霞, 李静芝. 荆南三口地区生态系统服务价值对城乡建设用地扩张的响应机理[J]. 自然资源遥感, 2022, 34(2): 278–288. (Li X, Li J Z. Response mechanism of ecosystem service value to urban and rural construction land expansion in the three outlets of the southern Jingjiang River[J]. Remote Sensing for Natural Resources, 2022, 34(2): 278–288.)

荆南三口地区生态系统服务价值对城乡建设用地扩张的响应机理

李霞¹, 李静芝^{1,2}

(1. 长沙理工大学建筑学院, 长沙 410076; 2. 洞庭湖水环

境治理与生态修复湖南省重点实验室, 长沙 410114)

摘要: 针对当前生态系统服务价值对城乡建设用地扩张响应机理研究的不足, 本研究以荆南三口地区为研究对象, 采用当量因子法计算荆南三口地区生态系统服务价值, 对生态系统服务价值的时空变化特征进行分析; 通过线性回归方法, 分析生态系统服务价值对城乡建设用地扩张的响应机理。研究表明: 1990—2018年间, 荆南三口地区的ESV从443.56亿元增加至471.03亿元, ESV整体经历了平缓的增长过程; ESV的空间差异较为明显, 中高值区面积减少较快, 低值区面积增加较快; 城乡建设用地扩张较为显著, 总扩张量为27.74 km², 经历了“缓慢—负增长—缓慢—快速—减速”的波动扩张过程; 城乡建设用地侵占不同地类, 对各类生态系统服务的损益值有不同程度的影响, 其中侵占高生态价值地类(水域、湿地)的比例越大, 对生态的破坏性越高。荆南三口地区在未来的土地利用中, 应转换传统的建设用地扩张模式, 合理规划城镇用地边界, 严守耕地红线, 提高土地集约利用水平。同时完善河湖管理体制, 加强河湖生态保护与修复, 提升河湖生态服务功能。

关键词: 生态系统服务; 生态系统服务价值; 城乡建设用地扩张

中图分类号: TP 79; X 820 **文献标志码:** A **文章编号:** 2097-034X(2022)02-0278-11

0 引言

生态系统服务(ecosystem services, ES)是指“人类从生态系统中获得的惠益”, 是达成区域可持续发展目标的重要基础^[1]。生态系统服务价值(ecosystem services values, ESV)是从自然生态的角度出发, 运用生态学和经济学研究方法, 对自然资源或生态系统的服务功能进行价值量化^[2]。而土地利用覆盖变化(land use/cover change, LUCC)引起的土地面积、类型及格局的变化直接影响生态系统服务价值的多少^[3]。城乡建设用地扩张作为LUCC之一, 已有大量研究^[4-6]表明其是生态系统服务下降的主要原因。随着经济高速发展、城镇化进程加快, 我国城乡建设用地规模迅速扩张, 造成了一系列生态环境问题, 如生物多样性降低等, 导致生态系统服务能力下降^[7-8]。因此, 探究生态系统服务价值对

城乡建设用地扩张的响应机理, 有利于减少城乡建设用地扩张造成的生态系统服务破坏, 对促进城乡建设用地的合理扩张、优化空间格局具有重要意义^[9]。

目前, 国内部分学者分析了城乡建设用地扩张对生态系统服务的影响程度和特征。从研究成果来看, 主要分为定性研究和定量研究。定性研究主要是通过土地利用类型动态定性分析快速城镇化导致的土地利用变化和引起的生态系统服务价值的变化^[10]; 通过城市扩张模型识别城乡建设用地扩张的时空变化和扩张模式, 以及扩张的生态效应^[11]。定量研究主要是通过关联规则挖掘模型定量分析城乡建设用地扩张与景观生态安全之间的关系^[12]; 通过回归分析定量分析生态系统服务价值时空演变规律并揭示其变化的驱动因素^[13]。还有学者探究了城乡建设用地扩张对生态系统服务的直接影响和间接影响机理^[9], 但未考虑城乡建设用地扩张侵占

收稿日期: 2021-06-16; 修订日期: 2021-08-18

基金项目: 湖南省自然科学基金项目“快速城市化背景下荆南三口河网地区水系结构变化及城市化响应”(编号: 2018JJ3526)、湖南省教育厅科学研究项目“荆南三口河网地区城镇化进程中水资源优化调控研究”(编号: 17C0037)和湖南省自然科学基金面上项目“基于时空动态分析的村镇地质灾害防治规划导则研究——以湖南省山地村镇为例”(编号: 2020jj4621)共同资助。

第一作者: 李霞(1998-), 女, 本科生, 研究方向为城乡规划。Email: 3094471315@qq.com。

通信作者: 李静芝(1984-), 女, 博士, 讲师, 研究方向为城市与区域规划。Email: lijingzhi2210862@163.com。

不同地类对 ESV 造成的影响。

荆南三口地区(以下简称荆南三口)是连接长江荆江河段与洞庭湖区的纽带,其分流分沙的变化对荆江和洞庭湖区的洪水及河床冲淤起决定作用^[14]。截至目前,学界对于洞庭湖区生态系统服务的研究较多^[15-17],但对荆南三口 ESV 时空演变及响应机制的研究存在空缺。鉴于此,本研究以国土空间规划为背景,采用动态计算方法定量计算荆南三口不同时期的 ESV;以城乡建设用地扩张侵占不同地类对生态系统服务造成的不同影响为切入点,定量地揭示生态系统服务价值对城乡建设用地扩张的响应机理,为城乡建设用地的合理扩张提供科学依据和决策支持,也为城镇化对生态系统影响的相关研究提供参考^[5]。

1 研究区概况及数据源

荆南三口指松滋河、虎渡河、藕池河分泄长江水入洞庭湖北部的河网平原区,其中以常德市的安乡县、益阳市的南县、岳阳市的华容县为核心区域,本文以此三县作为主要研究对象(图1)。荆南三口地处 E110°59'~113°1'32",N29°10'18"~29°31'37",属大陆性季风湿润气候。四季分明,特征显著,雨季多集中在夏初,年均温度 16~17℃。多年平均无霜期为 275 d,适宜于动植物的生长和繁殖。该地区总面积 4 014 km²,2018 年末总人口为 200.98 万人,其中城镇人口 96.69 万人,城镇化率为 48.11%。2018 年地区生产总值 762.6 亿元,三次产业结构优

化调整为 18.7:34.2:47.2。长期以来该地区都因较好的土壤条件成为湖南省乃至全国重要的商品粮、棉、油、鱼生产基地,工业发展迅速,逐渐形成以纺织、化工、食品、造纸、建材工业等为特色的工业体系。但在自然条件变化和人类活动的双重影响下,该地区河流断流、水资源过度开发等一系列生态环境问题逐渐显露^[14]。特别是三峡水库建成以来,长江来水减少而湖水流出加快,加剧了荆南三口丰水期洪涝灾害和枯水期干旱缺水的发生,同时水文的变化对输沙量减少也造成了一定影响,从而导致河流淤积断流。水沙环境是洞庭湖流域的重要组成部分以及污染物的主要载体,这些因素的综合作用在一定程度上制约了荆南三口地区生态系统的健康发展。

本文采用的主要数据包括:1990 年、1995 年、2000 年、2005 年、2010 年、2013 年、2018 年 7 个时期的荆南三口土地利用数据,源自中国科学院资源环境科学与数据中心(<http://www.resdc.cn>);1990—2018 年的全国水稻的平均价格源自于《中国统计年鉴》;1990—2018 年的荆南三口的粮食单位面积产量来源于《湖南省统计年鉴》;1990—2017 年的银行定期存款年利率来源于中国人民银行官网(<http://www.pbc.gov.cn/>)。

2 研究方法

2.1 生态系统服务选取

采用谢高地等^[18]依据千年生态系统评估(MA)提出的生态系统服务分类方法,分为供给服务、调节服务、支持服务和文化服务 4 大类,并进一步细分为食物生产、原料生产、水资源供给、气体调节、气候调节、净化环境、水文调节、土壤保持、维持养分循环、生物多样性和美学景观等 11 种服务功能。

2.2 生态系统服务价值计算

2.2.1 当量因子价值量的核算

在谢高地等^[18]2015 年的当量表基础上,参考彭文甫等^[19]对于聚落生态系统的取值,根据研究区现状特点进行调整,得到研究区单位面积生态系统服务价值当量。

2.2.2 生态系统服务价值

1) 当量因子计算。谢高地等^[20]通过专家知识法将 1 hm²农田粮食生产能力作为一个标准当量因子,以各地类各生态系统服务对农田粮食生产能力的相对重要性为当量因子,构建了中国生态系统当量因子表。参考谢高地等^[21]的方法,将 1 hm²农田粮食生产经济价值的 1/7 作为 1 个标准当量因子的

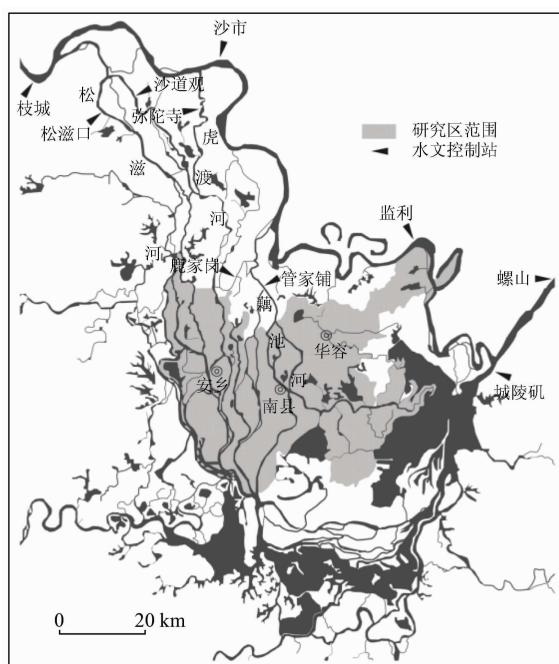


图1 荆南三口位置示意图

Fig.1 Schematic diagram of position in the three outlets of southern Jingjiang River

价值量,计算公式^[22]如下:

$$VC_0 = \frac{1}{7} \times \sum_{i=1}^7 P_i \times \sum_{i=1}^7 Q_i, \quad (1)$$

式中: VC_0 为 1 个标准当量因子的价值量,元·hm⁻² (以下简称标准当量); P_i 为研究区第 i 年水稻的平均价格,元·kg⁻¹ (用全国水稻平均价格代替); Q_i 为第 i 年水稻的平均粮食产量,kg·hm⁻²。

2) 当量系数时间修订。动态当量因子法在计算时易受到通货膨胀等各类经济因素的影响,不能准确地体现同一地块的生态系统服务在不同时期的差异性^[5]。针对此问题,参考朱晓南^[5]等用银行的年利率对水稻的平均价格进行时间修正,使生态系统服务在不同时间上的 ESV 更加准确。修正模型为:

$$D_{P_i} = P_i + P_i \times \sum_{m=n}^{2017} \gamma_n, \quad (2)$$

式中: D_{P_i} 为时间修正后的第 i 年研究区水稻的平均价格,元·kg⁻¹; P_i 为第 i 年研究区水稻的平均价格,元·kg⁻¹; γ_n 为第 n 年的银行一年定期利率,%。当 n 大于 2017 时, $\sum_{m=n}^{2017} \gamma_n$ 为 0。

3) 当量系数地区修订。借鉴谢高地等^[18] 2015 年基于中国国情最新改进的单位面积 ESV 当量表,选用湖南省生物量因子 $B(1.95)$ 对其生态系统单位面积服务价值系数进行修正。

4) 生态系统服务价值估算模型。根据谢高地的当量因子表及荆南三口当量因子值,获得荆南三口各土地利用类型的生态系统服务价值系数,进而计算出荆南三口土地生态系统服务价值。计算模型如下^[23]:

$$ESV = \sum_k \sum_j S_k \times VC_{kj}, \quad (3)$$

$$VC_{kj} = VC_0 \times V_{kj} \times B, \quad (4)$$

式中: ESV 为生态系统服务价值,元; VC_{kj} 为第 k 类生态系统的 j 项生态系统服务的 ESV 系数,元·hm⁻²·a⁻¹; VC_0 为标准当量,元·hm⁻²; S_k 为 k 类生态系统类型面积,km²; V_{kj} 为第 k 类生态系统类型 j 项生态系统服务的“单位面积生态系统服务价值基础当量”; B 为当量因子的地区修订系数。

2.3 多因素回归分析

采用 SPSS26.0 的多元逐步线性回归模型定量分析城乡建设用地扩张与区域生态系统服务价值损益的关系,显著性检验结果小于 0.05 且 $VIF \leq 10$ ^[24] 时有意义。线性回归方程驱动机制模型如下:

$$\Delta ESV_j = \alpha_1 F(S_k) + \beta_1, \quad (5)$$

$$P_{ESVj} = \alpha_2 F(SC_k) + \beta_2, \quad (6)$$

式中: ΔESV_j 为生态系统服务价值的变化量,亿元 ($j=0,1,2,3,4$ 分别表示总体生态系统服务价值、供给服务价值、调节服务价值、支持服务价值和文化服务价值); S_k 为 k 类土地利用类型面积的变化量,km²; P_{ESVj} 为城乡扩张损益值,亿元; SC_k 为城乡建设用地侵占 k 类土地利用类型的面积,km²; α 和 β 为模型系数。

3 结果与分析

3.1 土地利用类型变化分析

1990—2018 年,荆南三口土地利用现状总体保持“七分田、二分水、一分聚落山林”的特点(图 2)。从变化规模来看(表 1),耕地面积于 1990—2010 年逐

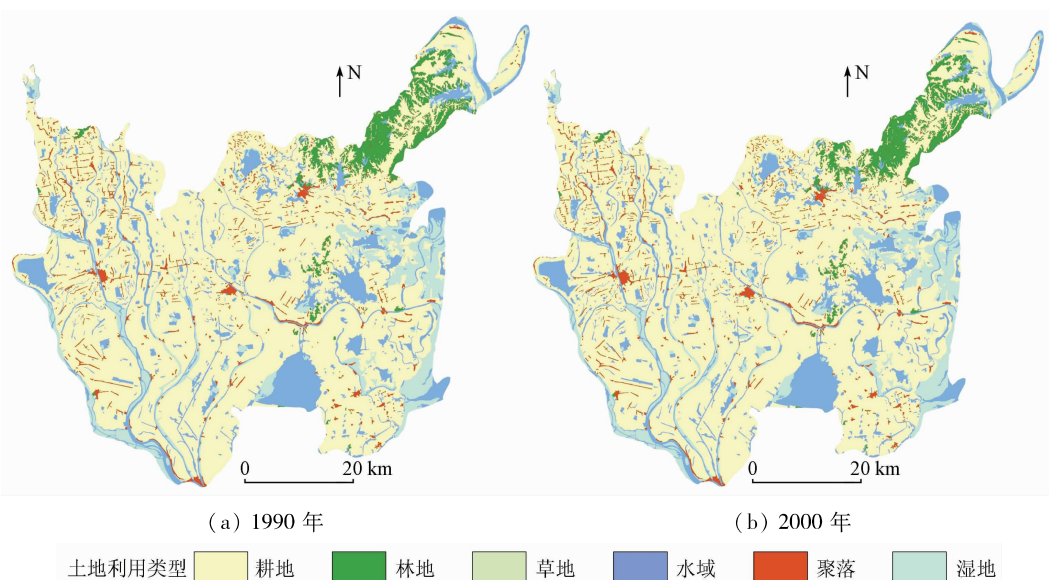


图 2-1 1990—2018 年荆南三口土地利用空间分布

Fig. 2-1 Spatial distribution of land use in the three outlets of southern Jingjiang River from 1990 to 2018

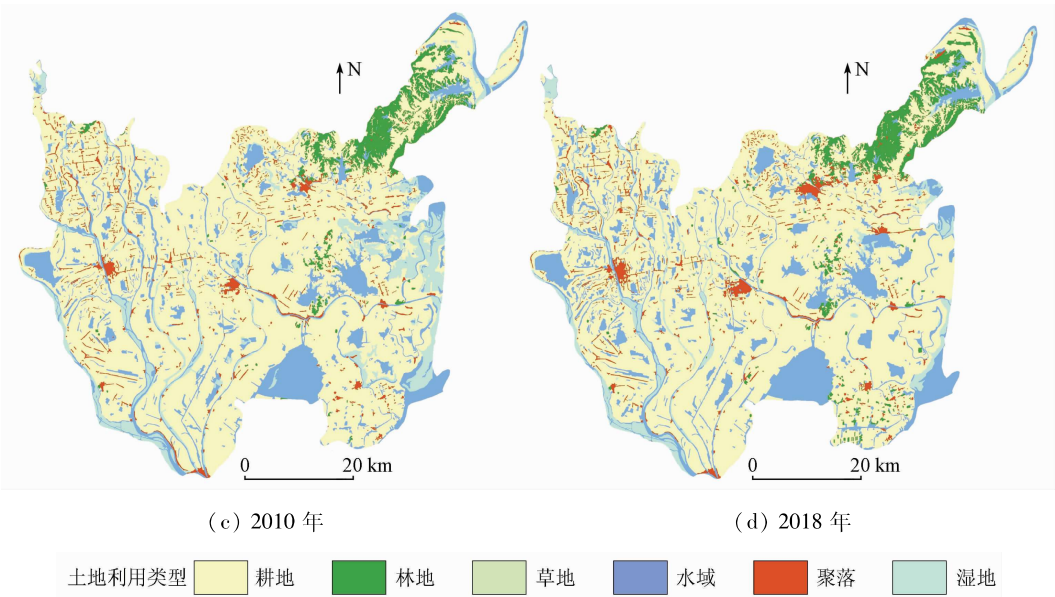


图 2-2 1990—2018 年荆南三口土地利用空间分布

Fig. 2-2 Spatial distribution of land use in the three outlets of southern Jingjiang River from 1990 to 2018

表 1 1990—2018 年荆南三口土地利用面积变化

Tab. 1 Land use area change in the three outlets of southern Jingjiang River from 1990 to 2018		耕地	林地	草地	水域	建设用地	湿地
1990 年	面积/km ²	2955.26	172.32	1.39	598.84	115.76	342.16
	占比/%	70.60	4.12	0.03	14.31	2.77	8.17
2000 年	面积/km ²	2945.34	172.43	1.15	604.54	117.85	344.42
	占比/%	70.37	4.12	0.03	14.44	2.82	8.23
2010 年	面积/km ²	2925.20	175.21	1.37	645.50	123.53	314.93
	占比/%	69.88	4.19	0.03	15.42	2.95	7.52
2018 年	面积/km ²	2946.02	195.25	1.64	716.08	144.76	181.82
	占比/%	70.39	4.66	0.04	17.11	3.46	4.34
1990—2018 年	变化量/km ²	-9.24	22.93	0.24	117.24	29.00	-160.34
	变化率/%	-0.31	13.30	17.45	19.58	25.05	-46.86

年递减,减少了 30.06 km²,至 2010 年开始缓慢增加;1990—2018 年间,水域面积不断增加,增加了 117.24 km²,湿地面积不断减少,减少了 160.34 km²,林地、草地、建设用地面积的变化幅度不大。在 1998 年特大洪水等自然灾害,退田还湖、平垸行洪、移民建镇等政策实施和城镇扩张等人类活动的多重影响下,建设用地、林地、人工水面的面积不断增加,建设用地由 2.77% 增长至 3.46%,增加了 29.01 km²;林地由 4.12% 增长至 4.67%,增加了 22.97 km²;人工水面(主要为水库坑塘)由 4.22% 增长至 7.77%,增加了 148.59 km²。而自然水系(主要为河渠、湖泊、滩地、沼泽地)的面积不断减少,其中河渠由 3.73% 降低至 3.36%,减少了 15.65 km²;湖泊由 6.36% 降低至 5.99%,减少了 15.63 km²;滩地由 5.21% 降低至 1.45%,减少了 57.561 km²;沼泽地由 2.96% 降低至 2.89%,降低了 2.81 km²。由此可

见,荆南三口人水争地问题突出。

3.2 生态系统服务价值时序变化分析

3.2.1 各地类生态系统服务价值时序变化

1990—2018 年,荆南三口 *ESV* 从 443.56 亿元增加至 471.03 亿元,增长了 6%,*ESV* 整体经历了平缓的增长过程(图 3)。从各地类 *ESV* 看,1990—2018 年间,水域的 *ESV* 呈递增过程,且增速不断变大,由 0.95% 上升至 10.93%,至 2018 年,水域的 *ESV* 达到最高值 371.26 亿元,占价值总量的 70%;聚落的 *ESV* 呈负增长过程,且增速不断变大,由 1.78% 上升至 17.08%;而湿地的 *ESV* 呈递减过程,且减速不断变大,由 0.65% 上升至 10.93%,至 2018 年,湿地的 *ESV* 达到最低值 39.04 亿元,占价值总量的 8.29%;其余地类的 *ESV* 变化不大。由此可见,湿地面积大量减少、水域面积较快增长是荆南三口 *ESV* 增长缓慢的根本原因。

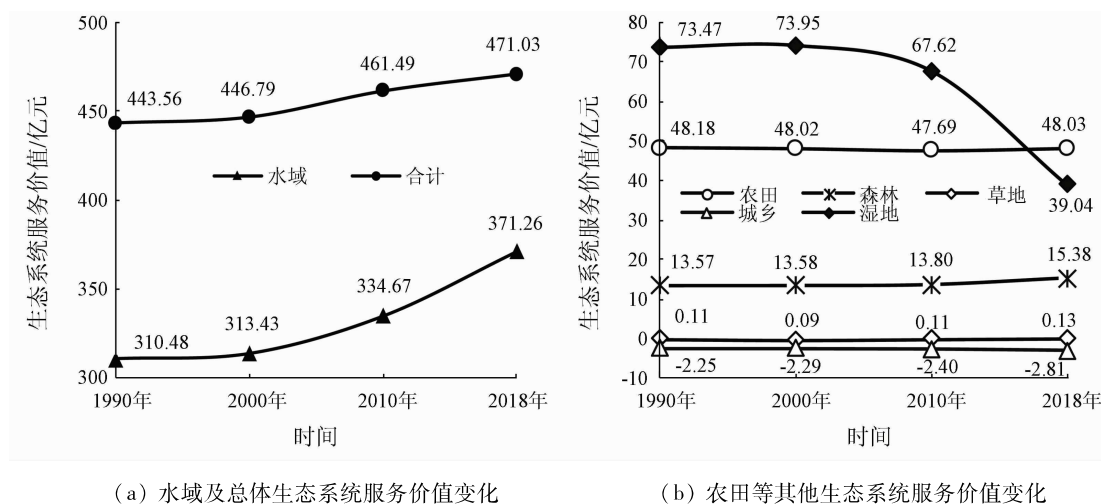


图3 1990—2018年荆南三口各类生态系统服务价值变化

Fig. 3 Changes of the various ESV in the three outlets of southern Jingjiang River from 1990 to 2018

3.2.2 各生态系统服务的价值时序变化

从各生态系统服务的构成来看(表2),1990—2018年,水文调节、净化环境、气候调节、生物多样性4种服务功能最具优势地位,构成了荆南三口ESV的主体。因此,调节径流、涵养水源、净化水质和维持生物多样性始终是荆南三口生态系统的主要功能。就各阶段而言(图4),水文调节、水资源供给的ESV呈递增过程,且增速不断变大,分别由0.83%和3.2%上升至5.1%和15.48%;净化环境

和生物多样性的ESV呈现先增长后减少的趋势,2010—2018年,生物多样性的ESV由20.53亿元减少至17.13亿元,降低了16.56%,与同时段湿地面积的大幅减少存在必然的联系;美学景观的ESV呈递减过程,减速不断变大,由1.93%上升至10.93%;其余生态系统服务的ESV基本保持不变。因此应加强湿地保护,增强荆南三口的生物多样性和美学景观功能。

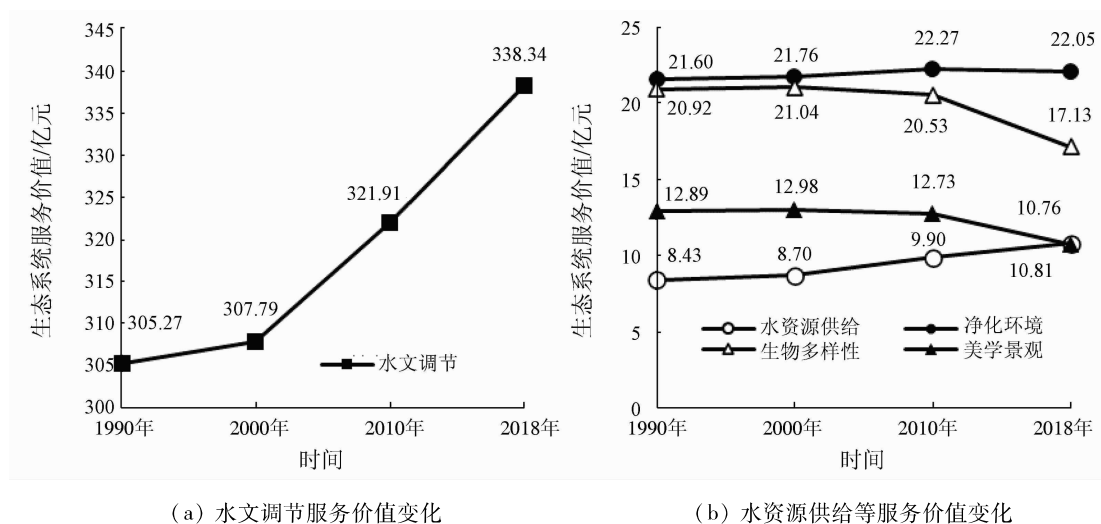


图4 1990—2018年荆南三口生态系统单项服务价值变化

Fig. 4 Changes of single ESV in the three outlets of southern Jingjiang River from 1990 to 2018

表2 1990—2018年荆南三口生态系统单项服务价值变化

Tab. 2 Changes of single ESV in the three outlets of southern Jingjiang River from 1990 to 2018

(亿元)

一级分类	供给服务			调节服务				支持服务			文化服务
二级分类	食物生产	原料生产	水资源供给	气体调节	气候调节	净化环境	水文调节	水土保持	维持养分循环	生物多样性	美学景观
1990 年	16.35	4.65	8.43	16.73	20.26	21.60	305.27	14.93	1.53	20.92	12.89
2000 年	16.33	4.65	8.70	16.73	20.33	21.76	307.79	14.98	1.51	21.04	12.98
2010 年	16.31	4.62	9.90	16.57	20.30	22.27	321.91	14.91	1.44	20.53	12.73
2018 年	16.38	4.48	10.81	15.98	19.48	22.05	338.34	14.41	1.22	17.13	10.76

3.3 生态系统服务价值空间变化分析

总体来看,荆南三口 *ESV* 的空间变化较为明显,与土地利用存在必然的联系。1990—2018 年间,高值区增长较快,由 164 个增加至 225 个,主要分布在三县的主要湖泊区域,形成块状高值集聚区;同时受区域内水系分布的影响,沿松滋河、虎渡河、藕池河形成细长的带状中高值集聚区;较低值区主要分布在农田区域,面积较稳定;低值区增长较快,由 12 个增加至 28 个,主要分布在县城建成区。

2010—2018 年,华容县沿东洞庭湖区域的中高值区下降最快,减少了 78 个,主要转换成较低值区,与同时段农田大量侵占湿地面积存在一定的关联。说明近年来荆南三口湿地面积大量减少,湿地生态系统服务功能弱化。同时三县县城的低值区上升较快,增加了 10 个,主要由较低值区转变而来,说明人类活动对农田不断开发,城镇化过程使低值区面积不断增大。具体空间分布见图 5。

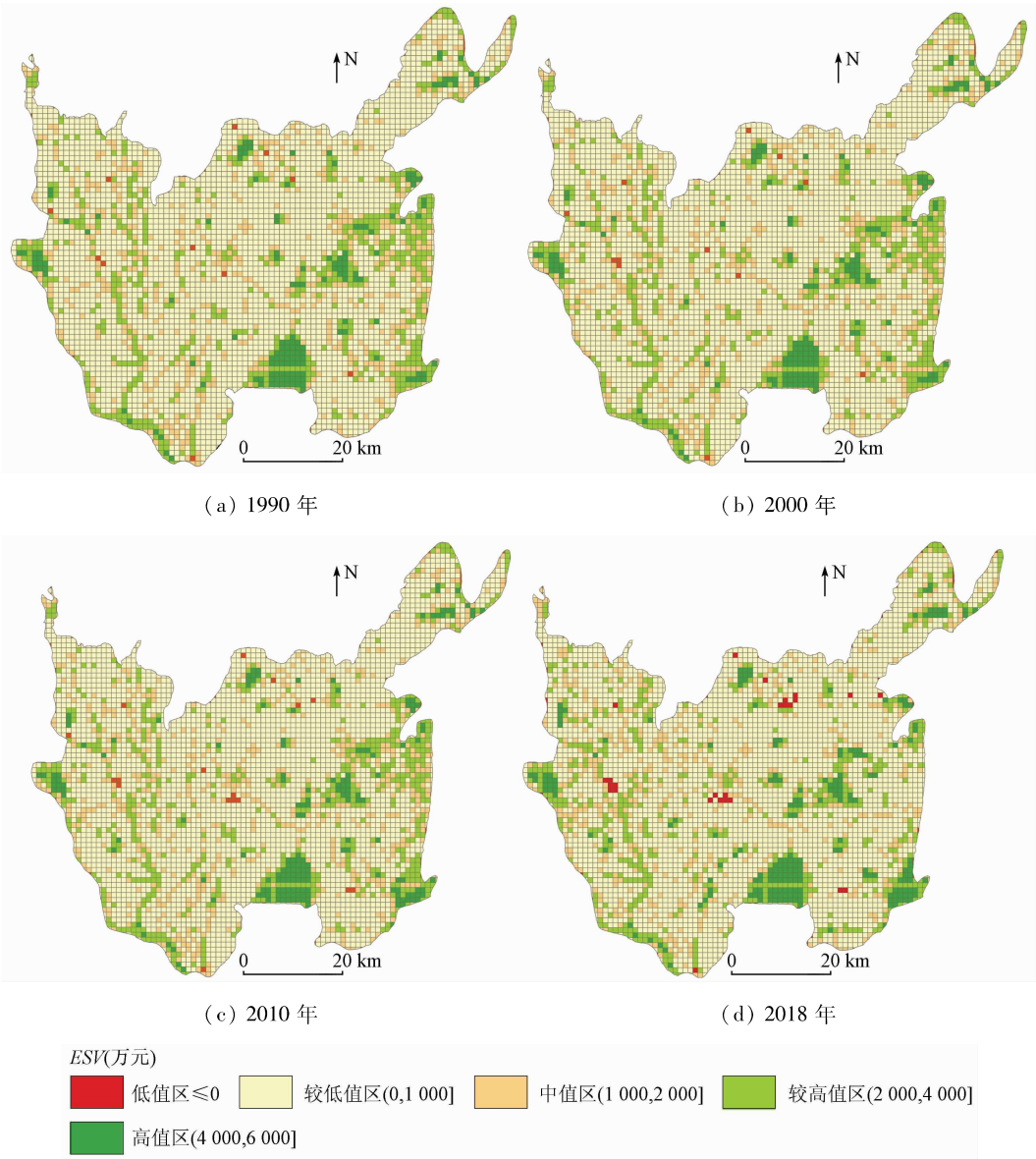


图5 1990—2018 年荆南三口生态系统服务价值的空间分布

Fig.5 Spatial distribution of *ESV* in the three outlets of southern Jingjiang River from 1990 to 2018

3.4 生态系统服务价值对城乡建设用地扩张响应

3.4.1 城乡建设用地扩张变化分析

根据各时期土地利用空间格局,运用土地转移矩阵求得荆南三口 1990—2018 年城乡建设用地侵占各地类的净面积。就发展阶段而言,1990—2018 年,荆南三口城乡建设用地扩张较为显著,总扩张量为 2 774.46 hm^2 (图 6)。1990—2005 年扩张量呈缓慢增长趋势;1995—2000 年,扩张量开始收缩,减少

了 58.46 hm^2 ; 2000—2005 年扩张量呈较快增长; 2005—2010 年,扩张量大幅下降;而 2010—2013 年扩张量大幅增加,达到峰值 1 263.30 hm^2 ; 扩张量在 2013—2018 年有所下降,表明城乡建设用地扩张经历了“缓慢—负增长—缓慢—快速—减速”的波动扩张过程。就侵占类型而言,城乡建设用地侵占耕地的面积最大,2010—2013 年达到峰值 1 098.45 hm^2 , 荆南三口位于洞庭湖区,耕地具有便利的交通、优

良的地势以及较低的开发成本,适宜建设,因此耕地转化为城乡建设用地的比例最大。2010—2013年 200.05 hm²的城乡建设用地转为水域,2013—2018年,163.50 hm²的城乡建设用地转为草地。在退田还湖的政策下,一些洪涝灾害严重的地区实

行移民建镇政策,从而退换成水域、草地,因此城乡建设用地(主要为农村居民点)转化为水域、草地的数量多。而在“耕地占补平衡”制度下,为守住耕地红线,高生态价值地类(主要为水域中的河渠、湿地中的滩地)又大量开垦,转化为耕地。

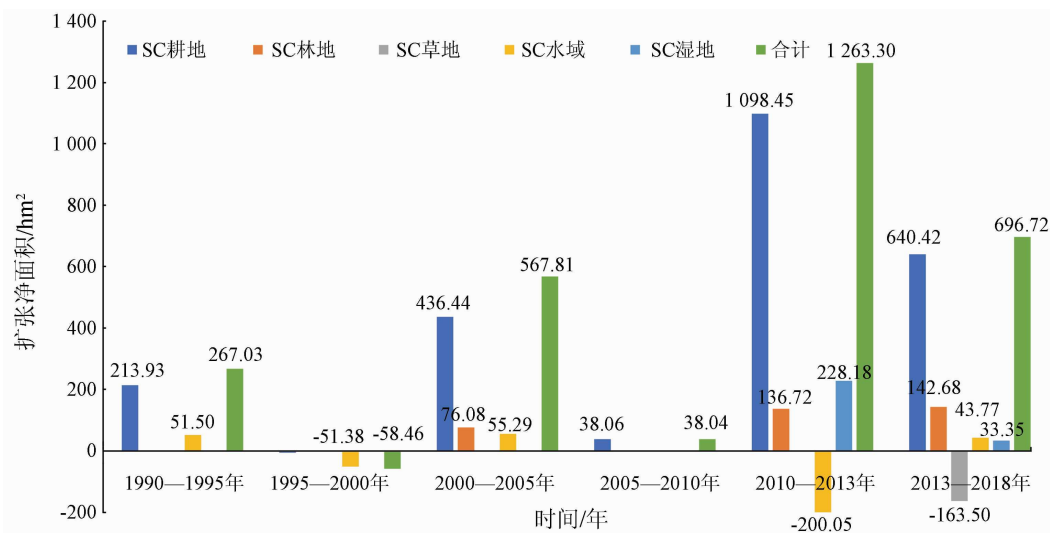


图6 1990—2018年荆南三口城乡建设用地扩张变化

Fig. 6 Changes of urban and rural construction land expansion in the three outlets of southern Jingjiang River from 1990 to 2018

3.4.2 生态系统服务价值对土地利用变化的响应机理分析

应用 SPSS 多元逐步线性回归分析,得出总体生

态系统服务价值、供给服务价值、调节服务价值、支持服务价值、文化服务价值的变化量与土地利用类型面积的变化量的回归方程分别为:

$$\Delta ESV_{\text{总}} = -0.304 \times \Delta S_{\text{耕地}} + 0.246 \times \Delta S_{\text{水域}} - 0.705, \quad (7)$$

$$\Delta ESV_{\text{供给}} = -0.022 \times \Delta S_{\text{耕地}} + 0.02 \times \Delta S_{\text{水域}} - 0.046, \quad (8)$$

$$\Delta ESV_{\text{调节}} = 0.282 \times \Delta S_{\text{水域}} - 0.195 \times \Delta S_{\text{耕地}} - 0.483, \quad (9)$$

$$\Delta ESV_{\text{支持}} = 0.027 \times \Delta S_{\text{湿地}} - 0.015 \times \Delta S_{\text{城乡建设用地}} - 0.01 \times \Delta S_{\text{耕地}} + 0.013, \quad (10)$$

$$\Delta ESV_{\text{文化}} = 0.057 \times \Delta S_{\text{湿地}} - 0.034 \times \Delta S_{\text{城乡建设用地}} - 0.002 \times \Delta S_{\text{林地}} + 0.115, \quad (11)$$

式中: ΔESV_j 为 j 类生态系统服务价值的变化量,亿元; ΔS_k 为 k 类土地利用类型面积的变化量,km²。

1) 荆南三口 ESV 的变化量与城乡建设用地、耕地、林地面积的变化量呈负相关,与水域、湿地面积的变化量呈正相关。从各地类来看,城乡建设用地、耕地、林地的 ESV 系数较低,而水域、湿地的 ESV 系数较高,因此荆南三口的 ESV 变化量与城乡建设用地、耕地、林地呈负相关,与水域、湿地呈正相关。在荆南三口用地构成中,耕地面积约占 70%,水域约占 20%,耕地主要生产水稻、豆、薯、油料等农作物,水域主要生产鱼类、虾蟹类等水产品,两者共同提供食物生产和原料生产两大服务功能,因此耕地面积是总体服务价值和供给服务价值的第一驱动力,水域面积是总体服务价值和供给服务价值的第二驱动力;在调节服务中,水域提供主要的水文调节和净

化环境功能,耕地提供主要的气体调节功能,因此水域面积是调节服务价值的第一驱动力,耕地面积是调节服务价值的第二驱动力;在支持服务中,湿地主要提供土壤保持和维持生物多样性的功能,因此湿地面积是支持服务价值的第一驱动力;在文化服务中,湿地主要提供美学景观功能,因此湿地面积是文化服务价值的第一驱动力。

2) 加强对水域、湿地的生态补偿机制,提升水文调节和美学景观服务功能,有利于减少城乡建设用地对于生态系统服务的破坏。

从各生态系统服务类型来看,城乡建设用地每增加 1 km², $ESV_{\text{文化}}$ 减少 0.034 亿元, $ESV_{\text{支持}}$ 减少 0.015 亿元,其中文化服务所受影响最大,原因在于城乡建设用地主要侵占耕地,而耕地又由湿地转换而来,导致湿地所提供的美学景观服务功能弱化。

土地利用变化是一个综合复杂的动态变化过程,通过改变地表覆被,影响生态系统的结构、过程与功能,进而引起生态系统服务价值的变化。对于荆南三口,水文调节是最重要的生态服务功能,应加强水域面积管理,同时加快推进生态人文、绿色旅游产业发展能提升美学景观服务功能,有效拉动生态经济发展,促进生态文明建设。驱动力研究表明,湿地面积大量减少是荆南三口 ESV 增长缓慢的根本原因,因此在进行生态补偿政策制定时,应强调对湿地的补偿

$$P_{ESV总} = 0.011 \times SC_{耕地} + 1.307 \times SC_{水域} + 0.261 \times SC_{湿地} + 0.520, \quad (12)$$

$$P_{ESV供给} = 0.001 \times SC_{耕地} + 0.097 \times SC_{水域} + 0.018 \times SC_{湿地} + 0.033, \quad (13)$$

$$P_{ESV调节} = 0.007 \times SC_{耕地} + 1.156 \times SC_{水域} + 0.167 \times SC_{湿地} + 0.337, \quad (14)$$

$$P_{ESV支持} = 0.002 \times SC_{耕地} + 0.035 \times SC_{水域} + 0.053 \times SC_{湿地} + 0.126, \quad (15)$$

$$P_{ESV文化} = 0.001 \times SC_{耕地} + 0.019 \times SC_{水域} + 0.023 \times SC_{湿地} + 0.024, \quad (16)$$

式中: P_{ESVj} 为研究区 j 项生态系统服务的城乡扩张损益值(逆指标)(亿元); SC_j 为城乡建设用地侵占 j 类土地利用类型的面积, hm^2 。

1) 城乡建设用地侵占高生态价值地类(水域、湿地)的比例越大,对生态的破坏性越高。城乡建设用地侵占不同地类,对荆南三口各类生态系统服务价值的减少有不同程度的影响。从各生态系统服务的损益值来看,城乡建设用地每侵占 $1\text{ }hm^2$ 耕地, $ESV_{总}$ 损失 0.011 亿元,其中 $ESV_{调节}$ 损失所占比例最大,损失 0.007 亿元;城乡建设用地每侵占 $1\text{ }hm^2$ 水域, $ESV_{总}$ 损失 1.307 亿元,其中 $ESV_{调节}$ 损失所占比例最大,损失 1.156 亿元;城乡建设用地每侵占 $1\text{ }hm^2$ 湿地, $ESV_{总}$ 损失 0.261 亿元,其中 $ESV_{调节}$ 损失所占比例最大,损失 0.167 亿元。表明城乡建设用地扩张对于调节服务的生态系统服务价值破坏性最大。从城乡建设用地侵占不同地类来看,城乡建设用地侵占水域对于 $ESV_{总}$ 、 $ESV_{供给}$ 、 $ESV_{调节}$ 的破坏性最大,分别是侵占耕地和湿地的破坏性的 118.82 倍、97 倍、165.14 倍和 5.01 倍、5.39 倍、6.92 倍,城乡建设用地侵占湿地对于 $ESV_{支持}$ 、 $ESV_{文化}$ 的破坏性最大,分别是侵占耕地和水域的破坏性的 26.5 倍、23 倍和 1.51 倍、1.21 倍。表明城乡建设用地侵占水域是生态系统服务价值损失的第一驱动力,城乡建设用地侵占湿地是生态系统服务价值损失的第二驱动力,水域和湿地面积对于荆南三口生态系统服务功能的稳定起主导作用。

2) 荆南三口的 ESV 增益值大于损失值,退田还湖等工程能有效缓解城镇化与生态环境保护的冲突。耕地、林地转化为城乡建设用地以及水域、湿地转化为耕地是导致荆南三口 ESV 损失的主要途径,

级及补偿强度,维护和强化区域整体生态系统格局的连续性,以降低 ESV 分布格局的破碎化程度。

3.4.3 生态系统服务价值对城乡建设用地扩张的响应机理分析

应用 SPSS 多元逐步线性回归分析,得出总体生态系统服务价值,供给服务价值,调节服务价值,支持服务价值,文化服务价值的损益值与城乡建设用地侵占其他地类面积的回归方程分别为:

而城乡建设用地转化为水域、草地则促进 ESV 增益。城乡建设用地扩张虽对耕地、林地的 ESV 带来了一定损失,但退田还湖、平垸行洪等举措有效地提高了荆南三口 ESV ,促进了水文调节、生物多样性等服务功能。考虑农田、森林、草地、水域、聚落、湿地等生态系统的相互依存、相互制约的关系,荆南三口未来仍需提高土地利用程度,通过保护与修复受损生态系统结构、优化区域生态系统格局,维护和增强生态系统服务,以维持生态系统较高的稳定性,通过实施生态工程、合理规划城镇用地边界、严守耕地红线以实现区域可持续发展^[25]。

4 结论

本文采用动态的当量因子法,并结合湖南省生物量因子和银行年利率予以修正,核算了荆南三口多个时期的 ESV ,研究了城乡建设用地扩张对生态系统服务的直接影响和间接响应机理,得出以下结论:

1) 1990—2018 年, ESV 整体经历了平缓的增长过程。其中,水文调节、水资源供给功能呈上升趋势,增加速度较迅速;净化环境功能呈上升趋势,增加速度较缓慢;生物多样性、美学景观功能呈下降趋势,减少速度较迅速,其余服务功能基本保持不变。

2) 荆南三口 ESV 的空间变化较为明显。其中华容县沿东洞庭湖区域的中高值区面积减少较快,源于城镇化过程使湿地面积大量减少,该区域湿地生态系统服务功能弱化。三县县城的低值区面积增加较快,源于人类活动对农田不断开发,城镇化过程

使低值区面积不断增大。

3) 荆南三口的 *ESV* 变化量与城乡建设用地、耕地、林地的变化量呈负相关,与水域、湿地的变化量呈正相关。对于荆南三口,调节服务是最重要的生态服务功能,应加强水域面积管理,同时增强湿地的文化服务功能,加快推进生态人文、绿色旅游产业,提高生态效益。

4) 耕地、林地转化为城乡建设用地以及水域、湿地转化为耕地是导致荆南三口 *ESV* 损失的主要途径,而城乡建设用地转化为水域、草地则促进 *ESV* 增益。荆南三口的 *ESV* 增益大于 *ESV* 损失,说明退田还湖等工程能够有效缓解城镇化与生态环境保护的冲突,但未来仍需实施生态工程、合理规划城市用地边界、严守耕地红线以实现区域可持续发展。

由于数据获取的限制等各方面的原因,本文还存在一些不足:在用地分类上采用的是一级分类标准,在空间数据处理上,对河渠、湖泊等水域生态系统的分析处理较为简单。在后续工作中,需要对研究区的土地利用类型进行进一步的细化,同时对河渠、湖泊等水域生态系统的用地退让一定距离,并进一步开展空间分析,使研究结果更为科学、准确。

参考文献 (References):

- [1] 刘紫玟,尹丹,黄庆旭,等. 生态系统服务在土地利用规划研究和应用中的进展——基于文献计量和文本分析法[J]. 地理科学进展,2019,38(2):236–247.
Liu Z W, Yin D, Huang Q X, et al. The progress of ecosystem services in the research and application of land use planning based on literature measurement and text analysis[J]. Advances in Geoscience, 2019, 38(2): 236–247.
- [2] 王小莉,高振斌,苏婧,等. 区域生态系统服务价值评估方法比较与案例分析[J]. 环境工程技术学报,2018,8(2):212–220.
Wang X L, Gao Z B, Su J, et al. Comparison of evaluation methods and case analysis of regional ecosystem service value[J]. Journal of Environmental Engineering Technology, 2018, 8(2): 212–220.
- [3] Brett A B, Ye Y Q, Zhang J E, et al. Connor. Land-use change impacts on ecosystem services value: Incorporating the scarcity effects of supply and demand dynamics[J]. Ecosystem Services, 2018, 32: 144–157.
- [4] Song W, Deng X Z. Land-use/land-cover change and ecosystem service provision in China[J]. Science of the Total Environment, 2017, 576: 705–719.
- [5] 郭椿阳,高尚,周伯燕,等. 基于格网的伏牛山区土地利用变化对生态服务价值影响研究[J]. 生态学报,2019,39(10):3482–3493.
Guo C Y, Gao S, Zhou B Y, et al. Effects of land use change on ecosystem service value in Funiu Mountain based upon a grid square[J]. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(10): 3482–3493.
- [6] 张丽琴,渠丽萍,吕春艳,等. 基于空间格局视角的武汉市土地

- 生态系统服务价值研究[J]. 长江流域资源与环境,2018,27(9):1988–1997.
Zhang L Q, Qu L P, Lyu C Y, et al. Study on land ecosystem service value in Wuhan with spatial structural perspective[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2018, 27(9): 1988–1997.
- [7] 亢红霞,那晓东,臧淑英. 1980—2010 年松嫩平原湿地生态服务功能价值评估[J]. 国土资源遥感,2017,29(2):193–200. doi:10.6046/gtzyyg. 2017. 02. 28.
Kang H X, Na X D, Zang S Y. Evaluation of wetland ecological service function value in Songnen Plain from 1980 to 2010[J]. Remote Sensing of Land and Resources, 2017, 29(2): 193–200. doi:10.6046/gtzyyg. 2017. 02. 28.
- [8] 张瑜,赵晓丽,左丽君,等. 黄土高原土地利用变化对生态系统服务价值的影响[J]. 国土资源遥感,2019,31(3):132–139. doi:10.6046/gtzyyg. 2019. 03. 17.
Zhang Y, Zhao X L, Zuo L J, et al. The impact of land use change on ecosystem services value in Loess Plateau[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2019, 31(3): 132–139. doi:10.6046/gtzyyg. 2019. 03. 17.
- [9] 朱晓南,刘艳中,汪樱,等. 武汉市生态系统服务功能对城市用地扩张的响应机理[J]. 长江流域资源与环境,2020,29(7):1515–1524.
Zhu X N, Liu Y Z, Wang Y, et al. Response mechanism of ecosystem service function to urban land expansion in Wuhan[J]. Yangtze River Basin Resources and Environment, 2020, 29(7): 1515–1524.
- [10] 黄日鹏,李加林,段义斌,等. 快速城镇化对杭州湾南岸慈溪市土地利用及生态系统服务价值的影响[J]. 中国水土保持科学,2018,16(5):105–113.
Huang R P, Li J L, Duan Y B, et al. Effect of rapid urbanization on land use and ecosystem service value in Cixi City, South Bank of Hangzhou Bay[J]. Science of Soil and Water Conservation in China, 2018, 16(5): 105–113.
- [11] 李嘉译,匡鸿海,谭超,等. 长江经济带城市扩张的时空特征与生态响应[J]. 长江流域资源与环境,2018,27(10):2153–2161.
Li J Y, Kuang H H, Tan C, et al. Temporal and spatial characteristics and ecological response of urban expansion in the Yangtze River economic belt[J]. Resources and Environment of the Yangtze River Basin, 2018, 27(10): 2153–2161.
- [12] 高原,何青松,张梦珂. 城市用地扩张与景观生态安全关联规律挖掘——以武汉市为例[J]. 测绘与空间地理信息,2016,39(9):5–9.
Gao Y, He Q S, Zhang M K. Mining the relationship between Urban Land use expansion and Landscape Ecological Security: A case study of Wuhan City[J]. Mapping and Spatial Geographic Information, 2016, 39(9): 5–9.
- [13] 周渝,邓伟,刘婷,等. 重庆都市区生态系统服务价值时空演变及其驱动力[J]. 水土保持研究,2020,27(1):249–256.
Zhou Y, Deng W, Liu T, et al. Temporal and spatial evolution and driving force of ecosystem service value in Chongqing metropolitan area[J]. Study on Soil and Water Conservation, 2020, 27(1): 249–256.
- [14] 郭小虎,韩向东,朱勇辉,等. 三峡水库的调蓄作用对荆江三口

- 分流的影响[J]. 水电能源科学, 2010, 28(11): 48–51.
- Guo X H, Han X D, Zhu Y H, et al. The influence of the regulation and storage of the three Gorges Reservoir on the diversion of Jingjiang River[J]. Hydropower Energy Science, 2010, 28(11): 48–51.
- [15] 邓楚雄, 钟小龙, 谢炳庚, 等. 洞庭湖区土地生态系统的服务价值时空变化[J]. 地理研究, 2019, 38(4): 844–855.
- Deng C X, Zhong X L, Xie B G, et al. Temporal and spatial variation of service value of land ecosystem in Dongting Lake area[J]. Geographical Research, 2019, 38(4): 844–855.
- [16] 耿纪文, 帅红, 张英, 李景保. 洞庭湖生态经济区土地生态系统服务价值的时空变化[J]. 中南林业科技大学学报(社会科学版), 2020, 14(4): 53–61, 76.
- Geng J W, Shuai H, Zhang Y, et al. Temporal and spatial changes of Land ecosystem service value in Dingting Lake ecological zone[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology (Social Sciences), 2020, 14(4): 53–61, 76.
- [17] 李静芝, 闫雪, 李景保. 长江中游荆南三口河网地区生态系统健康评价[J]. 水土保持研究, 2019, 26(4): 272–279.
- Li J Z, Yan X, Li J B. Ecosystem health assessment in the Sankou River network area of Jingnan in the middle reaches of the Yangtze River[J]. Soil and Water Conservation Study, 2019, 26(4): 272–279.
- [18] 谢高地, 张彩霞, 张雷明, 等. 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[J]. 自然资源学报, 2015, 30(8): 1243–1254.
- Xie G D, Zhang C X, Zhang L M, et al. Improvement of ecosystem service value method based on unit area value equivalent factor[J]. Journal of Natural Resources, 2015, 30(8): 1243–1254.
- [19] 彭文甫, 周介铭, 杨存建, 等. 基于土地利用变化的四川省生态系统服务价值研究[J]. 长江流域资源与环境, 2014, 23(7): 1053–1062.
- Peng W F, Zhou J M, Yang C J, et al. Study on ecosystem service value of Sichuan Province based on land use change[J]. Yangtze River Basin Resources and Environment, 2014, 23(7): 1053–1062.
- [20] 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(5): 911–919.
- Xie G D, Yan L, Lu C X, et al. A method of ecosystem service value based on expert knowledge[J]. Journal of Natural Resources, 2008(5): 911–919.
- [21] 谢高地, 鲁春霞, 冷允法, 等. 青藏高原生态资产的价值评估[J]. 自然资源学报, 2003(2): 189–196.
- Xie G D, Lu C X, Leng Y F, et al. Evaluation of ecological assets in Qinghai–Xizang Plateau[J]. Journal of Natural Resources, 2003(2): 189–196.
- [22] 朱晓南, 刘艳中, 陈勇, 等. 武汉市城市用地扩张对生态系统服务的时空影响[J]. 水土保持研究, 2020, 27(5): 288–294.
- Zhu X N, Liu Y Z, Chen Y, et al. Temporal and spatial effects of urban land use expansion on ecosystem services in Wuhan[J]. Study on Soil and Water Conservation, 2020, 27(5): 288–294.
- [23] 齐静, 邓伟, 周渝, 等. 三峡库区生态系统服务价值时空演变及驱动力[J]. 人民长江, 2020, 51(1): 113–119.
- Qi J, Deng W, Zhou Y, et al. Temporal and spatial evolution and driving force of ecosystem service value in the three Gorges Reservoir area[J]. People's Yangtze River, 2020, 51(1): 113–119.
- [24] 马立平. 回归分析. [M]. 北京: 机械工业出版社, 2014.
- Ma L P. Regression analysis. [M]. Beijing: Machinery Industry Press, 2014.
- [25] 孔令桥, 郑华, 欧阳志云. 基于生态系统服务视角的山水林田湖草生态保护与修复——以洞庭湖流域为例[J]. 生态学报, 2019, 39(23): 8903–8910.
- Kong L Q, Zheng H, OuYang Z Y. Ecological protection and restoration of landscape forest and lake grass from the perspective of ecosystem service: A case study of Dongting Lake Basin[J]. Journal of Ecology, 2019, 39(23): 8903–8910.

Response mechanism of ecosystem service value to urban and rural construction land expansion in the three outlets of the southern Jingjiang River

LI Xia¹, LI Jingzhi^{1,2}

(1. College of Architecture, Changsha University of Science & Technology, Changsha 410076, China; 2. Key Laboratory of Water Environment Management and Ecological Rehabilitation in Dongting Lake, Hunan Province, Changsha 410114, China)

Abstract: In view of the shortcomings of the current research on the response mechanism of ecosystem services value to urban and rural construction land expansion, By taking the three outlets of southern Jingjiang River as the research object, this study calculates the ecosystem service value of the three outlets of southern Jingjiang River by equivalent factor method, analyzes the temporal and spatial variation characteristics of ecosystem service value, and analyzes the response mechanism of ecosystem service value to urban and rural construction land expansion by linear regression method. The results show that from 1990 to 2018, ESV in the three outlets of southern Jingjiang River increased from 44.356 billion yuan to 47.103 billion yuan, which experienced a gentle growth process as a whole. The spatial difference of ESV was obvious. Specifically, the area of the high- and medium-value areas decreased rapidly, and the area of the low-value areas increased rapidly. The expansion of construction land was more

significant, with a total expansion of 27.74 km^2 , which experienced the fluctuating expansion process of "slow – negative – slow – rapid – decelerated expansion". Construction land occupied different types of land, which has different degrees of impact on the loss and gain values of all kinds of ecosystem services, and the greater the proportion of occupation high ecological value land (water area, wetland), the higher the damage to the ecology. In the future use of the land of the three outlets of southern Jingjiang River, the traditional expansion mode of construction land should be changed, the boundary of urban land use should be reasonably planned, the red line of arable land should be strictly observed, and the level of intensive land use should be improved. At the same time, we should improve the management system of rivers and lakes, make more efforts on the ecological protection and restoration of rivers and lakes, and improve the ecological service function for rivers and lakes.

Keywords: ecosystem service; ecosystem service value; urban and rural construction land expansion

(责任编辑: 李 瑜)