

文章编号:1001—7380(2023)04—0017—08

基于 LUCC 的盐城市生态系统服务 价值评估及其驱动力分析

周 侗¹, 姚 豪^{2*}

(1. 南通大学地理科学学院, 江苏 南通 226019; 2. 南通大学经济与管理学院, 江苏 南通 226019)

摘要:以湿地城市盐城市为研究对象,基于多期土地利用和社会经济数据,结合土地利用转移矩阵、当量因子法、重心转移模型,评估了盐城市土地利用变化与生态系统服务价值(ESV)的时空分布特征,并采用 MGWR 模型剖析了 ESV 的响应机制。研究表明:(1)2000—2020 年,盐城市的土地利用格局发生显著变化,耕地始终是主要土地利用类型,转出的面积最大,建设用地增幅大,水域面积基本稳定。(2)总 ESV 整体呈削减趋势,研究期内减少 43.71 亿元,耕地、湿地、水域等生态用地是盐城市 ESV 主要贡献地类,ESV 最优区主要分布在东部沿海一带,低值 ESV 分散于各区县中心城区,ESV 重心总体向东南方向移动 15.67 km。(3)ESV 变化受到多种因素共同作用,其中 DEM、MAT、PD 对部分地区的 ESV 有显著负效应,DR 对 ESV 有正负“双向”效应,空间异质性明显。

关键词:土地利用;生态系统服务价值;时空演变;驱动力;盐城市

中图分类号:F301.2;F326.2;X171.1 文献标志码:A doi:10.3969/j.issn.1001-7380.2023.04.004

Ecosystem service value assessment and its driving force analysis in Yancheng City based on LUCC

Zhou Tong¹, Yao Hao^{2*}

(1. School of Geographical Sciences, Nantong University, Nantong 226019, China;

2. Economics and Management School, Nantong University, Nantong 226019, China)

Abstract: Taking the wetland city of Yancheng City as the study area, the spatio-temporal distribution characteristics of land use change and ecosystem service value (ESV) were assessed based on land use and socioeconomic data in multiple periods, combined with land use transfer matrix, equivalent factor method and gravity transfer model, and the response mechanism of ESV was dissected via the MGWR model. The results were as follows: (1) The land use pattern in Yancheng City has changed observably, with cropland being always the main land use type and the largest area transferred out, a large increase in construction land, and a basically stable water area from 2000 to 2020. (2) The total ESV showed an overall reduction trend of 4.371 billion yuan in research period, with cropland, wetlands, water and other ecological land being the main contributors to ESV in Yancheng City. The ESV optimal area was mainly located along the eastern coast, while the low-value ESV was scattered in the central urban area of the districts and counties, with the centre of gravity of ESV generally shifted 15.67 km to the southeast. (3) The variation of ESV was affected by many factors. Digital elevation model (DEM), mean annual temperature (MAT) and population density (PD) had distinctively negative effects on ESV in some regions, and DR had both positive and negative “bidirectional” effects on ESV, accompanied by obvious spatial heterogeneity.

Key words: Land use; Ecosystem service value (ESV); Spatio-temporal evolution; Driving force; Yancheng City

收稿日期:2023-05-04;修回日期:2023-06-05

基金项目:国家社会科学基金重大项目“中国东南海洋史研究”(19ZDA189)

作者简介:周 侗(1978—),男,江苏徐州人,副教授,硕士生导师,博士。主要从事 GIS 空间分析与土地利用研究。E-mail: tonggis@163.com

* 通信作者:姚 豪(1996—),女,河南郑州人,硕士研究生。主要从事土地资源管理研究。E-mail: yhwillow@163.com

生态系统服务价值 (Ecosystem Service Value, *ESV*) 主要指人类能够直接或间接地从生态环境中获得收益的客观体现, 包括有形的物品供给和无形的服务供给^[1-2]。土地利用/覆被变化 (Land Use and Cover Change, *LUCC*) 是全球气候与环境变化的重要研究内容, 与 *ESV* 息息相关^[3]。*LUCC* 通过影响水循环、碳循环、土壤更新等生态过程, 进而使生态系统格局和功能发生相应改变, 最终对 *ESV* 类型和强度变化起决定性作用^[4-6]。但山水林田湖草沙等公共生态资源具有竞争性、非排他性, 难以定价, 如何引入经济学理论评估土地利用结构对 *ESV* 的影响及其变化, 成为生态学界和各国政府共同关注的热点话题之一^[7-8]。因此, 多尺度评估 *LUCC* 对 *ESV* 的影响及其作用机制, 对于识别生态环境质量变化、科学制定区域生态绿色一体化规划政策、实现生态保护和经济高质量发展双赢目标具有重要意义^[9-10]。

当前生态系统服务价值的研究, 主要包括时空演化过程^[11]、权衡协同关系^[12]、多情景模拟^[13]等。从数据来源看, 逐步由自行解译的遥感影像数据^[14]向公开的 *LUCC* 数据集转变^[8]。从研究尺度看, 覆盖省市县^[15-16]、城市群^[17]、流域^[18]、农牧交错带^[19]等多重尺度。从驱动机理看, *ESV* 受 *LUCC*、*GDP*、人口等因素共同作用, 不同驱动因子对区域 *ESV* 分布的异质性存在差异^[20]。常见的研究方法包括地理探测器 (GeoDetector)^[21]、结构方程 (SEM)^[22]、地理加权回归 (GWR)^[23]等。尽管已有研究从多尺度考虑 *LUCC* 对 *ESV* 的影响, 但未将其与 *ESV* 位置方向变化和空间异质性研究有机结合, 难以准确揭示某一地区生态系统服务的时空演变特征。

全国水生态文明城市盐城市凭借海洋、湿地、滩涂等丰厚的生态资源, 被列入第二批国际湿地城市名单。《盐城市“十四五”生态环境保护规划》指出要“着力打造绿色沿海生态屏障, 共建滨海生态特色宜居城市”, 显示出盐城市在江苏省乃至长三角地区生态绿色一体化发展战略中的地位愈发重要。基于此, 本文以盐城市为例, 基于 2000—2020 年 *LUCC* 数据, 结合土地利用转移矩阵、单位面积当量因子法、重心转移模型, 评估盐城市的 *ESV* 及其空间演变特征, 并引入 MGWR 揭示 *ESV* 的时空响应机制, 为区域土地利用科学调整和生态环境保护修复提供数据支撑和决策依据。

1 研究区域与数据来源

1.1 研究区概况

盐城市位于江苏省东部沿海地区 (119°27′—120°27′E, 32°34′—34°28′N), 东临黄海, 西连淮安、扬州和泰州, 南接南通, 北望连云港。该市地处长三角城市群北翼, 由黄淮海平原、里下河平原和滨海平原 3 个平原区组成, 平均海拔 5 m, 地势开阔平坦; 盐城市位于北亚热带向暖温带气候过渡地带, 年均气温 18 ℃, 年均降水量 1 014.7 mm, 气候温和。全市总面积 16 931.3 km², 沿海滩涂面积 4 553 km², 海岸线长 582 km。全境水网密布, 自然湿地面积 7 696 km², 湿地率达 38%, 湿地生态资源丰富独特, 被誉为“东方湿地之都”。全市辖 3 区 5 县, 代管 1 县级市, 2020 年地区 *GDP* 达 6 617.39 亿元, 常住人口为 671.30 万人。

1.2 数据来源及处理

研究数据包括基础数据、社会经济面板数据、*ESV* 驱动因子数据。基础数据中的 2000—2020 年 3 期土地利用数据来自 GlobeLand30, 空间分辨率 30 m, 并将其重分类为耕地、林地、草地、湿地、水域、建设用地和未利用地 7 种地类。社会经济面板数据中的主要粮食产量、市场价格、播种面积等统计数据来源于《盐城市统计年鉴 (2001—2021)》《中国农产品价格调查年鉴 (2001—2021)》; *SO*₂ 当量征收费用、生活 *SO*₂ 排放量、生活垃圾处理费、生活垃圾清运费数据来源于《盐城市生态环境统计报表 (2000—2020)》。*ESV* 驱动因子数据中的高程 (Digital Elevation Model, *DEM*) 下载自地理空间数据云; 归一化植被覆盖指数 (*NDVI*)、植被净初级生产力 (*NPP*) 均通过 Google Earth Engine (*GEE*) 平台获取并处理; 年均降雨量 (*AAR*)、年均气温 (mean annual temperature, *MAT*) 来源于中科院资源环境科学与数据中心; 水系 *POI* 来自 Open Street Map (*OSM*), 计算不同地类到水系的欧氏距离 (*DR*); 人口密度 (Population density, *PD*) 下载自 LandScan。

2 研究方法

2.1 土地利用转移矩阵

土地利用转移矩阵^[24]可定量描述一定时序内各土地利用类型之间的数量变化和转移方向, 能够揭示区域地类格局的动态演化过程, 其数学模型如下:

$$S_{ij} = \begin{Bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} & \cdots & S_{1n} \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} & \cdots & S_{2n} \\ S_{31} & S_{32} & S_{33} & \cdots & S_{3n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ S_{n1} & S_{n2} & S_{n3} & \cdots & S_{nn} \end{Bmatrix} \quad (1)$$

式中, S_{ij} 表示各土地利用类型面积; i, j 分别为研究初期和末期的土地利用类型, 各分布在转移矩阵的行和列中; n 为土地利用类型数目。

2.2 生态系统服务价值测算

结合谢高地修正的当量因子表^[25]核算盐城市 ESV , 根据地区土地利用与植被覆盖类型, 修正 ESV 当量因子权重, 建设用地的部分系数使用成本替代法^[26]完善; 并结合地区主要粮食作物的单位面积产量、市场平均价格, 计算出盐城市单位面积粮食产量的经济价值量为 2 641. 17 元/hm², 最终确定盐城市单位面积 ESV 系数(见表 1)。

表 1 盐城市生态系统服务价值系数

元/(hm²·a)

生态系统服务项目	耕地	林地	草地	湿地	水域	建设用地	未利用地
供给服务							
食物生产	2 918. 49	633. 88	616. 27	1 346. 99	2 112. 93	0. 00	0. 00
原料生产	647. 09	1 439. 44	906. 80	1 320. 58	607. 47	0. 00	0. 00
水资源供给	-3 446. 72	739. 53	501. 82	6 840. 62	21 895. 27	0. 00	0. 00
调节服务							
气体调节	2 350. 64	4 727. 69	3 187. 01	5 018. 22	2 033. 70	-184. 88	52. 82
气候调节	1 228. 14	14 169. 86	8 425. 32	9 508. 20	6 048. 47	0. 00	0. 00
净化环境	356. 56	4 239. 07	2 782. 03	9 508. 20	14 658. 47	-35 787. 80	264. 12
水文调节	3 948. 54	10 683. 52	6 171. 52	63 995. 46	270 032. 83	0. 00	79. 23
支持服务							
土壤保持	1 373. 41	5 770. 95	3 882. 51	6 101. 09	2 456. 28	0. 00	0. 00
维持养分	409. 38	435. 79	299. 33	475. 41	184. 88	0. 00	0. 00
生物多样性	449. 00	5 255. 92	3 530. 36	20 785. 98	6 734. 97	0. 00	52. 82
文化服务							
美学景观	198. 09	2 311. 02	1 558. 29	12 492. 72	4 991. 80	0. 00	26. 41
总计	10 432. 61	50 406. 66	31 861. 27	137 393. 46	331 756. 88	-35 972. 68	528. 23

生态系统服务价值核算法可直接以货币形式测算一定时空内的生态系统服务总价值, 计算表达式为

$$ESV = \sum_{j=1}^{11} \sum_{i=1}^7 A_i \times E \times E_{ij} \quad (2)$$

式中, A_i 为第 i 类土地的面积(hm²); E 为单位面积粮食产量的经济价值[元/(hm²·a)]; E_{ij} 为第 i 类土地的第 j 项 ESV 系数。

2.3 重心转移模型

重心转移模型基于各种地理要素发展过程中空间位置的迁移, 根据标准差椭圆的重心、方位角、长轴、短轴等参数, 分析要素的时空分布整体特征、迁移规律^[9]。长轴越长表征要素分布具有显著方向性, 短轴越短表明要素分布具有明显聚合力。计算表达式为

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^n M_i X_i / \sum_{i=1}^n M_i \quad (3)$$

$$\bar{Y} = \sum_{i=1}^n M_i Y_i / \sum_{i=1}^n M_i \quad (4)$$

式中, \bar{X} , \bar{Y} 表示不同年份的重心坐标; M_i 为第 i 个空间要素的 ESV ; X_i , Y_i 为第 i 个空间要素的

重心坐标; n 为空间单元个数。

2.4 MGWR 模型

MGWR 模型为不同自变量优化选择独立的带宽, 允许因变量和各自变量间的条件关系在不同空间尺度上改变, 可用于探究盐城市 ESV 的空间异质性特征^[27], 数学表达式为

$$y_i = \beta_{b0}(u_i, v_i) + \sum_{j=1}^n \beta_{bwj}(u_i, v_i) x_{ij} + \varepsilon_i \quad (5)$$

式中: y_i 表示因变量 ESV ; (u_i, v_i) 为 i 点的中心坐标; $\beta_{b0}(u_i, v_i)$ 为模型在 i 点的截距; bwj 代表第 j 个驱动因子自变量加权回归系数使用的带宽; $\beta_{bwj}(u_i, v_i)$ 、 x_{ij} 分别为 i 点第 j 个驱动因子自变量在 (u_i, v_i) 中心坐标上的加权回归参数和数值; ε_i 是模型在 i 点的误差项。

3 结果与分析

3.1 土地利用演变特征

根据土地利用重分类结果得到 2000—2020 年盐城市土地利用转移矩阵(见表 2)和图谱(如图 1)。整体来看, 耕地是盐城市最主要的土地利用类型, 其次为水域和建设用地, 未利用地最少, 且各地

类之间存在相互转化现象。2000—2020 年,耕地、湿地面积呈现持续减少趋势,林地、草地、水域、建设用地以及未利用地则处于上升状态。其中,耕地共计转出 85 163. 44 hm²,大批耕地流向建设用地和水域,且Ⅱ阶段(2010—2020)的转出强度明显高于Ⅰ阶段(2000—2010)。21 a 内水域面积共减少

77 402. 97 hm²,多向耕地和湿地方向转出。建设用地面积增长了 1 倍,且在Ⅱ阶段的转入面积最大,共转入 11 855. 79 hm²。林地、草地面积逐年增长,增长速率较大,分别由耕地和湿地转入,未利用地的转移活动最弱。建设用地向黄海一侧扩张态势明显,一定程度威胁了耕地、湿地的生态安全。

表 2 2000—2020 年盐城市土地利用转移矩阵 hm²

土地利用类型	2020 年							
	耕地	林地	草地	湿地	水域	建设用地	未利用地	总计
耕地	1 107 117. 54	10 272. 96	528. 39	566. 37	64 904. 85	88 795. 8	0. 45	1 272 185. 64
林地	4. 05	10. 53	4. 05	—	—	—	—	23. 67
草地	23. 49	4. 41	142. 74	—	126. 54	138. 15	—	435. 33
湿地	4 967. 46	0. 09	829. 80	5 666. 76	13 977. 27	1 670. 31	—	27 111. 69
水域	61 458. 03	70. 92	784. 08	5 989. 41	88 888. 59	9 100. 53	—	166 291. 56
建设用地	13 451. 67	20. 61	2. 97	5. 67	1 496. 34	68 849. 28	—	83 826. 54
总计	1 187 022. 24	10 379. 52	2 292. 03	12 228. 21	169 393. 59	168 558. 39	0. 45	1 549 874. 43

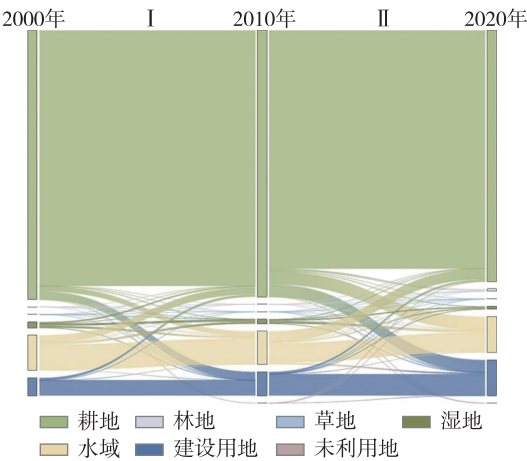


图 1 2000—2020 年盐城市土地利用类型转移图谱

3.2 生态系统服务价值测算

从总价值测算结果(见表 3)可以看出,2000—2020 年盐城市 *ESV* 整体呈先减后增的“V”字型演变特征,2020 年的 *ESV* 同比 2000 年减少 43. 71 亿元,变化率为-6. 32%,先由 2000 年的 691. 65 亿元下降到 2010 年的 639. 79 亿元,再上涨至 2020 年的 647. 94 亿元,降幅和涨幅分别达 7. 50%和 1. 27%。从不同土地利用类型的 *ESV* 来看,水域是盐城市 *ESV* 的重要贡献地类,贡献率达 79. 76%,其次是耕地和湿地,分别占比 20%和 4%左右,林地、草地、未利用地的 *ESV* 贡献率较小,而建设用地对盐城市 *ESV* 的贡献度始终为负。研究

时段内,耕地、建设用地 *ESV* 持续下降,特别是建设用地价值下降幅度较大,从-30. 15 亿元减少至-60. 63 亿元,变化率为 101. 09%。湿地和水域价值分别呈波动减少和增长趋势,变化率各为-54. 90%和 1. 87%。林地、草地、未利用地价值均偏低,对总 *ESV* 贡献作用甚微。对比 2 阶段,2000—2010 年,盐城市 *ESV* 减少 51. 86 亿元,仅林地和草地价值少量增加,其他地类均明显下降。2010—2020 年,耕地、湿地、建设用地价值持续减少,其中建设用地下降最为明显,其他地类的 *ESV* 均呈上升状态,因此 2020 年 *ESV* 有所回升。

从各生态服务类型 *ESV*(如图 2)来看,研究时段内盐城市一级生态服务类型降序排列为:调节服务>支持服务>供给服务>文化服务。调节服务是盐城市总 *ESV* 的关键类型,所提供的 *ESV* 占总 *ESV* 的 84%,主要由于耕地、湿地、水域较高的 *ESV* 系数和较强的调节功能,且 3 种地类面积占比高达 91. 85%。水文调节服务在各时期二级服务功能中占主导地位,水文调节的 *ESV* 系数偏高,与研究区水系发达有关,致使水文调节维持的 *ESV* 最高,但研究期减少 1. 88 亿元,变化率为-0. 36%。其次为食物生产和气体调节,价值分别占比 6%和 5%。由于水资源供给和净化环境的 *ESV* 系数负值较高,且地区耕地和建设用地面积大、用水需求量大,导致 2 种服务功能 *ESV* 长期保持负值。

表 3 2000—2020 年盐城市各土地利用类型的生态系统服务价值

ESV	年份	耕地	林地	草地	湿地	水域	建设用地	未利用地	总计
价值/亿元	2000	132.72	0.01	0.14	37.25	551.68	-30.15	0.00	691.65
	2010	131.32	0.11	0.26	28.98	519.55	-40.43	0.00	639.79
	2020	123.84	5.23	0.73	16.80	561.98	-60.63	0.00	647.94
变化率/%	2000—2010	-1.05	1 000	85.71	22.20	-5.82	34.10	0.00	-7.50
	2010—2020	-5.70	4 654.55	180.77	-42.03	8.17	49.96	0.00	1.27
	2000—2020	-6.69	5 200.00	421.43	-54.90	1.87	101.09	0.00	-6.32

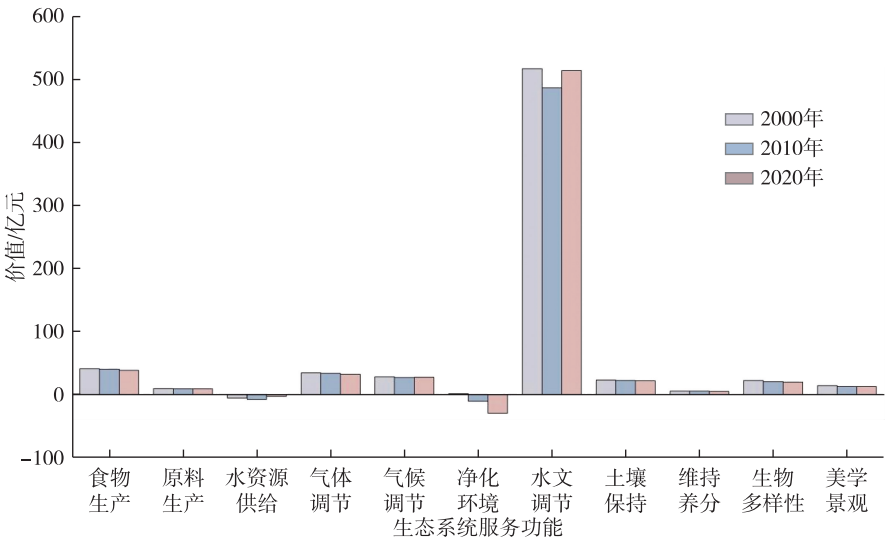


图 2 2000—2020 年盐城市不同功能的生态系统服务价值

3.3 生态系统服务价值时空分异特征

对 3 期生态系统服务价值格网数据进行插值处理,采用自然间断点法^[8]将其由低至高划分为 5 个等级,并绘制生态系统服务价值时空分异图(如图 3)。2000—2020 年盐城市 *ESV* 空间分异明显,总体呈现“中心低、四周高”的分布态势。*ESV* 高值区主要覆盖各区县周边以及东南海陆交界的耕地、湿地、水域等生态用地,低值区则分散在盐城市建成区和县中的发达地段,以城乡、居住用地等建设用地为主,与研究区土地利用分布基本吻合。从行政区划上看,各区县中心繁华地段的植被覆盖度低,人类活动密集,建设用地密度高,*ESV* 以低值为主,范围也由中心不断向外扩展。而射阳县、大丰区、东台市临海以及响水县、滨海县东北部地区耕地广阔、水系发达,且水域的水文调节功能系数较高,因此 *ESV* 等级多以四级、五级为主,且覆盖区域范围呈先缩后扩的趋势,表明各区县在生态文明建设进程中,严控耕地和生态保护红线,通过土地资源优化配置方式,大部分地区的生态环境质量得到明显

改善,*ESV* 等级也相应提高。

3.4 生态系统服务价值重心转移

采用重心转移模型得到盐城市生态系统服务价值的空间分布情况(如图 4),可以看出:(1)重心迁移上,2000,2010,2020 年的 *ESV* 标准差椭圆始终呈西北—东南分布,在此方向上较为密集,重心先向西北方向迁移 5.15 km,再向东南方向移动 19.49 km,主要在射阳县、亭湖区、大丰区交界处来回变动。(2)轴距变化上,2000—2020 年长轴先由 88.78 km 增加至 90.05 km 再减少至 73.38 km,表明盐城市 *ESV* 的分布在长轴方向上先分散后聚集;短轴距离持续变大,由 36.71 km 增长至 41.19 km 再增长至 41.78 km,说明盐城市 *ESV* 在东北—西南方向逐渐分散化。(3)在分布范围上,盐城市 *ESV* 的空间分布总体呈现收缩趋势,经历了先缓增后骤缩的波动式下降过程,椭圆面积由 2000 年的 10 238.19 km² 浮动缩小至 2020 年的 9 560.87 km²,表明盐城市 *ESV* 分布范围逐步缩小。

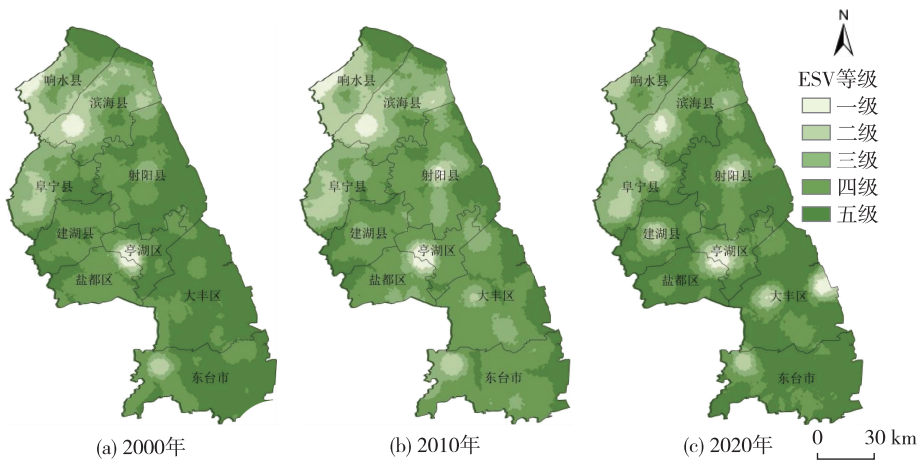


图 3 2000—2020 年盐城市生态系统服务价值时空分异

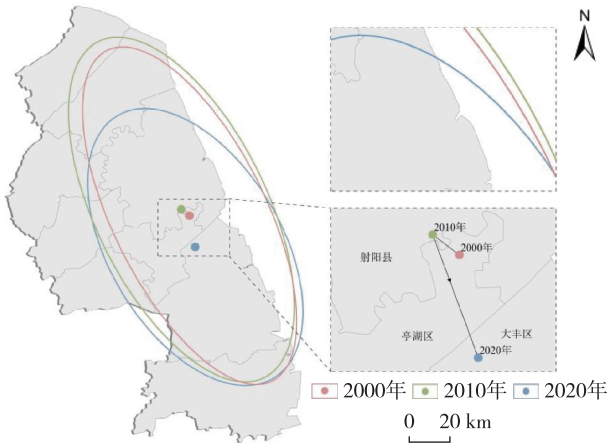


图 4 2000—2020 年盐城市生态系统服务价值标准差椭圆及重心分布

3.5 生态系统服务价值驱动路径

根据驱动因子 Pearson 相关性分析和 OLS 共线性诊断结果(见表 4)表明,2000 年的 CA 和 2020 年的 NPP 未通过显著性检验,且 NDVI,AAR,NPP,CA,WA 的 VIF 值均大于 5,存在较严重的共线性问题,将影响后续空间回归模型预测结果的准确性。最终以 ESV 为因变量,选取 DEM,MAT,DR,PD 为自变量,采用 MGWR 模型探讨 ESV 驱动因素的空间异质性规律。各时段 MGWR 拟合结果达到较高水平, R^2 分别为 0.733,0.809,均接近 1,表明 MGWR 模型的拟合效果较好,解释效果佳。

各核心驱动因子对盐城市 ESV 均产生正负“双向”效应,相互之间的相关效应存在显著的区域差异性(如图 5)。2000 年 DEM 对 ESV 的负向驱动效应较为显著,回归系数的负值比例达到 66.26%,

表 4 2000—2020 年盐城市ESV驱动因子显著性及多重共线性诊断结果

驱动因子	2000 年			2020 年		
	<i>t</i>	<i>P</i>	VIF	<i>t</i>	<i>P</i>	VIF
DEM	-14.911	-0.228 ***	1.416	-9.213	-0.11 ***	1.458
NDVI	-13.34	-0.16 ***	8.564	8.249	0.033 * *	3.018
AAR	-20.558	-0.306 ***	1.985	8.976	0.177 ***	5.232
MAT	-1.418	0.211 ***	2.138	-4.861	0.053 ***	1.554
DR	7.472	0.18 ***	1.29	10.057	0.15 ***	1.127
PD	-27.241	-0.46 ***	1.22	-25.9	-0.645 ***	1.551
NPP	3.839	0.109 ***	2.89	1.894	-0.019	2.021
CA	56.286	0.016	6.725	76.786	0.329 ***	3.226
WA	42.26	0.345 ***	7.545	70.813	0.292 ***	3.553

注:***: $P<0.01$, **: $P<0.05$, *: $P<0.1$

2020 年负值比例下降到 40.49%,正向效应增强,但在盐城市西南部分地区表现出较强的负面影响。2000 年 MAT 对 ESV 基本上以负向效应为主,但随着时间推移,至 2020 年此种影响逐渐减弱,正向效应明显得到加强,正值比例由 37.87% 上升至 67.52%,回归系数的均值也从 -0.037 增长至 0.098,且在盐城市的各个地区表现出极强的正效应。DR 对不同地区的 ESV 有着正负“双向”影响,2 期回归系数的正负值占比均保持在 50%左右,均值分别为 0.015,-0.002,正负效应存在相互均衡现象,且各等级回归系数的格网在地区内均匀分布。由于研究区内地势低平、河网密布、水系发达,以及可持续生态管理政策的有效实施,大幅提高了盐城地区的 ESV。PD 与 ESV 的负面相关性在空间上有明显异质性,产生负面影响的 2 期格网数量分别占比 96.77%,99.51%,均呈现较强的负相关关系。研

究区内人口密度的上升会使 *ESV* 有所下降,负相关 覆盖范围也呈现逐年扩大、集中连片分布趋势。

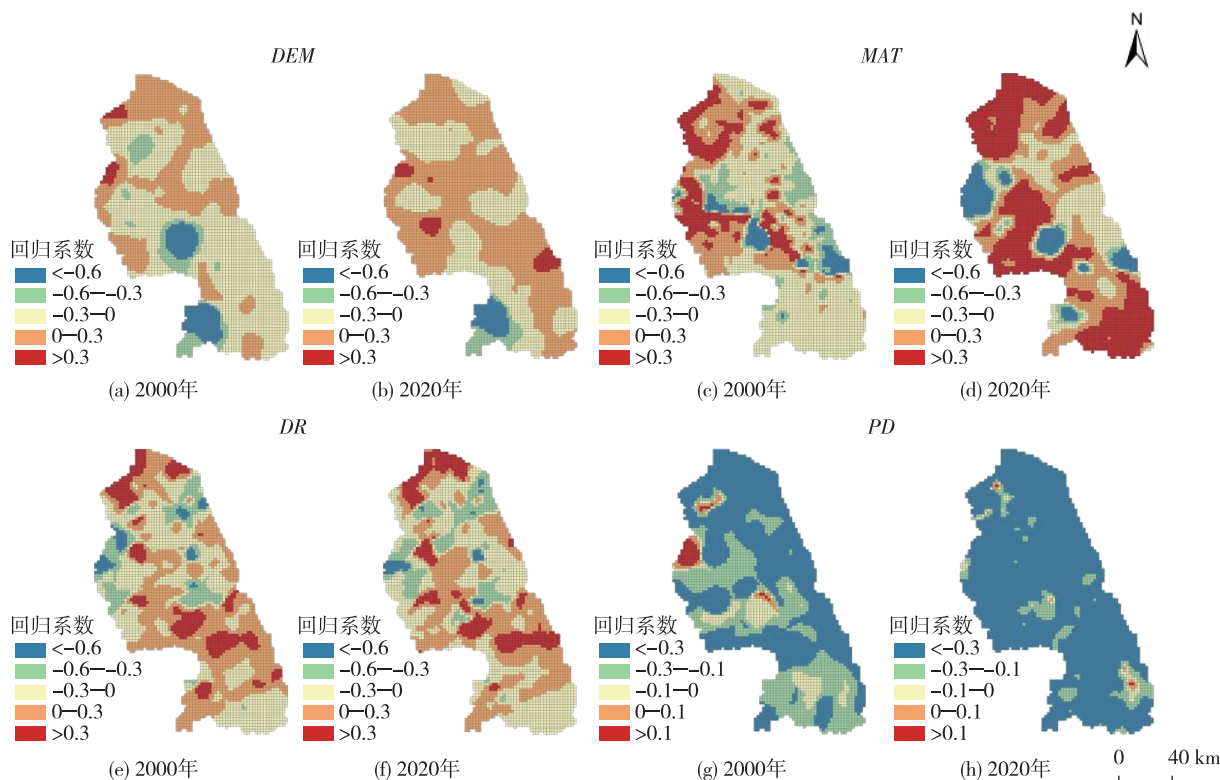


图5 2000—2020年盐城市各驱动因子与 *ESV* 相关系数的空间分布

4 结论与讨论

4.1 结论

(1) 2000—2020年,耕地、水域和建设用地是盐城市的主要土地利用类型,在城市化进程的成熟阶段,3者在总面积中的占比始终保持在98.22%以上。耕地共计减少85 163.44 hm^2 ,主要转出方向为建设用地、水域。建设用地总计转入84 731.85 hm^2 ,来源多为耕地、湿地、水域。

(2) 2021年内总 *ESV* 先减后增,空间上整体呈现“中心低、四周高”的分布格局。生态用地中的水域、耕地、湿地是盐城市 *ESV* 的重要贡献地类,水文调节 *ESV* 贡献度最高。*ESV* 标准差椭圆向东南迁移,空间分布范围缩小,向心力变弱,该市东南地区的生态环境质量优于其他地区。

(3) *MGWR* 模型的拟合结果可靠,较好地揭示了各驱动因素与 *ESV* 间的不同作用关系。*DEM*、*MAT* 对 *ESV* 的负向效应趋于减弱,*DR* 对不同地区的 *ESV* 有正向或负向影响,空间异质性明显,人口增长使得 *PD* 对地区 *ESV* 有着负向影响,对盐城市建设生态宜居城市产生一定压力。

4.2 讨论

本文基于 LUCC 数据,采用当量因子法、*MGWR* 模型等方法,定量研究了盐城市 *ESV* 演变及其驱动机理。创新点在于考虑建设用地扩张对城市生态环境的负面效应,结合成本替代法完善建设用地的 *ESV* 部分系数,提高了 *ESV* 核算结果的准确度。但从中发现盐城市生态文明建设中产生的主要问题,提出相应政策建议,以扎实推进“生态立市”战略。(1) 长期以来,城市建设用地无序扩张导致耕地面积锐减,威胁到农业发展、粮食安全、生态稳定,因此要优化空间格局,增强发展动能,合理规划、引导城镇、农业、生态3类空间格局,坚守最严格的耕地保护制度,同时严控建设用地增量,提高存量用地再开发利用效率。(2) 盐城市凭借优越的生态资源打造了“国际湿地城市”名片,但土地利用格局的空间差异性造成 *ESV* 东高西低的局面,为改善此现状,需因地制宜、精准施策,有效提升东部沿海地区湿地保护水平、逐步恢复中心城区自然原始河湖形态、高标准建设西部芦荡地区生态景观工程。

参考文献:

- [1] COSTANZA R, D'ARGE R, DE GROOT R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. *Nature*, 1997, 387: 253-260.
- [2] COSTANZA R, DE GROOT R, SUTTON P, et al. Changes in the global value of ecosystem services[J]. *Global Environmental Change*, 2014, 26: 152-158.
- [3] WEI S, DENG X Z. Land-use/land-cover change and ecosystem service provision in China[J]. *Science of the Total Environment*, 2017, 576: 705-719.
- [4] 王大菊,卫海燕,贺敏,等.基于土地利用的三峡库区生态系统服务价值时空格局分析[J]. *长江流域资源与环境*, 2020, 29(1): 90-100.
- [5] 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[J]. *地理科学进展*, 2014, 33(4): 441-446.
- [6] 杨应增,周来丰,夏伟,等.基于土地利用变化的赤水河流域生态系统服务价值变化分析[J/OL]. *环境工程技术学报*: 1-14 [2023-02-16].
- [7] FELIPE-LUCIA M R, SOLIVERES S, DENONE C, et al. Land-use intensity alters networks between biodiversity, ecosystem functions, and services[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2020, 117(45): 28140-28149.
- [8] 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.
- [9] 梁赞亮,李杰,陆燕花,等.基于LUCC的甘肃省农牧交错带生态系统服务价值评估及时空演变特征研究[J]. *草业学报*, 2023, 32(5): 13-26.
- [10] 王军,顿耀龙.土地利用变化对生态系统服务的影响研究综述[J]. *长江流域资源与环境*, 2015, 24(5): 798-808.
- [11] 李紫健,陈江平,张伟康,等.湖北省生态系统服务价值演变及影响因素分析[J]. *测绘科学*, 2023, 48(1): 245-257.
- [12] 温玉玲,张小林,魏佳豪,等.鄱阳湖环湖区生态系统服务价值时空变化及权衡协同关系[J]. *地理科学*, 2022, 42(7): 1229-1238.
- [13] 杨伟青,张会兰.基于GeoSOS-FLUS的涪江流域生态系统服务价值评估及多情景模拟[J]. *水土保持研究*, 2022, 29(5): 253-262.
- [14] 杨宗之,李亚丽.基于LUCC的南昌市生态资产价值演变及生态经济协调性研究[J]. *生态经济*, 2022, 38(3): 182-187.
- [15] 姜晗,吴群.基于LUCC的江苏省生态系统服务价值评估及时空演变特征研究[J]. *长江流域资源与环境*, 2021, 30(11): 2712-2725.
- [16] 张静静,巴明廷,陈曦.2010—2017年郑州市生态系统服务价值时空变化分析[J]. *生态科学*, 2023, 42(3): 177-183.
- [17] 武燕,吴映梅,高彬媛,等.成渝城市群生态系统服务价值与人类活动强度空间关系[J]. *水土保持研究*, 2023, 30(1): 173-182.
- [18] 李何英,何文,王金叶,等.基于PLSR-FLUS-Markov模型的生态系统服务价值多情景预测——以漓江流域为例[J/OL]. *水生态学报* <http://doi.org/10.15928/j.1674-3075.202211210468> [2023-05-21].
- [19] 张建宁,陈瓊亭,王勇,等.北方农牧交错带耕地利用变化对生态系统服务价值影响——以宁夏回族自治区吴忠市为例[J]. *水土保持研究*, 2021, 28(6): 283-291.
- [20] 景晓栋,田贵良,班晴晴,等.21世纪以来我国生态系统服务研究现状及发展趋势知识图谱分析[J/OL]. *生态学报*, 2023(17): 1-11 [2023-05-21].
- [21] 姚志强,陈实,胡文海,等.皖江城市带双核地区ESV时空演变及人为驱动因素识别[J]. *长江流域资源与环境*, 2022, 31(8): 1776-1786.
- [22] 马伟波,杨帆,王楠,等.长三角城市群地区生态系统服务价值时空演变及驱动因素研究[J]. *生态与农村环境学报*, 2022, 38(11): 1365-1376.
- [23] 潘悦,王锦,李婧熹,等.滇中城市群绿色空间生态系统服务价值时空演变及驱动分析[J]. *水土保持研究*, 2023, 30(2): 352-360.
- [24] 牛乐乐,张必成,贾天忠,等.青海省海西州土地利用变化强度分析与稳定性研究[J]. *水土保持学报*, 2021, 35(2): 152-159.
- [25] 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.
- [26] 杨凯,曹银贵,李胜鹏,等.晋北典型矿农城复合区生态系统服务价值权衡与协同[J]. *生态学报*, 2022, 42(23): 9857-9870.
- [27] 刘永婷,杨钊,徐光来,等.基于MGWR模型的皖江城市带生境质量对城镇化的响应研究[J]. *地理科学*, 2023, 43(2): 280-290.