

盐城海岸带生态系统服务价值时空分异

刘玉卿, 张华兵, 张云峰

(盐城师范学院 城市与规划学院, 江苏 盐城 224007)

摘要: 为了解盐城海岸带生态系统服务价值(ESV)的时空变异规律, 基于格网尺度对盐城海岸带 1997, 2007 和 2014 年 3 个时期的 ESV 进行了估算, 并结合空间自相关分析探讨研究区 ESV 时空分异规律。结果表明: 近 20 a 来盐城海岸带生态系统服务价值总量呈不断减少的趋势, 由 1997 年的 134.33 亿元减少至 2014 年的 97.13 亿元, 自然湿地芦苇 *Phragmites australis* 沼泽、碱蓬 *Suaeda salsa* 沼泽、河流面积的减少是引起生态系统服务价值变化的主要原因。研究期间 ESV 在空间上发生了显著变化。ESV 高区 ($ESV_{\text{ESK}} > 7\,463.04$ 万元) 的面积和空间分布显著减少, ESV 较低区 ($796.67 \text{ 万元} < V_{\text{ESK}} \leq 3\,014.78$ 万元) 的面积和空间分布表现出逐渐扩大的格局。自相关分析表明: ESV 具有显著的正相关关系, 呈集聚分布特征且总体上呈不断下降趋势。研究区 1997-2014 年敏感性指数均小于 1, 表明研究结果具有可信性。在未来生态系统修复和管理中要权衡与协同不同生态系统类型之间的相互关系, 加大对芦苇沼泽、碱蓬沼泽、河流等天然湿地的保护, 合理规划滩涂湿地的利用方式, 实现沿海湿地系统的可持续发展与利用。图 3 表 6 参 26

关键词: 景观生态学; 生态系统服务价值; 时空分异; 自相关分析; 敏感性分析; 盐城

中图分类号: F062.2; X32

文献标志码: A

文章编号: 2095-0756(2019)04-0774-09

Spatio-temporal variation of ecosystem services value in Yancheng coastal zone

LIU Yuqing, ZHANG Huabing, ZHANG Yunfeng

(School of Urban and Planning, Yancheng Teachers University, Yancheng 224007, Jiangsu, China)

Abstract: Estimating the value of ecosystem services in coastal wetlands could provide important information for the protection and restoration of wetland ecosystems and decision-making. To reveal the spatio-temporal variation of ecosystem services value (ESV), the Yancheng coastal zone, a fragile region with a high intensity of reclamation activities, was taken as the research area, the thematic map (TM) and enhanced thematic map (ETM) remote sensing images of 1997, 2007, and 2014 were processed to obtain landscape type information. The ESV of the three periods was estimated by a grid unit in the study region and explored through spatial and temporal scales. Results showed that the total value of the ESV in Yancheng coastal zone decreased from 13.433 billion Yuan in 1997 to 9.713 billion Yuan in 2014 with the main reason being the decrease of *Phragmites australis* marshes, *Suaeda salsa* marshes, and river area in natural wetlands. ESV also changed significantly in space. The area and spatial distribution of the highest ESV decreased significantly, and the spatial distribution and area of the lower ESV increased gradually. The spatial autocorrelation index showed that ESV had a significant positive correlation and spatial connection which showed a downward curve on the whole. The sensitivity index of the research area was less than 1 from 1997 to 2014 which showed that the results of ESV estimation were credible. Thus, the trade-offs and synergies among different ecosystem services in coastal zones should be explored with more attention being paid to protection of natural wetlands, such as *P. australis* marsh-

收稿日期: 2018-09-19; 修回日期: 2018-12-28

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41501567, 41771199, 41501003); 江苏省盐土生物资源重点实验室开放课题资助项目(JKLBS2012020)

作者简介: 刘玉卿, 副教授, 博士, 从事海岸带生态补偿研究。E-mail: liuyuqing02102123@163.com

es, *S. salsa* marshes, and rivers, in future ecosystem restoration and management and with wetlands being rationally planned to realize the sustainable development and utilization of the coastal wetland system. [Ch, 3 fig. 6 tab. 26 ref.]

Key words: landscape ecology; ecosystem services value (ESV); spatial and temporal variation; autocorrelation; sensitivity analysis; Yancheng

生态系统服务是指自然生态系统为人类提供的多种直接和间接的生态服务和无形的生态效益^[1]。当前人类活动的足迹几乎遍及各大自然生态系统,全球近乎 60%的生态系统服务已经或正在经历着退化,生态系统服务功能也随之发生变化^[2]。自 COSTANZA 等^[1]进行全球生态系统服务价值(ecosystem service value, ESV)评估后,ESV 研究引起了国内外学者的广泛关注,并成为了可持续发展研究的热点之一。众多学者^[3-9]对森林、草地、湿地、城市等不同生态系统的 ESV 进行了研究,尺度涉及国家、省域、市县及乡镇单元,为 ESV 评估、生态环境修复等提供了丰硕的科学支持。当前关于区域生态系统服务价值的研究多以土地利用类型或行政区域作为基本的分析单元,难以深入揭示生态系统服务价值的空间差异。盐城海岸带湿地是中国沿海地区最大的海岸湿地,拥有盐城珍禽自然保护区和麋鹿 *Elaphurus davidianus* 自然保护区,其提供的生态系统服务对维持区域生物多样性和改善人类福祉具有重要意义。长期以来,人类不断增强的围垦活动使研究区滩涂湿地承受了巨大压力,湿地生态系统服务功能受损,丹顶鹤 *Grus japonensis* 等珍稀鸟禽的生境遭受严重破坏^[10]。当前关于盐城沿海湿地 ESV 的研究没有充分反映出区域 ESV 时空动态及内部差异性,并且缺乏从空间统计与分析角度研究 ESV 时空演化的特征^[11-13]。因此,本研究以盐城海岸带为例,基于 3 km × 3 km 格网尺度对研究区 1997–2014 年的 ESV 进行了估算,并结合空间自相关方法探讨了 ESV 的时空分布特征,以期为生态系统服务估算、湿地生态修复及生态补偿等提供科学依据。

1 研究区概况及数据

1.1 研究区概况

盐城海岸带(32°34'~34°28'N, 119°27'~121°16'E)位于江苏省东部沿海,面积约 45 万 hm²,拥有中国面积最大的沿海湿地。一般以苏北灌溉总渠为界,渠北为南暖温带气候带,渠南侧为北亚热带气候带^[14]。本研究范围北至苏北灌溉总渠,南至北凌河口,西至盐城老海堤(江苏 226 省道),东至海水-3 m 等深线的盐城滨海湿地地区。研究区总面积约 3 523 km²^[15],年平均气温为 14 °C,年降水量为 900~1 100 mm。

1.2 数据来源及处理

以研究区 1997, 2007 与 2014 年 3 期 Landsat TM/ETM+影像为数据源,利用 ENVI4.7 提取研究区景观类型信息。区域内生态系统类型多样,包括自然生态系统和人工生态系统。其中河流、芦苇 *Phragmites australis* 沼泽、碱蓬 *Suaeda salsa* 沼泽、互花米草 *Spartina alterniflora* 沼泽及光滩为自然生态系统,农田、盐田、养殖池与城镇用地为人工生态系统。按照研究需要并结合国际湿地公约对湿地的分类^[16],将研究区景观类型划分为耕地、养殖池、芦苇沼泽、互花米草沼泽、碱蓬沼泽、光滩、建设用地、盐田与河流共 9 类。本研究采用非监督分类和人工目视解译相结合的方式解译影像,以地面调查的信息对分类结果进行验证,解译精度均在 90%以上。最终生成研究区 1997, 2007 与 2014 年 3 期景观分类图,提取研究区各景观类型的属性信息用于后续分析(图 1)。

2 研究方法

2.1 生态系统服务价值估算

参考谢高地等^[17]改进的单位 ESV 系数并根据盐城海岸带的实际情况,将研究区不同景观类型与最接近的生态系统类型联系起来,具体为将养殖池当量因子与水域相对应,芦苇沼泽、碱蓬沼泽、互花米草沼泽的当量因子均取湿地服务功能的当量因子,光滩当量因子与荒漠相对应。同时,参照谢高地等^[17]和索安宁等^[18]的研究成果,调整和确定研究区各生态系统类型的当量因子。其中,建设用地的气候调节

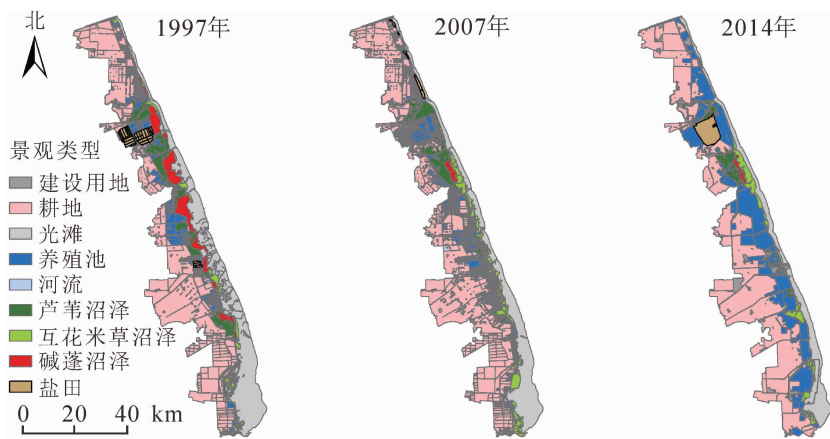


图1 盐城海岸带景观类型示意图

Figure 1 Landscape map in Yancheng coastal zone

和气体调节功能参照荒漠的相应功能,其文化娱乐功能设定为与森林的文化娱乐功能对应,其他生态功能设为0。养殖池的食物生产、气候及气体调节功能参照水域相应的生态功能,娱乐文化功能参照农田,其他生态功能取0。基于研究区1997,2007及2014年小麦 *Triticum aestivum*,玉米 *Zea mays* 和大麦 *Hordeum vulgare* 的平均产量($7\,353\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)和多年粮食平均价格,计算研究区单位面积农田生态系统提供食物生产的经济价值为 $2\,654.08\text{ 元}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 。盐田主要提供原材料功能,计算得出盐田的原材料提供功能为 $7\,920\text{ 元}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 。最终确定研究区生态系统单位面积价值见表1。

表1 盐城海岸带单位面积生态系统服务价值

Table 1 Ecosystem service value unit area of different ecosystem type in Yancheng coastal zone

景观类型	单位价值/(元·hm ⁻²)	景观类型	单位价值/(元·hm ⁻²)
耕地	20 967.23	光滩	3 689.16
养殖池	10 695.93	建设用地	6 024.76
芦苇沼泽	145 364.00	河流	120 360.52
碱蓬沼泽	145 364.00	盐田	7 920.00
互花米草沼泽	145 364.00		

以土地利用类型或行政区域作为ESV评价单元的研究,难以深入揭示ESV的空间差异。本研究采用格网单元进行ESV评价,其计算公式如下:

$$V_{\text{ESV}} = \sum_{i=1}^n \frac{A_{ki}}{A_k} E_i \quad (1)$$

式(1)中: V_{ESV} 是第 k 个格网的ESV指数; A_k 为第 k 个格网的面积; A_{ki} 为第 k 个格网第 i 种景观类型的面积; E_i 为第 i 种景观类型的生态系统服务价值系数; n 为格网中景观类型的数量。

2.2 空间自相关分析

空间自相关分析是研究ESV空间分布特征的常用方法,可判别ESV各观测值之间的空间相关程度。Moran's指数是进行空间自相关分析最常见的方法之一,选取全局Moran's指数^[19]和局部Moran's指数^[20]进行分析。前者可揭示ESV在整个研究区范围内的空间关联程度,后者可描述不同空间位置上ESV可能存在的空间关联模式。全局Moran's指数(I)和局部Moran's指数(I_i)计算公式如下:

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n [w_{ij}(x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})]}{\left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} \right) \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}; \quad (2)$$

$$I_i = \frac{(x_i - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 / n} \sum_{j \neq i}^n w_{ij} (x_j - \bar{x}). \quad (3)$$

式(2)和式(3)中： I 为全局 Moran's 指数； I_i 为局部 Moran's 指数； n 为参与分析的研究区格网单元数； i, j 为相邻的格网； x_i, x_j 为变量 x (ESV)在相邻格网中的取值； w_{ij} 为空间权重矩阵； $\bar{x}$ 是变量的平均值。

2.3 敏感性分析

采用敏感性指数分析 ESV 对 ESV 系数的敏感程度^[21]。计算公式如下：

$$C_s = \left| \frac{(V_{ESa} - V_{ESb})/V_{ESb}}{(C_{Va} - C_{Vb})/C_{Vb}} \right|。$$
 (4)

式(4)中： V_{ESb} 为系数调整前的 ESV； C_{Vb} 为调整前的 ESV 系数； V_{ESa} 为调整系数后的 ESV； C_{Va} 为调整后的 ESV 系数； C_s 为敏感性系数， $C_s > 1$ 表明 ESV 的估算结果可信度低， $C_s < 1$ 表明研究结果是可信的。

3 结果与分析

3.1 盐城海岸带不同景观类型 ESV 分析

从表 2 看出：盐城海岸带 1997、2007 和 2014 年的 ESV 分别为 134.33 亿元，117.72 亿元和 97.13 亿元。ESV 在 1997–2014 年呈不断下降趋势，主要原因是研究区自然湿地芦苇沼泽、碱蓬沼泽、河流面积的减少，三者的单位生态系统服务价值系数较高，使得 ESV 总量减少。耕地、养殖池、盐田 ESV 增加在一定程度上抵消了 ESV 总量的损失。从 ESV 具体构成来看，研究区耕地、芦苇沼泽、互花米草沼泽 ESV 占 ESV 总量的比例较高，3 种景观类型的 ESV 占比超过 60%，是研究区主要的景观类型。光滩、建设用地、盐田对研究区 ESV 的贡献相对较小。碱蓬沼泽 ESV 在研究期间表现出显著下降的变化趋势，人类围垦和互花米草的扩张引起碱蓬生境的减少，最终导致其提供生态系统服务的功能受损。研究期间由于经济利益的驱使，养殖池面积不断扩张，虽然其提供 ESV 的贡献不断增加，由 1997 年的 2.71% 上升至 2014 年的 9.27%，其扩张也对研究区自然湿地造成了严重破坏，威胁到丹顶鹤等珍稀鸟禽的生存生境。河流提供的 ESV 在研究期间有先增加后下降的趋势。

表 2 盐城海岸带 1997–2014 年不同景观类型 ESV

Table 2 ESV of different landscape types in Yancheng coastal zone from 1997 to 2014

景观类型	1997 年		2007 年		2014 年	
	ESV/亿元	比例/%	ESV/亿元	比例/%	ESV/亿元	比例/%
耕地	31.84	23.70	35.01	29.74	35.54	36.59
养殖池	3.64	2.71	6.07	5.16	9.01	9.27
芦苇沼泽	35.51	26.43	27.20	23.10	14.90	15.34
碱蓬沼泽	31.57	23.50	3.46	2.94	3.12	3.21
互花米草沼泽	14.70	10.94	30.50	25.91	22.36	23.02
光滩	2.97	2.21	2.10	1.78	1.46	1.50
建设用地	0.76	0.56	1.40	1.19	0.95	0.98
河流	12.75	9.49	11.88	10.09	9.15	9.42
盐田	0.59	0.44	0.10	0.09	0.64	0.66
合计	134.33	100.00	117.72	100.00	97.13	100.00

3.2 盐城海岸带格网单元不同等级 ESV 时序分析

根据研究需要和景观斑块面积的大小确定格网尺寸^[22]，采用 3 km × 3 km 作为格网尺度 ESV 分析的基本单元，共采集研究区 507 个格网。基于 Arc GIS 并依据式(1)计算每个格网的 ESV 指数，作为格网中心点的 ESV。采用标准差分级法将不同格网的 ESV 划分为 5 级：低区($V_{ESk} \leq 796.67$ 万元)、较低区($796.67 \text{ 万元} < V_{ESk} \leq 3\,014.78$ 万元)、中区($3\,014.78 \text{ 万元} < V_{ESk} \leq 5\,238.92$ 万元)、较高区($5\,238.92 \text{ 万元} < V_{ESk} \leq 7\,463.04$ 万元)和高区($V_{ESk} > 7\,463.04$ 万元)，并据此统计研究区 3 个时期不同等级 ESV 分布情况(表 3)。从表 3 看出：研究区在 1997–2014 年 ESV 高区分布面积显著减少，其面积由 1997 年的 467.9 km² 下降到 2014 年的 179.99 km²；较高区分布面积也呈不断减少的趋势，从 1997 年的 151.86 km² 减少至 98.96 km²；中区面积变化不大，但也呈减少趋势；较低区的面积表现出逐渐扩大的格局，由 1997 年的 1\,986.94 km² 上升到 2014 年的 2\,626.85 km²，其占 ESV 的比例相应地由 1997 年的 56.38% 增

表 3 盐城海岸带 1997–2014 年不同等级 ESV 统计

Table 3 ESV level in Yancheng coastal zone from 1997 to 2014

年份	ESV 等级	格网数/个	面积/km ²	比例/%	年份	ESV 等级	格网数/个	面积/km ²	比例/%
1997	低区	151	522.85	14.84	2014	较高区	22	195.43	5.55
	较低区	242	1 986.94	56.38		高区	33	297.00	8.43
	中区	45	394.44	11.19		合计	507	3 523.99	100.00
	较高区	17	151.86	4.31	2014	低区	132	355.83	10.10
	高区	52	467.90	13.28		较低区	314	2 626.85	74.54
	合计	507	3 523.99	100.00		中区	30	262.36	7.44
2007	低区	133	378.61	10.74		较高区	11	98.96	2.81
	较低区	289	2 393.42	67.92		高区	20	179.99	5.11
	中区	30	259.53	7.36		合计	507	3 523.99	100.00

加到 2014 年的 74.54%，格网数由 1997 年的 242 个增加到 2014 年的 314 个。

3.3 盐城海岸带 1997–2014 年格网尺度 ESV 空间变化分析

结合表 3 和图 2 可看出：研究区 1997–2014 年的 ESV 在空间上发生了显著变化。研究区 ESV 高区和 ESV 较高区主要分布在珍禽国家级自然保护区和麋鹿自然保护区及其邻近区域，且 ESV 高区有逐渐减少的趋势，印证了保护区受到人为因素影响后面积和空间范围缩小的状况。研究区内 ESV 较高区空间分布呈先扩大后减少的现象，ESV 中区分布较为零散。ESV 低区和 ESV 较低区是分布范围最广的类型，从陆地一侧到光滩都有分布。其中，ESV 较低区在空间分布上表现出逐渐扩大的趋势。

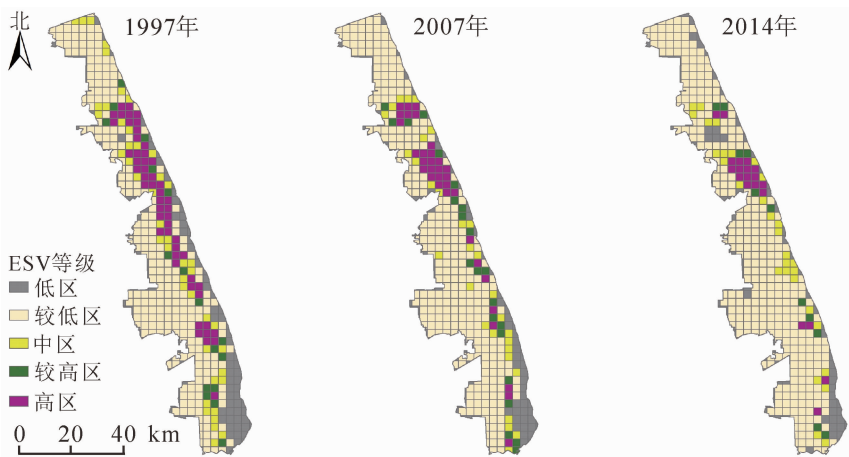


图 2 盐城海岸带 1997–2014 年 ESV 等级空间分布示意图

Figure 2 Spatial pattern of ESV level in Yancheng coastal zone from 1997 to 2014

3.4 ESV 空间自相关分析

3.4.1 ESV 全局自相关分析 经计算，1997，2007 和 2014 年研究区 ESV 的全局 Moran’s 指数 I 分别为 0.660 8，0.632 2 和 0.620 9(表 4)，且均为正值，表明 ESV 的空间分布存在显著的正相关关系，相邻格网单元空间 ESV 呈高度相似性和集聚分布现象。 Z 检验结果显著，3 个时期全局 Moran’s 指数 I 的显著性水平均小于 0.05。然而，研究区 ESV 在 1997–2014 年的空间集聚分布总体上呈不断下降趋势，表明研究区 ESV 空间集聚有逐渐减弱的趋向，各土地利用类型趋于破碎化。

3.4.2 ESV 局部空间自相关分析 全局自相关指数只能从整体上判定 ESV 空间集聚情况，难以测度相邻格网之间 ESV 聚集位置和空间相关程度。因此，采用局部自相关指数 I_i ，测算了研究区 507 个格网在不同时段的 ESV 局部空间自相关格局(图 3)，统计不同时段 ESV 局部自相关的格网数(表 5)。结合图 3

表 4 盐城海岸带 1997–2014 年 ESV 全局自相关指数

Table 4 Global autocorrelation index of ESV in Yancheng coastal zone from 1997 to 2014

年份	Moran’s I 指数	Z	P
1997	0.660 8	20.085 3	0.001
2007	0.632 2	19.270 7	0.001
2014	0.620 9	19.023 0	0.001

和表 5 可看出：研究区高一高集聚的区域主要位于研究区的珍禽国家级自然保护区和大丰麋鹿自然保护区及其周边区域。随着滩涂围垦、农业生产和工业开发的不断加强，ESV 高一高集聚的区域范围不断缩小，代表的格网数从 1997 年的 79 个下降到 2014 年的 38 个，下降幅度达 51.90%。研究区 ESV 低一低集聚的区域主要分布于光滩，低一低集聚的空间范围也在不断缩减，由 1997 年的 45 个格网减少至 2014 年的 24 个格网。研究区存在低一高集聚的空间区域，主要位于保护区周边，由不同的土地利用方式造成，当前保护区周边的土地利用方式为农业用地，其 ESV 价值远低于保护区景观类型ESV 的价值。同时，研究区存在较多集聚性不显著的格网，其数量从 1997 年的 371 个增加到 2014 年的 431 个。

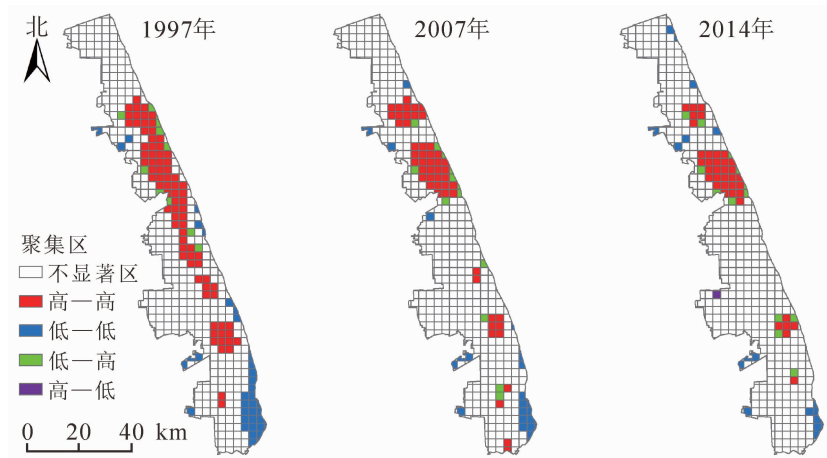


图 3 盐城海岸带 1997–2014 年 ESV 局部空间自相关格局示意图
Figure 3 Local spatial autocorrelation of ESV in Yancheng coastal zone from 1997 to 2014

表 5 1997–2014 年盐城海岸带格网尺度 ESV 局部空间自相关

Table 5 Local spatial autocorrelation of ESV at grid scale in Yancheng coastal zone from 1997 to 2014

年份	格网数/个				
	集聚性不显著区	高一高集聚区	低一低集聚区	低一高集聚区	高一低集聚区
1997	371	79	45	12	0
2007	412	52	29	14	0
2014	431	38	24	13	1

3.5 敏感性分析

采用敏感性指数 C_s 来确定 ESV 随时间变化情况对价值系数的依赖程度。本研究将各景观类型的价值系数上下分别调整 50%来验证 ESV 的变化状况。表 6 表明：研究区在 1997–2014 年调整价值系数后的 $C_s<1$ 。可见，ESV 对 ESV 价值系数变化缺乏弹性，研究结果可信。

表 6 盐城海岸带 1997–2014 年 ESV 对价值系数的敏感程度

Table 6 Sensitivity of ESV to value coefficients in Yancheng coastal zone from 1997 to 2014

景观类型	C_s			景观类型	C_s		
	1997 年	2007 年	2014 年		1997 年	2007 年	2014 年
耕地	0.237 0	0.297 4	0.365 9	光滩	0.022 1	0.017 8	0.015 0
养殖池	0.027 1	0.051 6	0.092 7	建设用地	0.005 6	0.011 9	0.009 8
芦苇沼泽	0.264 3	0.231 0	0.153 4	河流	0.094 9	0.100 9	0.094 2
碱蓬沼泽	0.235 0	0.029 4	0.032 1	盐田	0.004 4	0.000 9	0.006 6
互花米草沼泽	0.109 4	0.259 1	0.230 2				

4 结论与讨论

4.1 讨论

研究区在研究期间景观格局发生了显著变化，主要体现在自然湿地向人工湿地的转变，ESV 总体上

呈不断下降的趋势。这与相关学者的研究成果基本一致^[11-12]。ESV 评价受诸多主观因素的影响,如研究时段、研究方法、ESV 价值系数修正的差异等,使得生态系统服务价值估算的绝对值存在一定的差异。本研究估算的 ESV 值高于邢伟等^[11]的结果,低于周鑫等^[12]的估算,但 ESV 的变化趋势是相近的。因此,本研究的 ESV 评估仍需进一步改进与完善。首先要加强 ESV 评估的规范性。虽然本研究 ESV 估算中对湿地生态系统类型进行了细分,但未区分互花米草、芦苇及碱蓬沼泽 ESV 价值系数的差异。近年来互花米草的负面生态影响得到了广泛的认可^[23-24],本研究未对其生态入侵的危害作深入分析。后续研究要采用更科学的方法对不同湿地景观类型的 ESV 系数进行修订,还应考虑当地居民对生态系统服务的支付意愿、支付能力和社会经济发展水平的差异。其次,本研究仅对盐城海岸带湿地生态系统服务价值进行了估算,暂未考虑海洋生态系统。因此核算海洋生态系统 ESV 是下一步的研究方向。王静等^[25]和李占玲等^[26]研究表明:围垦前后生态系统服务总的价值相差不大,但围垦在增加供给服务的同时引起调节服务的较大损失。本研究也表明:不同生态系统类型的此消彼长引起 ESV 的时空变化,如何权衡与协同研究区不同生态系统服务之间的相互关系,尤其是供给服务与调节服务的关系,实现区域经济发展与生态保护的“双赢”局面是今后的研究方向之一。

4.2 结论

从时间上看,盐城海岸带在 1997, 2007 和 2014 年的 ESV 分别为 134.33 亿元, 117.72 亿元和 97.13 亿元,总体上呈持续下降的趋势。研究期间芦苇沼泽、碱蓬沼泽、河流等自然湿地面积持续减少,耕地、养殖池等人工湿地持续增加,对研究区的生态环境造成了巨大压力,同时引起 ESV 的显著变化。敏感性分析得出:不同时期 ESV 的敏感性系数均小于 1,表明本研究结果可信,可为研究区生态系统服务价值的精细化估算、湿地生态修复及湿地补偿等提供科学参考。

从空间分布来看,盐城海岸带的 ESV 在空间上发生了显著变化。ESV 高区面积和空间分布显著减少,ESV 较低区空间分布和面积表现出逐渐扩大的趋势。自相关分析得出盐城沿海湿地的 ESV 在空间上具有一定的集聚分布特征。高一高 ESV 集聚区主要位于研究区两大自然保护区及其周边区域,低—低 ESV 集聚区主要分布在光滩,且随着围垦活动的不断加强,低—低 ESV 集聚区域也存在不断缩小的趋势。表明当地人类活动对景观类型利用方式的影响最终影响 ESV 的供给和分布格局。

5 参考文献

- [1] COSTANZA R, DARGE R, GROOT R, *et al.* The value of the world's ecosystem services and natural capital [J]. *Nature*, 1997, **387**(15): 253 – 260.
- [2] MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. *Ecosystem and Human Well-being: Our Human Planet, Summary for Decision Makers* [M]. Washington D C: Island Press, 2005: 1 – 2.
- [3] 熊倡英, 师学义. 黄土山丘区土地利用变化对生态系统服务价值的影响[J]. 水土保持研究, 2018, **25**(2): 335 – 340.
XIONG Lüying, SHI Xueyi. Effects of land use change on ecosystem service value in the Loess Hilly Area [J]. *Res Soil Water Conserv*, 2018, **25**(2): 335 – 340.
- [4] 高常军, 魏龙, 贾朋, 等. 基于去重复性分析的广东省滨海湿地生态系统服务价值估算[J]. 浙江农林大学学报, 2017, **34**(1): 152 – 160.
GAO Changjun, WEI Long, JIA Peng, *et al.* Coastal wetland ecosystem evaluation in Guangdong Province by eliminating the double counting [J]. *J Zhejiang A&F Univ*, 2017, **34**(1): 152 – 160.
- [5] 唐秀美, 刘玉, 刘新卫, 等. 基于格网尺度的区域生态系统服务价值估算与分析[J]. 农业机械学报, 2017, **48**(4): 149 – 153, 205.
TANG Xiumei, LIU Yu, LIU Xinwei, *et al.* Estimation and analysis of ecosystem service value based on grid scale [J]. *Trans Chin Soc Agric Mach*, 2017, **48**(4): 149 – 153, 205.
- [6] 段彦博, 雷雅凯, 马格, 等. 郑州市生态系统服务价值时空价值变化特征[J]. 浙江农林大学学报, 2017, **34**(3): 511 – 519.
DUAN Yanbo, LEI Yakai, MA Ge, *et al.* Spatial-temporal dynamics of ecosystem service value in Zhengzhou [J]. *J Zhejiang A&F Univ*, 2017, **34**(3): 511 – 519.

- [7] 王敏, 冯相昭, 吴良, 等. 气候变化背景下典型草原自然保护区生态系统服务价值评估[J]. 中国沙漠, 2015, **35**(6): 1700 – 1707.
WANG Min, FENG Xiangzhao, WU Liang, *et al.* The evaluation of ecological service value in a typical grassland nature reserve under the context of global climate changes [J]. *J Desert Res*, 2015, **35**(6): 1700 – 1707.
- [8] 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 Gaodi, ZHANG Caixia, ZHANG Leiming, *et al.* Improvement of the evaluation method for ecosystem service value based on per unit area [J]. *J Nat Resour*, 2015, **30**(8): 1243 – 1254.
- [9] 殷莎, 赵永华, 韩磊, 等. 秦岭森林生态系统服务价值的时空演变[J]. 应用生态学报, 2016, **27**(12): 3777 – 3786.
YIN Sha, ZHAO Yonghua, HAN Lei, *et al.* Evaluation of the forest ecosystem service values in Qinling, China [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2016, **27**(12): 3777 – 3786.
- [10] 曹铭昌, 孙孝平, 乐志芳, 等. 基于 MAXENT 模型的丹顶鹤越冬生境变化分析: 以盐城保护区为例[J]. 生态与农村环境学报, 2016, **32**(6): 964 – 970.
CAO Mingchang, SUN Xiaoping, LE Zhifang, *et al.* Analysis of changes in wintering habitat of red-crowned cranes based on MAXNT model: a case study of Yancheng Nature Reserve [J]. *J Ecol Rural Environ*, 2016, **32**(6): 964 – 970.
- [11] 邢伟, 王进欣, 王今殊, 等. 土地覆盖变化对盐城海岸带湿地生态系统服务价值的影响[J]. 水土保持研究, 2011, **18**(1): 71 – 76, 81.
XING Wei, WANG Jinxin, WANG Jinshu, *et al.* Effects of land cover change on the ecosystem services values in Yancheng coastal wetlands [J]. *Res Soil Water Conserv*, 2011, **18**(1): 71 – 76, 81.
- [12] 周鑫, 左平, 腾厚峰, 等. 基于土地利用变化的生态系统服务价值核算——以江苏盐城滨海湿地为例[J]. 海洋通报, 2011, **30**(6): 656 – 661.
ZHOU Xin, ZUO Ping, TENG Houfeng, *et al.* Estimation of ecosystem service values based on land use changes: a case study of Yancheng coastal wetlands [J]. *Mar Sci Bull*, 2011, **30**(6): 656 – 661.
- [13] 何冬梅, 王磊, 倪霞, 等. 江苏盐城沿海滩涂湿地生态系统服务价值评估[J]. 江苏林业科技, 2016, **43**(6): 29 – 33.
HE Dongmei, WANG Lei, NI Xia, *et al.* Evaluation of ecosystem service of the coastal mudflat wetland in Yancheng, Jiangsu Province [J]. *J Jiangsu For Sci Technol*, 2016, **43**(6): 29 – 33.
- [14] 张华兵, 刘红玉, 郝敬锋, 等. 自然和人工管理驱动下盐城滨海湿地景观格局演变特征与空间差异[J]. 生态学报, 2012, **32**(1): 101 – 110.
ZHANG Huabing, LIU Hongyu, HAO Jingfeng, *et al.* Spatiotemporal characteristics of landscape change in the coastal wetlands of Yancheng caused by natural processes and human activities [J]. *Acta Ecol Sin*, 2012, **32**(1): 101 – 110.
- [15] 张华兵. 自然和人为影响下海滨湿地景观演变特征与机制研究[D]. 南京: 南京师范大学, 2013.
ZHANG Huabing. *The Characteristics and Mechanism of Landscape Evolution in the Coastal Wetlands under Natural and Human Influence* [D]. Nanjing: Nanjing Normal University, 2013.
- [16] 杨桂山. 中国海岸环境变化及其区域效应[M]. 北京: 高等教育出版社, 2005: 140 – 141.
- [17] 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, **23**(5): 911 – 919.
XIE Gaodi, ZHEN Lin, LU Chunxia, *et al.* Expert knowledge based valuation method of ecosystem services in China [J]. *J Nat Resour*, 2008, **23**(5): 911 – 919.
- [18] 索安宁, 于永海, 韩富伟. 环渤海海岸带生态服务价值功能评价[J]. 海洋开发与管理, 2011, **1**(4): 67 – 73.
SUO Anning, YU Yonghai, HAN Fuwei. Assessment of ecosystem service values in the Bohai Sea [J]. *Ocean Dev Manage*, 2011, **1**(4): 67 – 73.
- [19] ANSELIN L. Local indicators of spatial association-LISA [J]. *Geogr Anal*, 1995, **27**(2): 93 – 115.
- [20] DALE V H, KLINE K L. Issues in using landscape indicators to assess land changes [J]. *Ecol Indic*, 2013, **28**: 91 – 99.

- [21] LI Yifan, ZHAN Jinyan, LIU Yu, *et al.* Response of ecosystem services to land use and cover change: a case study in Chengdou City [J]. *Resour Conserv Recycling*, 2018, **132**: 291 – 300.
- [22] 苏海民, 何爱霞. 基于RS和地统计学的福州市土地利用分析[J]. 自然资源学报, 2010, **25**(1): 91 – 99.
SU Haimin, HE Aixia. Analysis of land use based on RS and GIS and Geostatistics in Fuzhou City [J]. *J Nat Resour*, 2010, **25**(1): 91 – 99.
- [23] 钦佩, 李思宇. 互花米草的两面性及其生态控制[J]. 生物安全学报, 2012, **21**(3): 167 – 176.
QIN Pei, LI Siyu. Posttive and negatibve effects of the non-native plant, *Spartina alterniflora* and its ecological control [J]. *J Biosafety*, 2012, **21**(3): 167 – 176.
- [24] 谢宝华, 韩广轩. 外来入侵种互花米草防治研究进展[J]. 应用生态学报, 2018, **29**(10): 3464 – 3476.
XIE Baohua, HAN Guangxuan. Control of invasive *Spartina alterniflora*: a review [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2018, **29**(10): 3464 – 3476.
- [25] 王静, 徐敏, 张益民. 滩涂围垦养殖的生态损益分析——以江苏条子泥滩涂围垦养殖为例[J]. 南京师大学报(自然科学版), 2012, **35**(2): 113 – 119.
WANG Jing, XU Min, ZHANG Yimin. Ecological profit and loss analysis of tidal flat reclamation-tidal flat reclamation of Tiaozini Sand as a case study [J]. *J Nanjing Norm Univ Nat Sci Ed*, 2012, **35**(2): 113 – 119.
- [26] 李占玲, 陈飞星, 李占杰, 等. 滩涂湿地围垦前后服务功能的效益分析——以上虞市世纪丘滩涂为例[J]. 海洋科学, 2004, **28**(8): 76 – 80.
LI Zhanling, CHEN Feixing, LI Zhanjie, *et al.* Benefits analysis of tidal flat functions before and after reclamation: a case study of Shijiqiu tidal flat [J]. *Mar Sci*, 2004, **28**(8): 76 – 80.