

25年来江苏盐城沿海滩涂生态系统 服务价值研究

邹丽丽, 李传武, 张云峰, 张华兵, 蒋海兵

(盐城师范学院 城市与规划学院, 苏北农业农村现代化研究院, 江苏 盐城 224000)

摘要: 本文以生态系统较为复杂的江苏盐城沿海滩涂为研究对象, 选取 3 个典型地区, 利用 1994—2018 年 7 个时间序列的遥感影像, 解译土地利用类型数据, 对研究区生态系统服务价值进行测算。结果表明: (1) 1994—2018 年研究区土地利用类型面积总体呈现“二增四减一平”态势, 即基塘、建设用地增加, 农用地、草滩、盐田、泥滩面积减少, 河流面积基本稳定; (2) 研究区生态系统服务总价值 (*ESV*) 总体呈增长趋势, 从 1994 年到 2018 年增加了 20.29 亿元, 其中, 滩涂湿地分布区域和城乡接合区域的 *ESV* 下降幅度最为明显; (3) 通过对该地区敏感性分析, 各生态系统类型敏感性指数均小于 1, 说明各系数对 *ESV* 的影响较小。

关键词: 土地利用; 生态系统服务价值; 敏感性分析; 滩涂湿地

中图分类号: X196

文献标识码: A

文章编号: 1007-6336(2023)02-0280-06

Study on ecosystem service value of coastal beach in Yancheng, Jiangu province over the past 25 years

ZOU Li-li, LI Chuan-wu, ZHANG Yun-feng, ZHANG Hua-bing, JIANG Hai-bing

(School of Urban and Planning, Yancheng Teachers University North Jiangsu Research Institute of Agricultural and Rural Modernization, Yancheng 224000, China)

Abstract: Taking the coastal beach area around Yancheng, Jiangsu province with relatively complex ecosystem as the research object, based on three typical areas, this paper uses 7 time series remote sensing image data from 1994 to 2018, interprets land use type data, and measures the ecosystem service value of the research area. The results show that: (1) The results show that from 1994 to 2018, the land use types and areas in the study area generally showed a trend of “two increases, four decreases and one stability”, that is, the foundation pond and construction land increased, the agricultural land, grass beach, salt field and mudflat decreased, and the river area was basically stable. (2) The total value of ecosystem services (*ESV*) in the study area showed an overall growth trend, It have increased 2.029 billion from 1994 to 2018. Among them, the *ESV* in the distribution area of tidal wetlands and the urban-rural fringe area decreased most significantly. (3) The sensitivity analysis results show that the sensitivity index of each ecosystem type is less than 1, indicating that each coefficient has a small impact on *ESV*.

Key words: land use; ecosystem service value; coefficient of sensitivity; coastal beach

收稿日期: 2022-05-16, 修订日期: 2022-10-10

基金项目: 国家自然科学基金 (41807403, 42271191); 国家社科基金 (21BGJ010); 江苏高校自然科学研究面上项目 (20KJB170030)

作者简介: 邹丽丽 (1983—), 女, 吉林松原人, 博士, 副教授, 主要从事湿地生态学以及地理信息科学相关研究, E-mail: syzoulili@126.com

生态系统具有极高的价值,对生态系统服务价值(ecosystem service value, *ESV*)的有效评估可以提高生态环境保护意识,促进自然资源纳入国民经济核算体系,有效推动国民经济的可持续发展^[1-3]。湿地生态系统地处海陆交界,生态系统服务价值尤为凸显,为此前人也做了大量研究^[4-5]。1997年, Costanza 等^[6]估算了美国典型区域湿地生态系统服务的经济价值,结果表明,经济价值最高的是湿地中的河口湿地和潮滩盐沼湿地。自千年生态系统评估^[7]发表以来,生态系统服务价值研究日益成熟^[7-8]。有的学者估算了各个区域生态系统服务价值,一致认为应把保护环境放在首位^[9-10];国内学者谢高地^[11]、崔丽娟^[12]等对生态系统服务价值做了大量研究,得到了较好的计算方法;江波、燕守广等对湿地生态系统和建筑用地红线范围内生态系统价值做了相关研究^[13-14],阐述了不同领域生态系统价值的差异。总体而言,目前对生态系统服务价值的研究主要分为两个方面:一方面,湿地生态系统服务价值研究以现状评价为主,但对研究区进行连续或多时序生态系统价值的比较研究较少;另一方面,生态系统服务价值评估多集中在人类活动集中区域,而对滩涂湿地、沙漠丘陵等区域的研究相对较少。因此,本文以盐城滨海湿地为研究对象,利用1994—2018年7个时间序列遥感影像数据,计算该地生态系统服务价值,探究江苏沿海滩涂湿地生态系统服务价值时空变化特征,推动当地政府生态文明建设,为精准落实国家的相关战略任务提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

选取地域特征较为典型的江苏盐城临海3个行政单元(射阳县、大丰区、东台市)为研究对象(图1)。该地东临沿海滩涂,海陆交界,生物多样性较为丰富,坐拥东台条子泥、大丰麋鹿自然保护区、盐城湿地珍禽自然保护区等多个重要生态环境功能区,对生态环境调节具有重要的作用。



图1 研究区地理位置

Fig. 1 Location of the study area

1.2 数据及土地利用分类

(1) 数据及预处理

美国 Landsat 系列卫星数据具有时间长、数据多、成本低、可对比性强等特点,符合研究需要。选取1994—2018年的7期遥感影像数据,见表1。除遥感数据外,还收集了研究区1:1万土地利用现状图、1:5万地形图以及相关的历史图件作为辅助。

首先,对遥感数据进行几何校正、辐射定标、图像增强、裁减等处理,以保证数据的有效性和可对比性^[15]。其次,空间参考坐标系选择北京54坐标系和高斯可吕格投影系统,并根据江苏海岸带地形图和历史高精影像图,结合实测控制点数据对7期遥感数据精校正并配准。

(2) 分类体系及分类

研究区土地类型的划分,以国家《土地利用现状分类》(GB/T 21010—2007)标准为基础,并参考美国C-CAP海岸带土地覆被分类系统^[16],结合海岸带独特的地理特征^[17],建立土地利用分类体系,见表2。

遥感数据分类采用人机交互方法,首先利用最大似然监督分类法进行初级分类,结合高清地形图和其他辅助图件进行人工纠错,优化机器分

表 1 研究区遥感数据源

Tab.1 Remote sensing data used in study area

卫星时态	传感器	成像日期	分辨率/m	云量/(%)
1994年	Landsat4-5 TM	1994-12-06	30	0
1998年	Landsat4-5 TM	1998-12-17	30	0
2002年	Landsat4-5 TM	2002-11-10	30	1.09
2006年	Landsat4-5 TM	2006-12-23	30	0
2010年	Landsat4-5 TM	2010-12-02	30	0
2014年	Landsat 8 TM	2014-12-29	30	1.74
2018年	Landsat 8 TM	2018-12-24	30	0

表 2 盐城沿海 3 个地区土地利用分类体系

Tab.2 Land use/land cover classification system in three coastal areas of Yancheng

一级地类	二级地类	含义
耕地	农用地	包括水田、水浇地/旱地及园地
建设用地	建筑用地	农村、城市居民点、人类生活基础设施用地等
水域及水利设施用地	河流	河流、湖泊、池塘
	基塘	鱼虾养殖池塘、水塘
草地	草滩	草地、生长芦苇、碱蓬、米草等滩涂湿地
工矿仓储用地	盐田	晒盐池、采盐场
其他地类	泥滩	淤泥质海滩

类结果,随机采集 300 个采样点逐一核对,验证精度,正确率达 90%,并对报错数据详细分析、核对、查找原因后,进一步修正数据,以确保遥感图像的解译精度符合要求。

1.3 研究方法

1.3.1 生态系统服务价值

生态系统服务价值(ESV)评估^[17]是赋予各生态系统服务功能以价值属性,从而对其进行量化和估算的方法。谢高地等^[11]针对 Costanza 等^[6]基于单位面积生态系统服务价值当量因子的估算方法进行了优化,并将其应用到中国生态系统 ESV 估算中。利用此法对各 ESV 当量进行系数修订,求出 ESV 系数,利用 Costanza 等提出的 ESV 评价模型,计算单位面积各土地利用类型的生态系统服务功能价值量。

$$ESV = \sum A_n \times VC_n \quad (1)$$

式中: A_n 为研究区第 n 类生态系统的面积 (ha); VC_n 为对应生态系统服务价值系数,即单位面积的生态系统服务功能价值(元/ha)。

敏感性指数(coefficient of sensitivity, CS)是

指生态系统服务价值随时间变化时,对不同土地利用类型价值系数的依赖程度。敏感性指数计算公式如下:

$$CS = \left| \frac{(ESV_j - ESV_i) / ESV_i}{(VC_{jn} - VC_{in}) / VC_{in}} \right| \quad (2)$$

式中: i 表示初始值, j 表示生态价值系数调整过后值, n 代表土地利用类型种类。如果 $CS > 1$, 则预估 ESV 对 CS 具有弹性, VC 的 1% 变动将引起 CS 大于 1% 的波动, $CS < 1$, 表示 ESV 对 CS 缺乏弹性。

1.3.2 生态系统服务价值当量制定及修正

利用千年生态系统评估方法,将生态系统服务分为供给、调节、支持和文化服务 4 大类,再将其细分为 9 种服务功能。随后,基于谢高地等^[18]提出的基础当量修正方法,修正了盐城沿海 3 个地区土地利用类型的基础当量,建立了适合盐城沿海地区的 ESV 当量表(表 3)。

根据谢高地等^[18]的结论,1 个标准单位 ESV 当量因子价值量初步定为 3406.5 元/ha,依据《盐城统计年鉴》及国家统计局的盐城粮食产量数据^[19],求出修正系数,计算修正率(表 4)。

表 3 盐城沿海 3 个地区 *ESV* 当量表
Tab.3 Equivalent scale of *ESV* in three coastal areas of Yancheng

一级类型	二级类型	农用地	河流	建设用地	基塘	草滩	盐田	泥滩
供给服务	食物生产	1.24	0.76	0	1.53	0.23	0.20	0
	原材料生产	1.25	0.05	0	0	2.83	1.96	0
	小计	2.49	0.81	0	1.53	3.06	2.16	0
调节服务	气体调节	0.58	0.06	0	0.58	1.50	0.12	0
	气候调节	0.81	3.75	0	0.81	7.56	0.35	2.50
	水文调节	0.24	18.77	0	0.24	5.50	0.47	0
	废物处理	0.21	12.32	0	0.21	11.00	2.01	5.50
	小计	1.84	34.90	0	1.84	25.56	2.95	8.00
支持服务	保持土壤	0.56	0.22	0	1.40	7.71	0.45	15.19
	维持生物多样性	0.89	3.50	0.02	0.73	5.63	0.41	3.87
	小计	1.45	3.72	0.02	2.13	13.34	0.86	19.06
文化服务	提供美学景观	0.60	4.20	0.24	0.09	2.55	0.09	0
	合计	6.38	43.63	0.26	5.59	44.51	6.06	27.06

表 4 修正系数
Tab.4 Correction factor

年份	全国粮食单产/kg·(ha) ⁻¹	盐城粮食单产/kg·(ha) ⁻¹	修正系数	系数平均值	修正率
1994	4063.23	5537.56	1.36		1.01
1998	4502.21	6061.96	1.35		1.02
2002	4399.40	6599.40	1.50		0.91
2006	4745.16	6491.76	1.37	1.37	1.00
2010	4973.58	6866.81	1.38		0.99
2014	5384.38	7183.20	1.33		1.03
2018	5621.21	7163.83	1.27		1.07

2 结果与分析

2.1 研究区生态系统服务价值时间变化

根据土地利用分类结果和生态服务价值当量得出盐城 3 地生态系统服务价值变化趋势, 如图 2 所示。

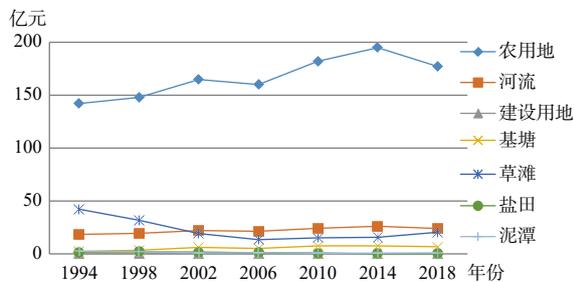


图 2 1994—2018 年各地类 *ESV* 变化趋势

Fig. 2 The *ESV* change of each categories from 1994 to 2018

由图 2 可知, 农用地的生态系统服务价值明显高于其他地类, 随着时间的变化服务价值呈现逐年上升的态势, 但在 2018 年有明显下降。另外, 草滩的生态系统价值降低明显, 由于这个时间段对草地的开发强度较大, 其他地类的生态系统服务价值呈现波动变化。

根据各地类提供的生态价值, 以每 8 年为一个时间段, 评估不同服务领域的价值变化特征 (表 5): 1994—2002 年供给服务价值增加了 8.36 亿元, 2002—2010 年供给服务价值增加了 6.58 亿元, 2010—2018 年供给服务价值减少了 2.07 亿元, 总计供给服务价值增加 12.87 亿元, 年均增长约 0.51 亿元。调节服务的价值在 1994—2002 年减少了 3.04 亿元, 2002—2010 年增加了 4.36 亿元, 2010—2018 年增加了 0.86 亿元, 调节

服务的价值总共增加了 2.18 亿元。支持服务的价值在 1994—2002 年减少了 1.09 亿元, 2002—2010 年增加了 3.13 亿元, 2010—2018 年增加 0.21

亿元。文化服务的价值在 1994—2002 年增加了 7.10%, 2002—2010 年增加了 9.23%, 2010—2018 年减少了 0.10%。

表 5 1994—2018 年盐城 3 个地区服务类型的 *ESV* 变化

Tab.5 The service types Changes of *ESV* in study area from 1994 to 2018

类型	1994—2002年		2002—2010年		2010—2018年		总计/亿元
	变化值/亿元	变化率/(%)	变化值/亿元	变化率/(%)	变化值/亿元	变化率/(%)	
供给服务	8.36	13.93	6.58	9.63	-2.07	-2.77	12.87
调节服务	-3.04	-3.69	4.36	5.51	0.86	1.03	2.18
支持服务	-1.09	-2.22	3.13	6.47	0.21	0.41	2.25
文化服务	1.26	7.10	1.75	9.23	-0.02	-0.10	2.99
总价值	5.49	2.62	15.82	7.36	-1.02	-0.44	20.29

2.2 研究区生态系统服务价值空间变化

将盐城滨海 3 地各时期的 *ESV* 利用 GIS 软件空间制图, 如图 3 所示, 将图件分成 1994—2002 年、2002—2010 年以及 2010—2018 年 3 个时间段显示。

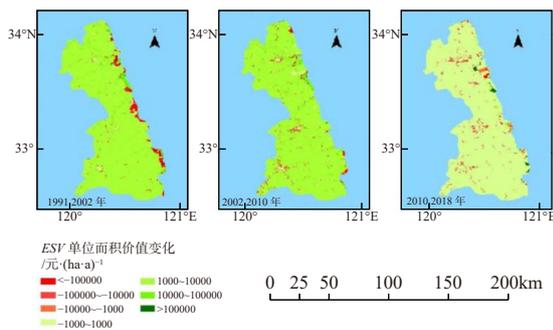


图 3 1994—2018 年研究区 *ESV* 的时空变化

Fig. 3 Spatial and temporal changes of *ESV* from 1994 to 2018

从空间变化来看, 研究区生态系统服务价值呈现良好的发展态势, 但在沿海滩涂湿地区域和城市周边地区 *ESV* 下降最为明显, 原因是滩涂湿地向外扩张, 滩涂湿地中的草滩大片减少。1994—2002 年生态系统服务价值较高, 但随着滨海湿地干扰强度越来越强, 射阳、东台滩涂湿地部分区域的生态系统服务价值有所减少; 2002—2010 年, 由于农用地面积占比大, 整体生态系统服务价值较高。2010—2018 年, 城市发展的速度加快, 农用地、草地被征用, 整体生态系统总价值呈现下降趋势。

2.3 敏感性指数分析

依照公式(2)对研究区 1994—2018 年 *ESV* 敏感性指数进行计算(表 6), 结果表明敏感性值最高为农用地, 2014 年为 0.79, 即当农用地的 *VC* 增加 1% 时, 总价值增加 0.79%; 敏感性值最

表 6 1994—2018 年研究区 *ESV* 敏感性指数

Tab.6 Sensitivity Index of *ESV* of study area from 1994 to 2018

类型	敏感性指数 <i>CS</i>						
	1994年	1998年	2002年	2006年	2010年	2014年	2018年
农用地	0.679	0.715	0.767	0.790	0.790	0.790	0.772
河流	0.088	0.094	0.102	0.106	0.105	0.107	0.104
建设用地	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.002
基塘	0.012	0.016	0.028	0.025	0.033	0.031	0.029
草滩	0.202	0.154	0.089	0.066	0.066	0.064	0.089
盐田	0.008	0.009	0.008	0.005	0.004	0.000	0.000
泥滩	0.0112	0.011	0.004	0.006	0.002	0.003	0.004

低为建设用地和盐田,部分时期 CS 为 0。基塘敏感性呈现波动变化,这与研究区内基塘面积变化情况有关。从整体上分析, ESV 的敏感性大小依次为农用地、草滩、河流、基塘、泥滩、盐田、建设用地。

3 结论

(1)从价值总量角度来看,1994—2018年,研究区的 ESV 整体上呈现增加态势。其中,农用地占比高,对生态系统服务价值变化影响较大,城市和滩涂湿地生态系统服务价值受人类活动影响变化较大, ESV 为波动性上升。

(2)1994—2018年,研究区生态系统的各项服务价值整体上呈现增加态势,其中,供给服务价值增加了 12.87 亿元,调节服务增加 2.18 亿元,支持服务增加 2.25 亿元,文化服务的价值增加 2.99 亿元。

(3) ESV 的敏感性大小依次为农用地、草滩、河流、基塘、泥滩、盐田、建设用地。

参考文献:

- [1] 王显金,钟昌标. 基于CVM的海涂湿地生态服务价值的模糊评估模型[J]. 生态学报, 2018, 38(8): 2974-2983.
- [2] 马煜曦,李秀珍,林世伟,等. 崇明环岛湿地生态服务价值核算及其不确定性[J]. 生态学杂志, 2020, 39(6): 1875-1883.
- [3] 易阿岚,孙清,王钧. 基于SD模型的上海市湿地生态系统服务变化过程与情景研究[J]. 生态学报, 2020, 40(16): 5513-5524.
- [4] 佟玲玲,魏晓燕,宋秀华,等. 基于享乐价格-结构方程双模型的西宁城市湿地生态系统服务价值及影响因素研究[J]. 生态学报, 2022, 42(11): 4630-4639.
- [5] 郝伟罡,申军,崔丽萍,等. 达里诺尔湖湿地生态系统服务价值评价[J]. 中国农学通报, 2020, 36(36): 40-43.
- [6] 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(6630): 253-260.
- [7] SARUKHÁN J, WHYTE A, HASSAN R, et al. Millennium ecosystem assessment. Ecosystems and human well-being: synthesis[M]. Washington DC: Island Press, 2005.
- [8] ADEKOLA O, MITCHELL G, GRAINGER A. Inequality and ecosystem services: the value and social distribution of Niger Delta wetland services[J]. *Ecosystem Services*, 2015, 12: 42-54.
- [9] LUISETTI T, TURNER R K, JICKELLS T, et al. Coastal zone ecosystem services: from science to values and decision making; a case study[J]. *Science of the Total Environment*, 2014, 493: 682-693.
- [10] CAMACHO-VALDEZ V, RUIZ-LUNA A, GHERMANDI A, et al. Valuation of ecosystem services provided by coastal wetlands in northwest Mexico[J]. *Ocean & Coastal Management*, 2013, 78: 1-11.
- [11] 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.
- [12] 崔丽娟,庞丙亮,李伟,等. 扎龙湿地生态系统服务价值评价[J]. 生态学报, 2016, 36(3): 828-836.
- [13] 江波,陈媛媛,肖洋,等. 白洋淀湿地生态系统最终服务价值评估[J]. 生态学报, 2017, 37(8): 2497-2505.
- [14] 燕守广,张慧,李海东,等. 江苏省陆地和生态红线区域生态系统服务价值[J]. 生态学报, 2017, 37(13): 4511-4518.
- [15] 商慧敏,郝敏,李悦,等. 胶州湾滨海湿地生态系统服务价值变化[J]. 生态学报, 2018, 38(2): 421-431.
- [16] 邢伟,王进欣,王今殊,等. 盐城海岸带湿地土地覆盖变化及其生态效应研究[J]. *海洋湖沼通报*, 2011(1): 122-130.
- [17] 关瑜,陈影,潘肖燕,等. 基于土地利用转型的生态服务交叉敏感性分析——以雄安新区为例[J]. 生态经济, 2021, 37(3): 153-160.
- [18] 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, 18(2): 189-196.
- [19] 秦军主编. 盐城统计年鉴[R].北京: 中国统计出版社, 1994-2018.