

# 基于土地利用的烟台市生态系统 服务价值时空变化研究

郑子衿,王秋贤,刘慧玲

(鲁东大学 资源与环境工程学院,山东 烟台 264039)

**摘要:**为了合理优化烟台市土地利用结构,提高城市生态系统服务价值,本文以烟台市1990—2020年间4期的土地利用数据为基础,采用当量价值评价法等,分析研究区近30年生态系统服务价值的时空变化特征。研究表明:1990—2020年,烟台市主要土地类型为耕地、林地和建设用地,占土地总面积90%以上,建设用地动态变化最显著,动态度为2.51%,2010—2020年综合土地利用动态度最高,为0.45%;1990—2020年烟台生态系统服务价值总量逐年下降,耕地和草地生态系统服务价值显著减少(23.47亿元),林地和水体明显增加(21.22亿元);1990—2020年生态系统服务价值呈东高西低格局,城市化使建设用地扩张,生态系统服务价值低的区域从城区向周边扩散,高值区在海岸线及高海拔山地,虽受海水侵蚀和“退耕还林”政策的影响,部分区域面积增加,但整体生态系统服务价值仍在下降。

**关键词:**生态系统服务价值;土地利用;时空变化;烟台市

**中图分类号:**F301.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1673-8020(2025)01-0051-11

土地是维系经济和社会活动并保护生态环境质量的核心要素<sup>[1]</sup>。它不仅提供水文调节和原材料等服务,还与气候和景观等生态服务指标密切相关。人类活动导致的土地变化不断改造区域环境<sup>[2]</sup>,从而影响区域生态系统服务功能<sup>[3]</sup>,引起生态系统服务价值(ecosystem services value, ESV)的波动<sup>[4]</sup>。随着生态系统服务价值评估体系的不断完善,以及国家对生态安全重要性认识的加深<sup>[5]</sup>,研究区域土地利用变化对生态系统功能的影响变得越来越重要<sup>[6-8]</sup>。

目前,生态系统服务价值的评估和驱动因素研究已成为生态学、地理学、生态经济学、资源经济学等领域的热点和难点问题。Costanza等<sup>[9]</sup>提出的生态系统服务价值核算框架首次实现了对生态服务价值的量化,并获得国际社会的广泛认可和采用。国外学者主要关注生态系统服务价值的理论框架<sup>[10]</sup>和量化分析<sup>[11]</sup>等方面。在我国,生态服务价值核算的方法主要包括基于单位面积价值当量的当量因子法和基于单位面积服务功能价格的功能价值法<sup>[12]</sup>。由于当量因子法的数据需求少、计算简便且成本低,得到了广泛应用。谢高地等<sup>[13]</sup>

在Costanza等<sup>[9]</sup>的研究基础上,根据我国生态价值核算特点,提出了一种基于专家知识的生态系统服务价值化方法,并在2015年修正和补充了标准当量因子,明确了生态系统及其功能的划分,提出了当量因子修正模型,建立了我国生态系统服务价值的时空动态评估体系,为我国生态服务价值核算提供了基础<sup>[12]</sup>。部分国内学者结合土地利用数据,对特定省市或地区的生态系统服务价值进行了测算,为区域生态系统服务价值评估提供了实证支持<sup>[14-17]</sup>。由于目前还没有更准确更科学的方法来评价建设用地生态服务价值,很多学者把它赋值为0。本文在文献[13,18]研究的基础上修正得到符合本研究区的生态系统服务价值当量表,以期得到不同土地利用类型的生态系统服务价值。

随着国家“一带一路”倡议的不断推进,以及环渤海经济圈和“山东半岛蓝色经济区”的地理优势,烟台市的工业化和城市化建设步伐正在加快。然而,城市快速发展导致土地资源日益稀缺,给生态环境带来了严重挑战。本文以烟台市1990—2020年迅速发展的30年为研究基础,通过分析烟台市1990—2020年的土地利用格局,对

收稿日期:2024-06-20;修回日期:2024-08-25

基金项目:国家自然科学基金面上项目(42271055);山东省自然科学基金面上项目(ZR2017MD015)

通信作者简介:王秋贤(1977—),女,副教授,硕士研究生导师,博士,研究方向为土地利用与碳排放。E-mail:qiuxian1@sina.com

不同土地利用类型的生态系统服务价值的时空变化规律进行了探究。研究结果有助于合理规划各种土地利用类型的空间分布,提升区域生态系统服务价值,从而实现可持续发展。

## 1 研究区概况与数据来源

### 1.1 研究区概况

烟台市位于山东半岛东北部(图 1),东接威海,西邻潍坊,南靠黄海,北邻渤海,海岸线长度为 1 038.14 km。该市属于温带季风气候,降水和空气湿度适中,夏冬两季无极端天气,气候温和,是

环渤海经济圈和胶东经济圈的重要节点城市。近 30 年来,烟台市的工业化和城市化进程加速,城市扩展导致土地利用和生态保护格局发生巨大变化,同时烟台市将在山东省率先试点生态产品价值实现机制。作为“一带一路”倡议中具有关键战略地位的重点建设港口城市,其自身所具备的独特区位优势以及所呈现出的具体发展状况,对于推动区域经济合作、促进贸易畅通、加强国际交流等诸多方面而言,都显得极为重要,具有不可忽视的关键意义和深远影响<sup>[19]</sup>。由于本文研究的时间跨度为 1990—2020 年,蓬莱区是在 2020 年 6 月由原蓬莱市和长岛县合并设立,为了研究方便,本文与图中统一将此区域称为蓬莱区。

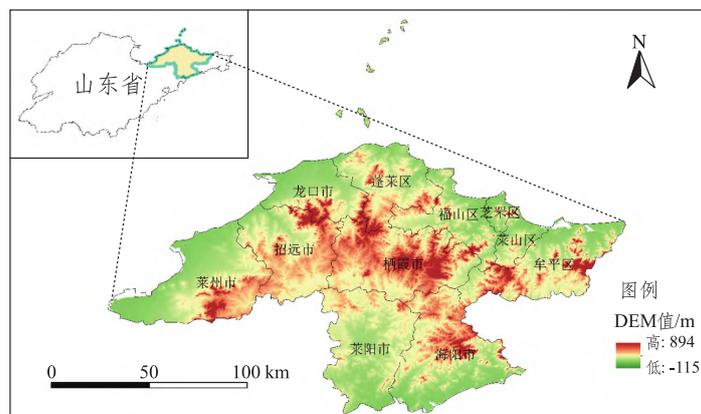


图 1 研究区概况

Fig.1 Overview of the research area

注:本图源于自然资源部标准地图服务系统,审图号:GS(2024)0650,底图无修改。

### 1.2 数据来源

本文中的烟台市土地利用栅格数据是基于美国航空航天局陆地卫星的 Landsat 5 TM 和 Landsat 8 OLI\_TIRS 卫星数字产品解译生成,行政区划数据来源于自然资源部标准地图服务系统,高程数据来源于地理空间数据云网站提供的 GDEM V3 30 m 分辨率数字高程数据。

烟台市 2021 年平均粮食价格来源于烟台市人民政府网站([https://www.yantai.gov.cn/col/col43963/index.html?vc\\_xxgkarea=113706000042603877-1&number=C130703&jh=263](https://www.yantai.gov.cn/col/col43963/index.html?vc_xxgkarea=113706000042603877-1&number=C130703&jh=263)),烟台市 1990—2020 年粮食播种面积和单位面积产量以及农产品价格指数来自于 1990—2021 年《烟台统计年鉴》。

本文借助 ArcGIS 10.8 软件对烟台市 1990、2000、2010、2020 年的数据进行土地利用动态度计算和土地利用转移矩阵的制作,直观地展示出

研究区的土地利用现状和变化情况;通过搜集整理烟台市 1990—2020 年的粮食价格,计算得到近 30 年的平均价格,借鉴文献[20—22]提出的当量因子法,计算出烟台市 1990—2020 年生态系统服务价值系数为 2341,并结合当年的土地利用情况得到 1990、2000、2010 和 2020 年的生态系统服务价值,最后将计算出的结果进行空间可视化,得到研究区 1990、2000、2010 和 2020 年生态系统服务价值的空间分布情况。

## 2 研究方法

### 2.1 土地利用动态度

单一土地利用动态度是指在特定时期内,一个区域内某种土地利用类型的数量和空间分布的变化情况。它描述了该土地利用类型的面积和分

布随时间变化的过程,通常通过地理信息系统和遥感技术进行监测和分析,用来表示该土地利用的变化速率<sup>[23]</sup>,其公式如下:

$$K = \frac{U_b - U_a}{U_a} \times \frac{1}{T} \times 100\%, \quad (1)$$

式中,  $K$  表示某段时间的土地利用类型的变化速率,  $U_a$  表示研究基期的土地利用类型的面积 ( $\text{km}^2$ ),  $U_b$  表示研究末期土地利用类型的面积 ( $\text{km}^2$ ),  $T$  表示研究时段(年)。

### 2.2 土地利用转移矩阵

在特定时期和区域内,土地利用类型之间会相互影响和作用,一种土地利用类型的变化通常会导导致其他土地利用类型的转化。土地利用转移矩阵用于表示不同时间点的土地利用类型之间的转化情况<sup>[24]</sup>,这对于城市规划、自然资源管理和环境保护等领域的决策制定具有重要参考价值。其数学表达式为:

$$S = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & \cdots & S_{1n} \\ S_{21} & S_{22} & \cdots & S_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ S_{n1} & S_{n2} & \cdots & S_{nn} \end{bmatrix}, \quad (2)$$

式中,  $S_{ij}(i, j = 1, 2, n)$  为研究期间第  $i$  类土地转化为第  $j$  类土地的面积;  $n$  为研究区土地类型总数。

### 2.3 基于修正因子的生态系统服务价值计算模型

利用文献[20—22]提出的单位面积价值当量因子法,采用烟台市 1990—2020 年近 30 年的作物产量、播种面积、平均价格,对 ESV 系数进行

修正,计算得到烟台市 ESV 为 2341。

0 价值当量法的修正过程为:1 个标准单位生态系统生态服务价值当量等于每年每公顷耕地所产粮食的市场价值的 1/7。计算公式如下:

$$VC = \frac{1}{7} \sum_{i=1}^n \frac{m_i \times p_i \times q_i}{M}, \quad (3)$$

式中:  $VC$  为农田单位面积粮食生产的经济价值(元),即标准值;  $i$  为作物类型;  $m_i$  为播种面积 ( $\text{hm}^2$ );  $q_i$  为粮食年平均产量(kg);  $p_i$  为区域粮食平均价格(元);  $M$  是作物类型的总播种面积( $\text{hm}^2$ )。

确定单位面积 ESV 系数后,使用修正后的价值当量法,参照文献[9,18]提出的计算不同情景下的 ESV 的公式,得到烟台市生态系统单位面积生态服务价值表(表 1),计算公式如下:

$$I_{\text{ESV}} = \sum_{i=1}^n (A_i \times VC_i), \quad (4)$$

式中:  $I_{\text{ESV}}$  为生态系统服务价值总量;  $A_i$  为烟台市第  $i$  种土地利用类型的面积;  $VC_i$  为烟台市第  $i$  种土地利用类型的 ESV。

## 3 结果与分析

### 3.1 烟台市土地利用变化分析

#### 3.1.1 烟台市土地利用动态度及空间特征分析

烟台市 1990—2020 年土地利用类型面积和烟台市 1990—2020 年土地利用动态度变化见表 2、3。

表 1 烟台市生态系统单位面积生态服务价值

Tab.1 Ecological service value per unit area of the ecosystem in Yantai City

		元 · $\text{hm}^{-2}$						
一级功能	二级功能	林地	草地	耕地	湿地	水体	未利用地	建设用地
调节服务	气体调节	8 194.91	1 873.12	1 170.70	4 214.52	0.00	0.00	0.00
	气候调节	6 321.78	2 107.26	2 083.85	40 037.97	1 077.04	0.00	0.00
	水源涵养	7 492.48	1 873.12	1 404.84	36 291.72	47 717.76	70.24	0.00
	废物处理	3 067.24	3 067.24	3 839.90	42 566.68	42 566.68	23.41	0.00
支持服务	土壤形成与保护	9 131.47	4 565.73	3 418.45	4 003.80	23.41	46.83	0.00
	生物多样性保护	7 632.97	2 552.13	1 662.40	5 853.50	5 830.09	796.08	0.00
供给服务	食物生产	234.14	702.42	2 341.40	702.42	234.14	23.41	0.00
	原材料	6 087.64	117.07	234.14	163.90	23.41	0.00	0.00
文化服务	文化娱乐	2 996.99	93.66	23.41	12 994.78	10 161.68	23.41	165.20
合计		51 159.62	16 951.75	16 179.08	146 829.29	107 634.23	983.39	165.20

表 2 烟台市 1990—2020 年土地利用类型面积  
Tab.2 Land use type area in Yantai City from 1990 to 2020

土地利用类型	1990 年	2000 年	2010 年	2020 年
草地	665.61	367.45	254.20	186.38
耕地	9 996.00	9 829.34	9 501.74	9 047.28
水体	261.13	291.32	366.71	307.06
林地	1 298.30	1 353.33	1 372.30	1 616.49
湿地	0.00	0.00	0.00	0.00
建设用地	1 458.61	1 834.70	2 179.73	2 555.93
未利用地	49.34	52.85	54.30	15.83

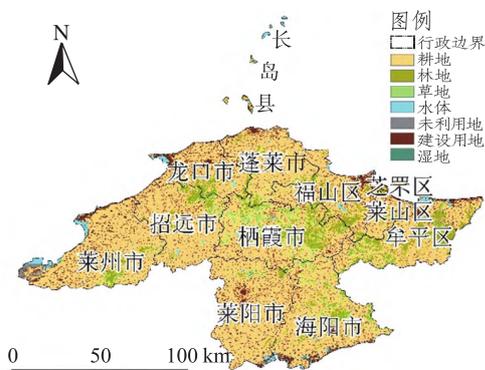
表 3 烟台市 1990—2020 年土地利用动态变化  
Tab.3 Changes inland use dynamics in Yantai City from 1990 to 2020

土地利用类型	1990—2000 年	2000—2010 年	2010—2020 年	1990—2020 年
草地	-4.48	-3.08	-2.67	-2.40
耕地	-0.17	-0.33	-0.48	-0.32
水体	1.16	2.59	-1.63	0.59
林地	0.42	0.14	1.78	0.82
湿地	0	0	0	0
建设用地	2.58	1.88	1.73	2.51
未利用地	0.71	0.28	-7.08	-2.26

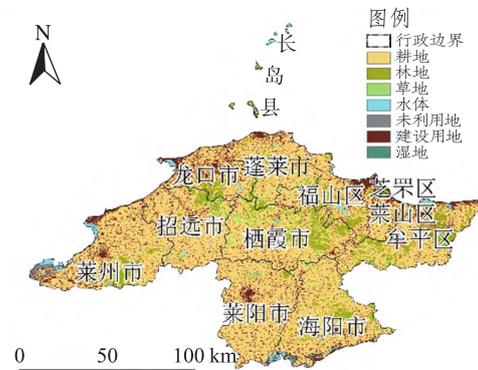
由表 2 和表 3 得知,烟台市 1990—2020 年主要的土地利用类型是耕地、林地和建设用地,其次是草地和水体。从动态变化看,1990—2020 年烟台市水体、林地和建设用地的单一土地利用动态均为正值,表明水体、林地和建设用地的面积在不同程度地增加;草地、耕地和未利用地均是负值,表明这三种土地类型的面积有所减少,其中建设用地的动态变化最剧烈,尤其在 1990—2000 年变化较大,这表明烟台市在这一时期城镇化发展的速度较快。

通过烟台市 1990—2020 年间 4 期土地利用现状栅格数据,对 1990、2000、2010、2020 年的土地利用现状进行对比分析(图 2)。由图 2 可以清

晰地看出,烟台市的耕地呈现出逐年减少的态势,在其下辖区中,芝罘区南部的这种变化表现得最为明显。与此同时,建设用地则呈现出逐渐扩张的趋势,具体而言,蓬莱、龙口、莱州、福山、莱山和牟平这些区域主要是在沿海岸线地区呈现出较为显著的扩张现象,而招远、栖霞和莱阳则主要是在市中心区域出现扩张情况。此外,值得注意的是,在烟台市的中部地区,林地面积有所增加。这种土地利用的变化情况反映了烟台市在发展过程中的不同特点和趋势,对于深入研究区域的土地利用格局以及经济社会发展等方面具有重要的参考意义。



(a) 1990 年



(b) 2000 年

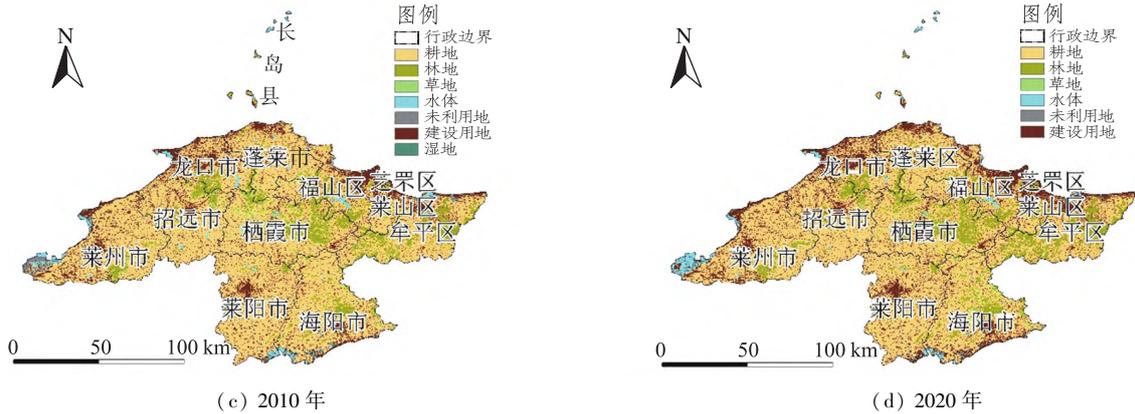


图 2 烟台市 1990—2020 年土地利用现状

Fig.2 Land use status in Yantai City from 1990 to 2020

注:本图来源于自然资源部标准地图服务系统,审图号:GS(2024)0650,底图无修改。

3.1.2 烟台市土地利用转移矩阵分析

运用土地利用转移矩阵对烟台市 1990—2020 年土地利用类型现状(表 4)进行更深入的分析发现,从整体来看,1990—2020 年耕地转移的面积最多,主要转化为建设用地,转移的面积为 1 031.20 km<sup>2</sup>,占总转移面积的 72.25%。其次是

草地,主要转化为耕地和林地,转移面积分别为 301.37 km<sup>2</sup> 和 199.39 km<sup>2</sup>, 占总转移面积的 91.12%,林地向耕地转移的面积也较多,转移面积为 143.02 km<sup>2</sup>。从土地利用类型的转移流向来看,烟台市耕地面积大幅度减少,建设用地面积大幅度增加。

表 4 1990—2020 年烟台市土地利用类型转移矩阵  
Tab.4 Transfer matrix of land use types in Yantai City from 1990 to 2020

年份	土地利用类型	草地	耕地	水体	林地	湿地	建设用地	未利用地	总计
1990—2000	草地	302.29	226.86	3.05	106.34	0	22.80	4.26	665.61
	耕地	61.01	9 451.99	30.96	94.77	0	356.46	0.81	9 996.00
	水体	0.31	7.02	225.65	0.13	0	22.35	5.66	261.13
	林地	3.25	140.83	0.04	1 152.08	0	2.09	0	1 298.30
	湿地	0	0	0	0	0	0	0	0
	建设用地	0.06	1.12	30.25	0.01	0	1 426.96	0.21	1 458.61
	未利用地	0.53	1.51	1.37	0	0	4.03	41.91	49.34
	总计	367.45	9 829.34	291.32	1 353.33	0	1 834.70	52.85	13 728.98
2000—2010	草地	187.88	133.39	1.79	30.47	0	10.75	3.17	367.45
	耕地	61.31	9 235.31	43.49	125.98	0	362.53	0.71	9 829.34
	水体	0.03	3.34	261.08	0.04	0	19.02	7.81	291.32
	林地	4.82	126.95	0.04	1 215.79	0	5.72	0.01	1 353.33
	湿地	0	0	0	0	0	0	0	0
	建设用地	0	2.08	53.91	0.01	0	1 778.59	0.09	1 834.70
	未利用地	0.17	0.66	6.40	0	0	3.11	42.51	52.85
	总计	254.20	9 501.74	366.71	1 372.30	0	2 179.73	54.30	13 728.98
2010—2020	草地	102.55	104.64	0.15	38.78	0	6.79	1.29	254.20
	耕地	82.45	8 777.22	12.16	308.17	0	321.47	0.25	9 501.74
	水体	0.17	64.08	248.22	0.33	0	52.37	1.54	366.71
	林地	0.85	98.53	0.01	1 269.20	0	3.71	0	1 372.30
	湿地	0	0	0	0	0	0	0	0
	建设用地	0	1.04	16.37	0	0	2 162.25	0.06	2 179.73
	未利用地	0.36	1.77	30.15	0	0	9.33	12.69	54.30
	总计	186.38	9 047.28	307.06	1 616.49	0	2 555.93	15.83	13 728.98

表 4 (续)  
Tab.4 (Continued)

年份	土地利用类型	草地	耕地	水体	林地	湿地	建设用地	未利用地	总计
1990—2020	草地	116.05	301.37	4.87	199.39	0	40.67	3.24	665.61
	耕地	61.18	8 568.64	48.50	284.86	0	1 031.20	1.61	9 996.00
	水体	0.04	17.95	184.81	0.26	0	55.82	2.25	261.13
	林地	9.04	143.02	0.09	1 131.88	0	14.16	0.09	1 298.30
	湿地	0	0	0	0	0	0	0	0
	建设用地	0.01	14.02	42.23	0.08	0	1 401.96	0.31	1 458.61
	未利用地	0.06	2.28	26.57	0	0	12.11	8.33	49.34
	总计	186.38	9 047.28	307.06	1 616.49	0	2 555.93	15.83	13 728.98

1990—2000年,转移面积最大的是耕地,建设用地是其主要的转移方向,转移面积为356.46 km<sup>2</sup>,占总转移面积的65.52%。草地和林地的转移面积相对较多,分别为363.32 km<sup>2</sup>和146.22 km<sup>2</sup>。与1990—2000年相比,2000—2010年耕地向建设用地转移的面积增加为362.53 km<sup>2</sup>,但建设用地的净转入面积减少7.33 km<sup>2</sup>,说明烟台市在这11年间城市化进程逐渐缓慢;与2000—2010年相比,2010—2020年耕地向林地的转化明显增多,转移面积为308.17 km<sup>2</sup>,增加了182.19 km<sup>2</sup>;同时林地的总转入面积增加244.19 km<sup>2</sup>,这与烟台市实施“退耕还林”政策以及对林地加大保护力度有密切关系,并且烟台市福山区林业局在2015年曾发布《林地保护利用(2010—2020年)修编规划》。从整体来看,烟台市在1990—2000年建设用地转入面积最大,2010—2020年土地利用转移更加频繁。

### 3.2 生态系统服务价值时间变化分析

根据烟台市生态系统单位面积生态服务价值(表1)与烟台市土地利用栅格数据得到1990、2000、2010和2020年烟台市生态系统服务价值(表5)。由表5可知,1990年烟台市生态系统服务价值总量为267.82亿元,耕地贡献ESV最多,占60.44%,其次是林地和水体,各占24.82%和10.51%;2000年烟台市ESV总量为266.19亿元,比1990年减少1.63亿元,同时与1990年相比,除林地、水体和建设用地的生态系统服务价值有所增加外,草地、耕地均不同程度地减少,其中草地减少最多,为5.05亿元;烟台市2010年生态系统服务价值总量比2000年增加1.93亿元,为268.12亿元,其中水体的生态系统服务价值增加最多,为8.11亿元,可见自2000年国务院印发《全国生态环境保护纲要》以来,烟台市注重对生

态环境的保护,在这十年来有了一定的效果。

同时,在2020年研究区林地的ESV主要是以调节服务和支持服务中的气体调节、土壤形成与保护的形式贡献,分别为10.22亿元、14.76亿元,与2010年相比分别增加了1.54亿元、2.23亿元;草地的ESV主要是以支持服务中的土壤形成与保护的形式贡献,为0.85亿元,与2010年相比减少了0.31亿元;耕地的ESV主要是以调节服务和支持服务中的废物处理、土壤形成与保护的形式贡献,分别为34.74亿元、30.93亿元,分别比2010年减少了1.75亿元、1.55亿元;水体的ESV主要是以调节服务中的水源涵养、废物处理的形式贡献,分别为14.65亿元、13.07亿元,分别比2010年减少了2.85亿元、2.54亿元;未利用地的贡献较少,通过生物多样性保护的形式,比2010年减少0.03亿元;建设用地以文化服务的形式贡献,比2010年增加了0.06亿元。从整体看来,烟台市2020年的生态系统服务价值为265.72亿元,比2010年减少2.4亿元。

1990—2020年烟台市生态系统服务价值时间变化见图3。从图3可以看出,1990—2020年烟台市生态系统服务价值逐渐减少,总共减少了2.1亿元。从不同土地利用类型上来看,林地生态系统服务价值的变化趋势为持续增加,最终增加16.28亿元;草地和耕地生态系统服务价值呈现出逐渐减少的趋势;水体生态系统服务价值呈现出先增加后减少的趋势,1990—2020年增加4.94亿元;未利用地和建设用地的变化较小,近30年只减少0.03亿元和增加0.18亿元。整体来看,耕地所提供的生态系统服务价值表现最为突出,占首要地位;紧随其后的是林地,其生态系统服务价值也具有相当重要的分量;再者是水体,同样在生态系统服务价值方面有着显著的贡献。这一生态系统服务价值的分布格局,反映了不同

生态要素在生态系统功能与服务方面所具有的特征与差异,对于深入探究生态系统的结构、功能以及可持续发展等相关领域的研究具有重要意义。

表 5 1990—2020 年烟台市生态系统服务价值  
Tab.5 Ecosystem service value in Yantai City from 1990 to 2020

									亿元
年份	一级功能	二级功能	林地	草地	耕地	湿地	水体	未利用地	建设用地
1990	调节服务	气体调节	10.64	1.25	11.70	0	0	0	0
		气候调节	8.21	1.40	20.83	0	0.28	0	0
		水源涵养	9.73	1.25	14.04	0	12.46	0	0
		废物处理	3.98	2.04	38.38	0	11.12	0	0
	支持服务	土壤形成与保护	11.86	3.04	34.17	0	0.01	0	0
		生物多样性保护	9.91	1.70	16.62	0	1.52	0.04	0
	供给服务	食物生产	0.30	0.47	23.40	0	0.06	0	0
		原材料	7.90	0.08	2.34	0	0.01	0	0
	文化服务	文化娱乐	3.89	0.06	0.23	0	2.65	0	0.24
	合计			66.42	11.28	161.73	0	28.11	0.04
2000	调节服务	气体调节	11.09	0.69	11.51	0	0	0	0
		气候调节	8.56	0.77	20.48	0	0.31	0	0
		水源涵养	10.14	0.69	13.81	0	13.90	0	0
		废物处理	4.15	1.13	37.74	0	12.40	0	0
	支持服务	土壤形成与保护	12.36	1.68	33.60	0	0.01	0	0
		生物多样性保护	10.33	0.94	16.34	0	1.70	0.04	0
	供给服务	食物生产	0.32	0.26	23.01	0	0.07	0	0
		原材料	8.24	0.04	2.30	0	0.01	0	0
	文化服务	文化娱乐	4.06	0.03	0.23	0	2.96	0	0.30
	合计			69.24	6.23	159.03	0	31.36	0.04
2010	调节服务	气体调节	11.25	0.48	11.12	0	0	0	0
		气候调节	8.68	0.54	19.80	0	0.39	0	0
		水源涵养	10.28	0.48	13.35	0	17.50	0	0
		废物处理	4.21	0.78	36.49	0	15.61	0	0
	支持服务	土壤形成与保护	12.53	1.16	32.48	0	0.01	0	0
		生物多样性保护	10.47	0.65	15.80	0	2.14	0.04	0
	供给服务	食物生产	0.32	0.18	22.25	0	0.09	0	0
		原材料	8.35	0.03	2.22	0	0.01	0	0
	文化服务	文化娱乐	4.11	0.02	0.22	0	3.73	0	0.36
	合计			70.21	4.31	153.73	0	39.47	0.04
2020	调节服务	气体调节	13.25	0.35	10.59	0	0	0	0
		气候调节	10.22	0.39	18.85	0	0.33	0	0
		水源涵养	12.11	0.35	12.71	0	14.65	0	0
		废物处理	4.96	0.57	34.74	0	13.07	0	0
	支持服务	土壤形成与保护	14.76	0.85	30.93	0	0.01	0	0
		生物多样性保护	12.34	0.48	15.04	0	1.79	0.01	0
	供给服务	食物生产	0.38	0.13	21.18	0	0.07	0	0
		原材料	9.84	0.02	2.12	0	0.01	0	0
	文化服务	文化娱乐	4.84	0.02	0.21	0	3.12	0	0.42
	合计			82.70	3.16	146.38	0	33.05	0.01

### 3.3 生态系统服务价值空间变化分析

运用 ArcGIS 10.8 软件,对烟台市 1990、2000、2010 和 2020 年的生态系统服务价值进行空间上的可视化呈现,进而获取烟台市生态系统

服务价值空间分布图(图 4)。每一个生态系统服务价值数值对应着一种土地类型,其中最高值为 1 468.29 万元·km<sup>-2</sup>,对应湿地,其他数值由高至低依次对应水体、林地、草地、耕地、未利用地与建筑用地。

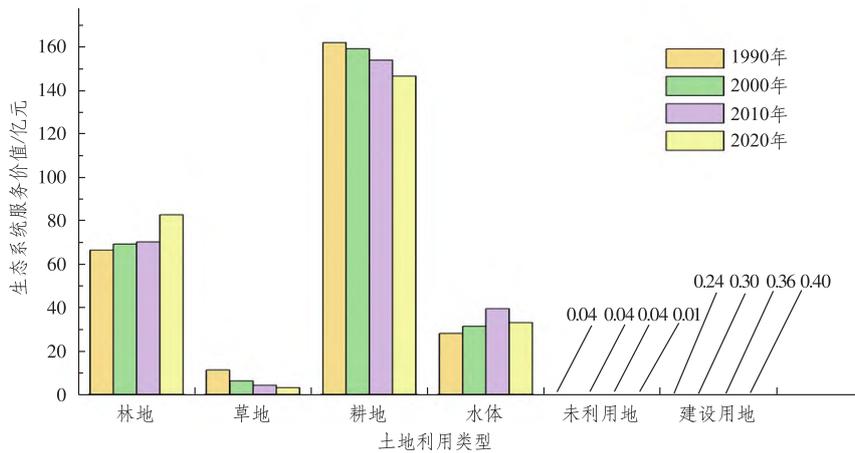


图 3 1990—2020 年烟台市生态系统服务价值时间变化

Fig.3 Time variation of ecosystem service value in Yantai City from 1990 to 2020

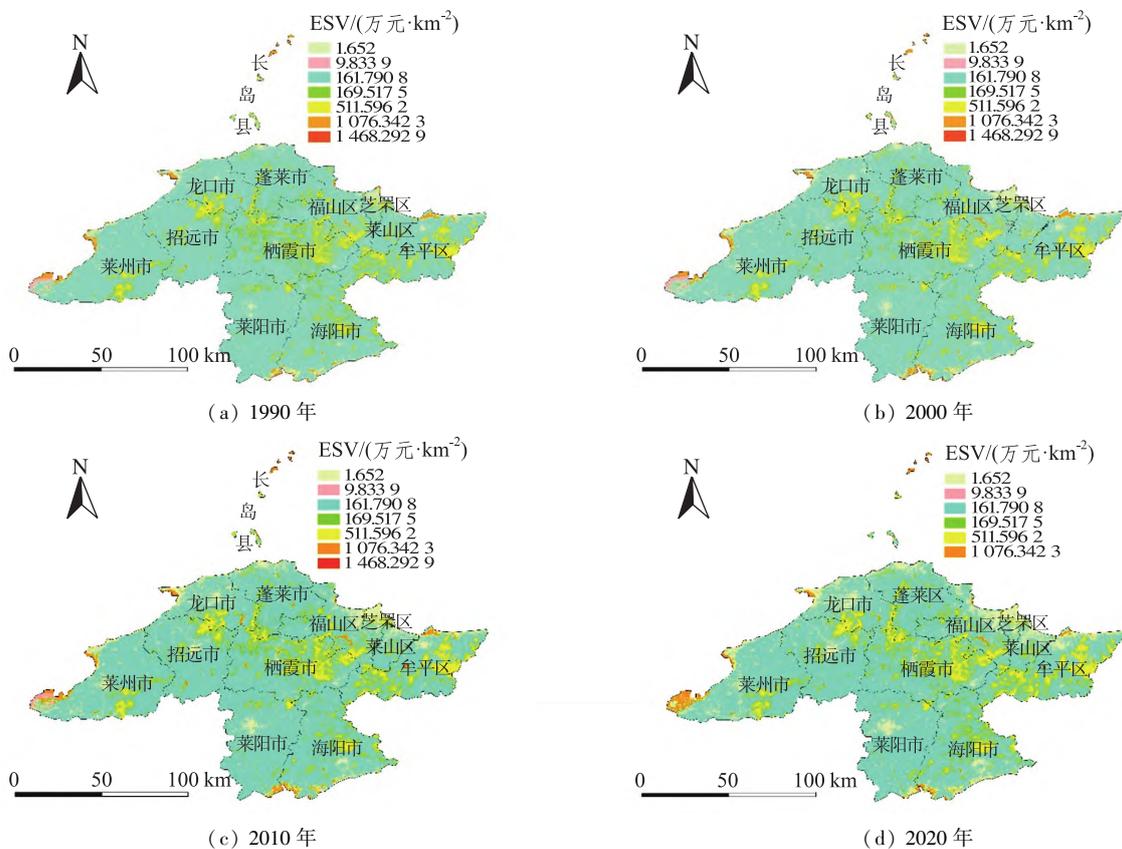


图 4 1990—2020 年烟台市生态系统服务价值空间分布

Fig.4 Spatial distributions of ecosystem service value in Yantai City from 1990 to 2020

注:本图来源于自然资源部标准地图服务系统,审图号:GS(2024)0650,底图无修改。

由图 4 可知,整体而言,烟台市生态系统服务价值的分布呈由中心向四周“高、低、高”的趋势,且生态系统服务价值的较高值主要分布于莱州、龙口、蓬莱、福山等具有海岸线的区县的沿海边缘区域。此现象的原因在于水体对生态系统的贡献值较大,多数通过水源涵养与废物处理的形式予

以提供。中心“高”的区域则是因以栖霞为代表的中部地区分布有山地和丘陵,森林覆盖率较高,为生态系统提供了更为丰富的生态系统服务。

1990—2020 年的这 30 年间,生态系统服务价值的低值区呈现出从各区县城市中心向四周扩散的态势,这是城市持续发展致使建设用地面积

逐渐扩增的结果。伴随滨海旅游业的发展,各沿海区县的海岸线区域逐渐被建设用地所覆盖,草地与耕地被替代,致使海边部分区域的生态系统服务价值由高值区瞬间降至低值区。当然,亦存在生态系统服务价值增加的区域,其中莱州西南角地区的部分区域由  $9.83 \text{ 万元} \cdot \text{km}^{-2}$  提升至  $1\,076.34 \text{ 万元} \cdot \text{km}^{-2}$ ,主要是由于该地的未利用地随海水持续侵蚀,令海岸线拓宽,逐渐演变为水体。相较于 1990 年,2020 年烟台市的中值区面积有所增加,例如栖霞的东部与西北部、牟平的西南部与东部地区均呈现低值升高的趋势,这或许是由于“退耕还林”政策施行,对森林保护发挥了积极作用所致。

## 4 结论与建议

### 4.1 结论

本文以烟台市作为研究对象,借助 ArcGIS 10.8 软件、Excel 软件和 Origin 软件,运用土地利用动态度、土地利用转移矩阵和当量价值评价等研究方法,对其土地利用和生态系统服务价值的时间和空间变化特征进行分析,研究结果如下。

1) 1990 至 2020 年间,烟台市的主要土地类型为耕地、林地和建设用地,占总面积的 90% 以上。其中,建设用地面积变化最为显著,动态度为 2.51%;其次是草地,动态度为 -2.4%。特别是在 2010 至 2020 年期间,综合土地利用的动态度达到最高,为 0.45%。在此期间,烟台市的生态系统服务价值总量逐年下降,共减少了 2.28 亿元。耕地和草地的生态系统服务价值显著减少,共减少 23.47 亿元;而林地和水体的生态系统服务价值明显增加,总计增加 21.22 亿元。不同类型的生态系统服务中,调节服务和支持服务贡献较大。

2) 从空间分布看,1990 至 2020 年间,烟台市的生态系统服务价值呈现东高西低的格局。随着城市化进程加快,建设用地不断扩张,生态系统服务价值低的区域逐渐从城区向周边扩散;高值区域主要分布在海岸线周边及高海拔山地。尽管受到海水侵蚀和“退耕还林”政策的影响,这些区域面积有所增加,但总体上烟台市的生态系统服务价值仍在下降。

### 4.2 建议

#### 4.2.1 持续实施烟台市生态修复工程

烟台市作为国家首个生态文明建设示范区,应积极展开生态修复工作。烟台市自然资源与规划局于 2023 年 8 月 23 日组织对第二轮省生态环境保护督察整改任务予以验收,并宣称烟台市本轮生态环境修复整改任务已完成验收。2024 年 5 月 8 日,烟台市召开突出生态环境问题整改推进会议,该会议强调,优良的生态环境是推动绿色低碳高质量发展的基本要件。因此,烟台市可以通过以下措施持续改善生态环境,加大城市生态修复力度,将烟台市建设成为宜居宜业的滨海之城。

1) 加强森林资源保护与培育。加大植树造林力度,提高森林覆盖率,优化森林生态系统结构,开展低效林改造。

2) 加强矿山生态修复工作。对废弃矿山进行复垦、植被恢复,治理地质灾害隐患,恢复矿山生态景观。

3) 加强海岸带生态保护与修复。开展海岸线整治、沙滩修复、海堤生态化改造,保护海洋生态系统。

#### 4.2.2 加强烟台市耕地保护,发展生态农业

粮食安全是“国之大者”,耕地是粮食生产的命根子,以牺牲耕地为代价的城市发展是不可持续的。1990—2020 这 30 年间烟台市耕地减少量近  $948.72 \text{ km}^2$ ,这应当引起重视,在后续的建设过程中,发展和保护要同时兼顾,并积极开展土地整理、旧村复垦等工作,充分开发未利用地,盘活低效建设用地,用以补充耕地。同时,采用可持续的农业生产方式,减少化肥和农药的使用,发展生态农业。

#### 4.2.3 合理规划土地,强化人工水域建设

政府在制定国土空间规划方案时应根据现有土地利用情况加以考量,对于不同类型的土地进行不同的管理措施,伴随城市化进程的加快,建设用地不可盲目扩张,应在确保生态效益的前提下进行扩建。水体的生态系统服务价值在土地利用类型之中是除湿地以外最高的,虽然 1990—2020 年水体的面积有所增加,但整体的生态系统服务价值是减少的,烟台市还需要进一步加强对河道、湖泊、水库等人工水域的投资建设力度,并增强对自然水域的保护。

## 5 不足与展望

土地利用结构变化直接影响区域生态服务价值变化,但区域生态服务功能的计算主要是针对自然或半自然生态系统,建设用地作为土地利用结构的有机组成部分,基本是不透水面,且由于目前还没有更准确更科学的方法来评价建设用地生态服务价值,因此本文仅对建设用地的文化服务价值进行了粗略测算,未来应加强建设用地的生态系统服务价值评估方法的研究。

### 参考文献:

- [1] LIU J Y, KUANG W H, ZHANG Z X, et al. Spatiotemporal characteristics, patterns and causes of land use changes in China since the late 1980s[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2014, 24(2): 195-210.
- [2] RAJU R, ZHANG Y L, BASANTA P, et al. Land use and land cover dynamics and assessing the ecosystem service values in the Trans-Boundary Gandaki River Basin, Central Himalayas[J]. *Sustainability*, 2018, 10(9): 22.
- [3] 雷金睿, 陈宗铸, 吴庭天, 等. 海南岛东北部土地利用与生态系统服务价值空间自相关格局分析[J]. *生态学报*, 2019, 39(7): 2366-2377.
- [4] GASHAW T, TULU T, ARGAW M, et al. Estimating the impacts of land use/land cover changes on Ecosystem Service Values: the case of the Andassa watershed in the Upper Blue Nile basin of Ethiopia[J]. *Ecosystem Services*, 2018, 31: 219-228.
- [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] 尹泽凯, 谭立峰, 贾琦. 山区县域土地利用变化及其生态系统服务价值响应——以嵩县为例[J]. *科学技术与工程*, 2020, 20(35): 14743-14751.
- [7] 娄云, 汤洁, 刘岩岩, 等. 长春莲花山生态旅游度假区生态系统服务功能评价[J]. *科学技术与工程*, 2014, 14(8): 278-283.
- [8] 李志英, 汪琳, 薛梦柯, 等. 滇中城市群景观格局及生态环境效应研究[J]. *科学技术与工程*, 2023, 23(14): 6176-6189.
- [9] COSTANZA R, D'ARGE R, DE GROOT R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. *Nature: International Weekly Journal of Science*, 1997, 387(6): 253-260.
- [10] BOLUND P, HUNHAMMAR S. Ecosystem services in urban areas[J]. *Ecological Economics*, 1999, 29(2): 293-301.
- [11] KOZAK J, LANT C, SHAIKH S, et al. The geography of ecosystem service value: the case of the Des Plaines and Cache River wetlands, Illinois[J]. *Applied Geography*, 2011, 31(1): 303-311.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 陕永杰, 原卫利, 苗圆, 等. 山西省大同市 2000-2019 生态系统服务价值时空变化[J]. *水土保持通报*, 2021, 41(6): 310-317+344.
- [15] 丁佳佳, 蔡庆, 丁磊, 等. 基于生态价值核算的重庆市区域生态补偿策略研究[J]. *环境生态学*, 2022, 4(Z1): 23-30.
- [16] 孙张涛, 余正伟, 舒思齐, 等. 中国省域生态系统服务价值评价与生态地质调查工作建议[J]. *中国地质*, 2023, 50(2): 479-494.
- [17] 李魁明, 王晓燕, 姚罗兰, 等. 京津冀地区生态系统服务价值时空变化及驱动因子分析[J]. *环境工程技术学报*, 2022, 12(4): 1114-1122.
- [18] 冉圣宏, 吕昌河, 贾克敬, 等. 基于生态服务价值的全国土地利用变化环境影响评价[J]. *环境科学*, 2006(10): 2139-2144.
- [19] 李郊, 郑鑫, 吴辉龙, 等. 基于 LUCC 和 RSEI 指数的烟台市生态质量评价[J]. *森林防火*, 2022, 40(2): 67-71.
- [20] 李雪婷. 汾河上游土地利用变化及生态系统服务价值研究[D]. 北京: 中国地质大学, 2019.
- [21] 罗雅琴. 临川区土地利用与生态系统服务价值时空变化研究[D]. 南昌: 东华理工大学, 2019.
- [22] 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.
- [23] 谢高地, 肖玉, 甄霖, 等. 我国粮食生产的生态服务价值研究[J]. *中国生态农业学报*, 2005(3): 10-13.
- [24] 王思博, 焦翔, 李冬冬, 等. 生态系统服务研究评述与展望: 由功能认知、价值核算向消费价值实现的演变[J]. *林业经济*, 2021, 43(6): 49-67.

## Spatiotemporal Changes of Ecosystem Service Value in Yantai City based on Land Use

ZHENG Zijin, WANG Qiuxian, LIU Huiling

(School of Resources and Environmental Engineering, Ludong University, Yantai 264039, China)

**Abstract:** As the first national ecological civilization construction demonstration zone, a national low-carbon city pilot, and a core city for the transformation of new and old kinetic energy in Shandong Province, Yantai firmly establishes and practices the concept of “green mountains and clear waters are invaluable assets”, vigorously improves the service value of land ecosystems, and coordinates the comprehensive transformation of the city towards green development. This article is based on the land use data of Yantai City from 1990 to 2020, and uses equivalent value evaluation method to analyze the spatiotemporal changes in the ecosystem service value of the research area in the past 30 years. Research shows that from 1990 to 2020, the main land types in Yantai City were arable land, forest land, and construction land, accounting for more than 90% of the total area. The construction land area increased significantly by 2.53%, and the comprehensive land use dynamic degree was the highest from 2010 to 2020, at 0.44%. From 1990 to 2020, the total value of ecosystem services in Yantai City has been decreasing year by year, with a significant decrease of 2.151 billion yuan in the value of ecosystem services in arable land and grassland, and a significant increase of 1.915 billion yuan in forest land and water bodies. From 1990 to 2020, the ecosystem service value showed a pattern of high in the east and low in the west. Urbanization led to the expansion of construction land, and areas with low ecosystem service value spread from urban areas to the surrounding areas. High value areas were located along the coastline and high-altitude mountains. Although some areas have increased due to seawater erosion and the policy of returning farmland to forests, the overall ecosystem service value is still declining.

**Keywords:** value of ecosystem services; land use; temporal and spatial changes; Yantai City

(上接第 24 页)

**Abstract ID:** 1673-8020(2025)01-0019-EA

## The Design of Wind Shield and Wind Resistance Optimization for Container Ships

XU Rongjing<sup>1</sup>, CHEN Qiuyi<sup>2a</sup>, LI Renjia<sup>2b</sup>, SHI Hongyuan<sup>2b</sup>, ZHANG Kezheng<sup>2a</sup>

(1. Yantai Development Zone Tianyuan Aquatic Products Co., Ltd., Yantai 264006, China;

2. a. School of Transportation; b. School of Hydraulic and Civil Engineering, Ludong University, Yantai 264039, China)

**Abstract:** Container ships currently face resistance caused by strong winds during sea navigation, which affects sailing speed and fuel consumption. This paper conducted design and optimization research on wind shield for a certain ultra-large container ship using numerical simulation methods. By employing computational fluid dynamics (CFD) technology, the flow field characteristics and resistance changes before and after the wind shield were analyzed. The results show that the wind shield can significantly reduce the wind resistance of the container ship, the optimally designed wind shield wall can reduce wind resistance by 16.7% under direct headwind conditions during the container ship's voyage, enhancing the ship's navigational efficiency, providing a feasible path for flow field improvement, and offers a reference for the general layout design of container ships.

**Keywords:** CFD; wind shield; container ship; wind resistance