

# 基于土地利用变化的湄洲岛生态系统 服务价值时空变化分析

傅维嘉<sup>1</sup>, 林锦涵<sup>2</sup>, 苏颖婷<sup>3</sup>, 郑梓林<sup>3</sup>, 傅丽君<sup>3</sup>

(1.谢菲尔德大学 国际管理学院, 英国 南约克郡谢菲尔德市 S102 TN;  
2.莆田学院 土木工程学院, 福建 莆田 351100; 3.福建省新型污染物生态毒理效应与  
控制重点实验室 生态环境及其信息图谱福建省高等学校重点实验室, 福建 莆田 351100)

**摘要:** [目的] 以“文化型”“朝圣型”“旅游型”海岛—湄洲岛为研究对象, 分析 2000—2020 年海岛开发建设过程生态系统服务价值(ESV)的时空变化特征, 为制定湄洲岛旅游区土地利用规划和生态建设提供科学参考。[方法] 以覆盖湄洲岛的 1985—2020 年全球 30 m 精细地表覆盖动态监测数据为数据源, 采用 ArcGIS 技术提取研究区 2000, 2005, 2010, 2015 和 2020 年 5 期土地利用数据, 通过土地动态度、土地利用转移矩阵和生态贡献率分析 20 a 间湄洲岛土地利用变化特征, 并结合当量因子法估算湄洲岛生态系统服务价值(ESV)。[结果] ① 2000—2020 年, 湄洲岛土地利用类型以建设用地和耕地为主, 面积变化上主要表现为建设用地和湿地面积的增长, 耕地和林地面积的减少; 土地利用转移以林地—耕地—建设用地—水域之间的相互流转和建设用地对耕地和林地的侵占为主; ② 研究期限内湄洲岛 ESV 大幅下降, 20 a 内减少了 1 252.69 万元, 林地和耕地是湄洲岛 ESV 的主要贡献因子, 湿地和水域面积增加是 ESV 增加的主要影响因素; ③ 各单项生态系统服务价值主要表现为: 调节服务 > 支持服务 > 供给服务 > 文化服务; ④ ESV 空间分布呈中间低、四周高的特征, 高值区与域内森林覆盖率高的区域高度重叠, 低值区主要分布在建设用地。[结论] 林地和耕地是湄洲岛 ESV 的主要贡献因子, 调节服务对湄洲岛生态系统服务价值量贡献最高。因此在开发建设过程中应提高建设用地利用效率, 加强对耕地和林地保护。

**关键词:** 生态系统服务价值; 土地利用; 价值当量法; 时空变化; 湄洲岛

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2024)02-0378-11

中图分类号: F301.2

**文献参数:** 傅维嘉, 林锦涵, 苏颖婷, 等. 基于土地利用变化的湄洲岛生态系统服务价值时空变化分析[J]. 水土保持通报, 2024, 44(2): 378-388. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2024.02.038; Fu Weijia, Lin Jinhan, Su Yingting, et al. Spatiotemporal variation of ecosystem service value of Meizhou Island based on land use changes [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2024, 44(2): 378-388.

## Spatiotemporal Variation of Ecosystem Service Value of Meizhou Island Based on Land Use Changes

Fu Weijia<sup>1</sup>, Lin Jinhan<sup>2</sup>, Su Yingting<sup>3</sup>, Zheng Zilin<sup>3</sup>, Fu Lijun<sup>3</sup>

(1.College of International Management, The University of Sheffield, Western Bank, Sheffield, South Yorkshire, S102 TN, UK; 2.School of Architecture and Construction, Putian University, Putian, Fujian 351100, China; 3.Fujian Provincial Key Laboratory of Ecology-toxicological Effects & Control for Emerging Contaminants, Key laboratory of Ecological Environment and Information Atlas, Putian University, Putian, Fujian 351100, China)

**Abstract:** [Objective] The spatiotemporal changes of ecosystem service value (ESV) during the development and construction of Meizhou Island (a ‘cultural’, ‘pilgrimage’, and ‘tourism’ island) during 2000—2020 were analyzed in order to provide a scientific reference for the formulation of land use planning and ecological construction for the tourism area of the island. [Methods] The global 30 m fine land cover dynamic

收稿日期: 2023-10-12

修回日期: 2023-11-22

资助项目: 国家自然科学基金项目“溶藻细菌及其胞外活性物质对米氏凯伦藻的溶藻机制研究”(31400318); 福建省科技厅引导性项目“典型海岛生态脆弱性评估、预警和调控关键技术研究, 以湄洲岛为例”(2020Y0089); 福建省科技厅 STS 项目“木兰溪仙游段河道原位生态修复技术开发与示范推广”(2021T3014)

第一作者: 傅维嘉(2001—), 女(汉族), 福建省福州市人, 硕士研究生, 研究方向为海洋资源管理及战略研究。Email: ohiveijia01@gmail.com.

通信作者: 傅丽君(1975—), 女(汉族), 福建省莆田市人, 博士, 教授, 主要从事环境生态学研究。Email: lijun\_fu@sina.com.

monitoring data covering Meizhou Island from 1985 to 2020 were used as the data source, and ArcGIS technology was used to extract the land use data for 2000, 2005, 2010, 2015, and 2020 in the study area. The land use changes on Meizhou Island during the recent 20 years was revealed through land use dynamics, land use transfer matrix, and ecological contribution rate. The value equivalent method was used to estimate ESV for Meizhou Island. [Results] ① From 2000—2020, the land use types on Meizhou Island were mainly construction land and cultivated land. Land use area changes were mainly manifested as increases in construction land and wetland, and decreases in cultivated land and forest land. The land use transfer was reflected in the mutual flow among forest land-cultivated land-construction land-water area, and the encroachment of construction land on cultivated land and forest land; ② During the study period, the ESV of Meizhou Island decreased by 12.526 9 million yuan, of which forest land and cultivated land were the main contributing factors of ESV for Meizhou Island. The increases of wetland and water area were the main influencing factors of the increase of ESV; ③ The values of each individual ecosystem service function followed the order of regulation service > support service > supply service > cultural service; ④ The spatial distribution of ESV showed a pattern of ‘lower in the middle and higher on the periphery’, and the distribution of high value areas overlapped highly with that of forest land. Low ESV areas were concentrated in the construction land. [Conclusion] Forest and cultivated land were the main contributors of ESV on Meizhou Island. Regulation service contributed the most to ESV. Therefore, during the development and construction process, we should increase the utilization efficiency of construction land and strengthen the protection of forest land and cultivated land.

**Keywords:** ecosystem service value; land use; value equivalent method; spatiotemporal variation; Meizhou Island

生态系统服务是指通过生态系统的结构、功能和过程向人类提供生命支持的产品和服务,可分为供给、调节、支持和文化服务 4 种类型<sup>[1-2]</sup>。生态系统服务价值(Ecosystem service value, ESV)是生态系统功能的直接体现,对于深入理解人类活动和气候变化对生态系统功能的影响,制定生态环境保护、生态功能区划和生态补偿决策具有重要意义<sup>[3-5]</sup>。近年来,随着经济的快速发展和城市化进程的推进,人地矛盾逐渐加深,导致土地利用类型发生显著变化,直接影响了生态系统的结构和功能,进而成为生态系统服务价值变化的重要驱动力<sup>[6-9]</sup>。

海岛是海陆交界的特殊生态区域,具有十分重要的政治、经济、军事和生态价值。海岛经济尤其是海洋生态旅游经济已经成为中国蓝色经济板块的重要贡献之一。海岛生态系统服务的可持续供给是海岛开发利用的基础,然而海岛是一个封闭的生态系统,具有隔离性和生态脆弱性等特点,一旦被破坏,难以自我修复,恢复和治理难度增大,已成为海岛生态空间管控的重要内容<sup>[10-11]</sup>。人地关系紧张,生态环境恶化已成为制约海岛生态、经济和社会可持续发展的主要因素。部分学者已从不同角度对海岛生态系统服务价值展开研究,如:崔旺来等<sup>[11]</sup>基于 NDVI 模型研究海岛生态系统服务价值时空变化;汪来娣<sup>[12]</sup>基于 In VEST 模型从水涵养、水质净化、水产养殖及景观质量 4 个模块评估海岛生态系统服务价值;Yang

等<sup>[13]</sup>基于能值法对海岛生态系统服务价值进行核算;Yuan 等<sup>[14]</sup>基于人类活动评估海岛的生态系统服务价值,并提出了自然生态系统受损指数和社会生态系统支持指数。上述研究多局限于从能值分析、生态调节功能估值角度开展<sup>[15]</sup>,研究尺度多以建立不同大小的格网。海岛面积普遍较小,周围又被海水包围,土地资源紧缺性尤为凸显,而土地利用变化对区域生态系统影响是一个长期积累的过程。因此探究海岛土地利用情况对海岛生态系统的影响尤为重要。而基于价值当量法,结合土地利用变化,分析评价海岛生态系统服务价值时空演变相关研究相对匮乏<sup>[15]</sup>,不足以为海岛生态建设提供相应参考。

《国务院关于支持福建省加快建设海峡西岸经济区的若干意见》明确提出拓展妈祖文化内涵,随着湄洲岛世界妈祖文化核心区、国际旅游目的地及 5A 级景区的建设,政府加大湄洲岛开发力度,使得湄洲岛不可避免受到自然和人为的干扰,对海岛生态系统造成影响。本研究通过 ArcGIS 空间分析技术,基于 2000—2020 年 5 个时期湄洲岛土地利用数据,在分析土地利用变化的生态系统服务价值时空变化特征的基础上,结合生态系统服务价值当量法和土地利用转移矩阵法,估算湄洲岛 5 个时期生态系统服务价值及时空变化演变规律,揭示生态系统服务价值对土地利用方式的响应机制,以期对湄洲岛土地利用和生态可持续发展提供科学参考。

## 1 研究区概况

湄洲岛 (25° 1' 31"—25° 6' 20" N, 119° 5' 23"—119° 8' 40" E) 位于福建省莆田市, 人口 4.33 万, 全岛陆地面积 15.8 km<sup>2</sup> (包含沙滩面积), 长 9.6 km, 宽 1.3 km, 呈东北延伸的长条状, 中部地势平坦, 两端地势高, 最高为北端牛头山, 海拔 93.7 m。湄洲岛地处亚热带海洋性气候带, 全年冬暖夏凉, 气候宜人, 年平均气温 21 °C, 全年最热的月份为 8 月, 降雨较为集中, 3—9 月占全年雨量的 75%, 5—6 月最多, 台风和干旱时常发生, 台风主要集中在 7—9 月, 最大风速可达 40 m/s, 且台风带来强降水, 降水强度大; 一年四季皆可发生干旱, 干旱发生几率极高。湄洲岛上原种植物遭到外来物种入侵, 已经被破坏殆尽, 全岛树种为 194 种, 其中本土树种仅有 15 种。土壤类型主要以红壤为主, 比较贫瘠, 不利于植物生长<sup>[16]</sup>。

## 2 研究方法

### 2.1 数据来源与处理

使用 ArcGIS 10.8 软件将 1985—2020 年全球 30 m 精细地表覆盖动态监测获取的矢量数据<sup>[17]</sup> 与湄洲岛边界数据叠加, 得到研究区 2000—2020 年 5 期土地利用数据。参照中国科学院土地利用覆盖分类体系, 结合湄洲岛实际情况, 划分为耕地、林地、草地、湿地、建设用地和水域 6 种类型。在 ArcGIS 10.8 软件中对 5 个时期遥感影像进行比对和叠加分析, 建立土地利用转移矩阵。湄洲岛主要农产品播种面积、总产量、总产值等社会经济数据均来源于《莆田市统计年鉴(2002—2020 年)》《全国农产品价格调查年鉴》和莆田市自然资源局和莆田市生态环境局统计数据。

### 2.2 土地利用动态度分析

土地利用单一动态度指数能较好地表征土地利用类型的变化速率, 用以衡量某种土地利用类型在一定时间内的变化速度和幅度, 计算公式<sup>[18]</sup> 如下:

$$K_{a-b} = \frac{U_b - U_a}{U_a} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (1)$$

式中:  $K_{a-b}$  为研究期间初期到末期的土地利用单一动态度(%);  $U_a, U_b$  分别为研究期间初期及末期某种地类面积(hm<sup>2</sup>);  $T$  为研究期时长(a)。

土地利用转移矩阵可直观和全面具体地反映土地利用类型变化的结构特征和各类型之间的转移方向以及转移量, 计算公式<sup>[18]</sup> 为:

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} A_{11} & \cdots & A_{1n} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ A_{m1} & \cdots & A_{mn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中:  $A_{ij}$  为研究初期第  $i$  类土地利用类型到研究末期转为第  $j$  类土地利用类型的面积(hm<sup>2</sup>);  $n$  为土地利用类型数量。

### 2.3 ESV 评估体系建立

2.3.1 标准单位 ESV 当量因子价值量计算 采用单位面积价值当量因子法<sup>[19]</sup>, 估算湄洲岛单位面积 ESV 当量表。将 1 个标准单位生态系统服务价值当量因子的经济价值定义为 1 hm<sup>2</sup> 农田每年自然粮食产量的经济价值的 1/7, 其计算公式<sup>[20-21]</sup> 为:

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

式中:  $E_a$  为 1 个标准单位 ESV 当量因子的价值量(元/hm<sup>2</sup>);  $i$  为主要农作物种类;  $m_i$  为  $i$  种农作物种植面积(hm<sup>2</sup>);  $p_i$  为  $i$  种农作物的平均价格(元/t);  $q_i$  为  $i$  种农作物单位面积产量(t/hm<sup>2</sup>);  $M$  为研究区主要农作物的种植面积(hm<sup>2</sup>)<sup>[20-21]</sup>。

根据莆田市统计年鉴, 统计湄洲岛 2000—2020 年花生和蔬菜两类主要农作物的单位面积产量、种植面积和平均售价等数据, 得到湄洲岛单个 ESV 当量因子价格为 4 407.44 元/hm<sup>2</sup>。

2.3.2 ESV 计算 参照谢高地等<sup>[19]</sup> 中国生态系统服务价值单位面积当量表, 结合湄洲岛土地利用的实际情况及 ESV 区域修正系统, 确定湄洲岛 ESV 当量(表 1)。对生态系统服务价值系数和生态系统服务价值进行计算, 计算公式<sup>[22]</sup> 为:

$$VC_{ij} = e_{ij} \cdot E_a \quad (4)$$

式中:  $VC_{ij}$  为第  $i$  种土地利用类型第  $j$  种生态系统服务类型的 ESV 系数(元/hm<sup>2</sup>);  $e_{ij}$  为第  $i$  种土地利用类型第  $j$  种生态系统服务类型的当量因子。

表 1 湄洲岛各土地利用类型生态系统服务价值当量  
Table 1 Ecosystem service equivalent value of different land use type in Meizhou Island

一级类型	二级类型	耕地	林地	草地	湿地	水域
供给服务	食物生产	2.21	0.51	0.22	0.51	0.80
	原料生产	0.49	1.18	0.33	0.50	0.23
	水资源供给	-2.61	0.61	0.18	2.59	8.29
调节服务	气体调节	1.78	3.87	1.14	1.90	0.77
	气候调节	0.93	11.57	3.02	3.60	2.29
	净化环境	0.27	3.42	1.00	3.60	5.55
	水文调节	2.99	8.08	2.21	24.23	102.24
支持服务	土壤保持	1.04	4.71	1.39	2.31	0.93
	维持养分循环	0.31	0.36	0.11	0.18	0.07
	生物多样性	0.34	4.29	1.27	7.87	2.55
文化服务	美学景观	0.15	1.88	0.56	4.73	1.89

$$ESV = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n S_j \cdot VC_{ij} \quad (5)$$

式中:ESV 为研究区生态系统服务功能总价值(万元); $S_j$ 为第  $j$  种生态系统服务类型的土地利用面积( $\text{hm}^2$ )<sup>[22]</sup>。

## 2.4 ESV 敏感性计算

采用敏感性指数(CS)对 ESV 进行敏感性分析,以确定 ESV 时空演变对于单位面积 ESV 当量系数变化的依赖程度,计算公式<sup>[11]</sup>为:

$$CS = \left| \frac{ESV_j - ESV_i / ESV_i}{VC_j - VC_i / VC_i} \right| \quad (6)$$

式中:ESV<sub>*i*</sub>,ESV<sub>*j*</sub> 分别为初始和调整后的 ESV(万元);VC<sub>*i*</sub>,VC<sub>*j*</sub> 分别为调整前后的 ESV 价值当量系数(表 2)。

当 CS>1 时,说明 ESV 对 VC 是富有弹性的,当自变量发生 1% 的变化,会引起应变量大于 1% 的变化;当 CS<1,则说明 ESV 对 VC 是缺乏弹性的,研究结果可信<sup>[23]</sup>。

表 2 涪洲岛各土地利用类型生态系统服务价值当量系数

Table 2 Ecosystem service value coefficients of different land use types in Meizhou Island

元/ $\text{hm}^2$

一级类型	二级类型	耕地	林地	草地	湿地	水域
供给服务	食物生产	9 740.44	2 247.79	969.64	2 247.79	3 525.95
	原料生产	2 159.65	5 200.78	1 454.46	2 203.72	1 013.71
	水资源供给	-11 503.42	2 688.54	793.34	11 415.27	36 537.69
调节服务	气体调节	7 845.25	17 056.80	5 024.48	8 374.14	3 393.73
	气候调节	4 098.92	50 994.09	13 310.47	15 866.79	10 093.04
	净化环境	1 190.01	15 073.45	4 407.44	15 866.79	24 461.30
	水文调节	13 178.25	35 612.12	9 740.44	106 792.30	450 616.78
支持服务	土壤保持	4 583.74	20 759.05	6 126.34	10 181.19	4 098.92
	维持养分循环	1 366.31	1 586.68	484.82	793.34	308.52
	生物多样性	1 498.53	18 907.92	5 597.45	34 686.56	11 238.97
文化服务	美学景观	661.12	8 285.99	2 468.17	20 847.20	8 330.06

## 2.5 生态贡献率计算

生态贡献率表征一定时间段内不同土地利用类型 ESV 变化量对区域总 ESV 变化量的影响,用于揭示研究区 ESV 变化量的主要贡献因子和敏感因子。计算公式<sup>[18]</sup>为:

$$S_{ET} = \frac{|\Delta ESV_{ET}|}{\sum_{E=1}^n |\Delta ESV_{ET}|} \times 100\% \quad (7)$$

式中: $S_{ET}$ 为  $E$  类生态系统在  $T$  时间段内的生态服务贡献率(%); $\Delta ESV_{ET}$ 为  $E$  类生态系统在  $T$  时间段内的 ESV 变化量(万元)。

# 3 结果与分析

## 3.1 土地利用时空演变

3.1.1 土地利用时空演变 基于涪洲岛土地利用解译结果(图 1),结合分类统计数据,可以计算出 2000—2020 年涪洲岛土地利用变化(表 3)。2000—2020 年,涪洲岛土地利用类型以建设用地和耕地为主,均占研究区土地利用总面积 80% 以上,草地面积比例最少。20 a 间总体土地利用面积变化趋势主要表现为建设用地和湿地面积的增长,耕地和林地面积的减少及草地和水域面积的相对稳定,其中建设用地

和湿地分别增长了 32.20% 和 11.68%,耕地和林地面积分别减少了 19.95% 和 27.50%,建设用地的扩张主要占据了耕地和林地的面积。涪洲岛西北部区域土地变化最剧烈,建设用地、水域土地利用动态在整个研究期间均表现为正值,其中建设用地变化较为剧烈,为 1.61%。耕地和林地在整个研究期内均表现为负值,而湿地在 2005 年前为负值,之后均为正值,表明其面积呈现上升趋势。由于涪洲岛四面环海,水域多靠近岩石,较难进行开发,使得水域面积得到了较好的保护,面积从 2000 年的 17  $\text{hm}^2$  增加到 2020 年的 17.84  $\text{hm}^2$ 。草地动态在研究期呈相对稳定或表现为正值,但因其基数小,变化规律不具备统计学意义。

3.1.2 土地利用转移特征 涪洲岛土地类型转换如表 4 所示。2000—2005 年,涪洲岛耕地和林地分别流转了 59.85 和 7.53  $\text{hm}^2$  为建设用地,建设用地土地利用动态度达 2.49%,为 20 a 间最高值;耕地、林地之间相互转换,其中耕地有 10.22  $\text{hm}^2$  转为林地,林地有 9.57  $\text{hm}^2$  转为耕地,各土地利用类型间转化幅度较大。2005—2010 年,耕地、林地转为建设用地的面积相比上一阶段分别减少 38.29 和 5.39  $\text{hm}^2$ ,表明该阶段开发并不剧烈,耕地和林地受到一定保护,此

外,0.09 hm<sup>2</sup> 湿地转换为建设用地。2010—2015 年耕地、林地转换为建设用地的转换幅度也较大,分别为 36.62 和 4.18 hm<sup>2</sup>,建设用地的转入除了来自耕地、林地,有一部分来自水域,同时林地有 8.74 hm<sup>2</sup> 转入耕地,0.19 hm<sup>2</sup> 转入水域。2015—2020 年林地

主要转为耕地,其次是转为建设用地,分别流转了 25.00 和 6.41 hm<sup>2</sup>,而该阶段耕地向建设用地转入了 37.08 hm<sup>2</sup>。20 a 间,建设用地面积的扩张主要来自于耕地、林地面积的减少,耕地转化为建设用地的面积最大,耕地和林地之间存在相互转化。

表 3 2000—2020 年涠洲岛土地利用变化动态度

Table 3 Land use change dynamic attitude of Meizhou Island from 2000 to 2020

年份	土地利用类型	草地	耕地	建设用地	林地	湿地	水域
2000	面积/hm <sup>2</sup>	1.02	639.58	542.93	181.13	11.90	17.00
2005	面积/hm <sup>2</sup>	1.12	578.71	610.49	174.25	11.80	17.19
2010	面积/hm <sup>2</sup>	1.12	556.31	634.28	172.21	12.08	17.56
2015	面积/hm <sup>2</sup>	1.39	526.01	675.17	160.96	12.17	17.84
2020	面积/hm <sup>2</sup>	1.39	511.98	717.74	131.32	13.29	17.84
2000—2005	变化幅度/%	-9.80	9.52	-12.44	3.80	0.84	-1.12
	动态度/%	-1.96	1.90	-2.49	0.76	0.17	-0.22
2005—2010	变化幅度/%	0	3.87	-3.90	1.17	-2.37	-2.15
	动态度/%	0	0.77	-0.78	0.23	-0.47	-0.43
2010—2015	变化幅度/%	-24.11	5.45	-6.45	6.53	-0.75	-1.59
	动态度/%	-4.82	1.09	-1.29	1.31	-0.15	-0.32
2015—2020	变化幅度/%	0	2.67	-6.31	18.41	-9.20	0
	动态度/%	0	0.53	-1.26	3.68	-1.84	0

表 4 2000—2020 年涠洲岛土地利用类型转移矩阵

Table 4 Land use type transfer matrix in Meizhou Island from 2000 to 2020

hm<sup>2</sup>

项目	土地利用类型	草地	耕地	建设用地	林地	湿地	水域
2000—2005 年 面积	草地	1.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	耕地	0.09	569.04	59.85	10.22	0.09	0.28
	建设用地	0.00	0.00	542.93	0.00	0.00	0.00
	林地	0.00	9.57	7.53	164.03	0.00	0.00
	湿地	0.00	0.09	0.09	0.00	11.71	0.00
	水域	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00	16.91
2005—2010 年 面积	草地	1.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	耕地	0.00	549.62	21.56	6.78	0.28	0.46
	建设用地	0.00	0.00	610.49	0.00	0.00	0.00
	林地	0.00	6.69	2.14	165.42	0.00	0.00
	湿地	0.00	0.00	0.09	0.00	11.71	0.00
	水域	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	17.10
2010—2015 年 面积	草地	1.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	耕地	0.28	517.09	36.62	1.86	0.09	0.37
	建设用地	0.00	0.00	634.28	0.00	0.00	0.00
	林地	0.00	8.74	4.18	159.10	0.00	0.19
	湿地	0.00	0.00	0.00	0.00	12.08	0.00
	水域	0.00	0.19	0.09	0.00	0.00	17.29
2015—2020 年 面积	草地	1.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	耕地	0.00	486.70	37.08	1.86	0.09	0.28
	建设用地	0.00	0.00	674.15	0.00	1.02	0.00
	林地	0.00	25.00	6.41	129.46	0.00	0.00
	湿地	0.00	0.00	0.00	0.00	12.17	0.00
	水域	0.00	0.28	0.09	0.00	0.00	17.47

3.1.3 土地利用变化原因分析 涓洲岛全岛陆地面积仅为 15.8 km<sup>2</sup> (包含沙滩面积), 2020 年建设用地已占 542.93 hm<sup>2</sup> (妈祖祖庙占地和其他零星旅游用地除外), 剩余用地为 1 100 hm<sup>2</sup>。随着海峡两岸妈祖文化交流日益频繁和 5 A 级景区的推进, 根据旅游发展规划和游客预测, 未来涓洲岛高峰期日均上岛旅游人口约 13 000 人, 如果按照我国风景名胜区的相关建设规范, 为旅游度假配套所需的建设用地大约为 850~870 hm<sup>2</sup> 左右, 加上海洋经济的发展、海岛城镇化进程的推进等的建设用地需求, 岛上可用于建设开发的土地面积就极为有限, 只能通过其他用地类型转化实现建设用地面积的增加。在过去 20 a 间, 涓洲岛生态系统类型变化主要体现在建设用地面积持续

增加, 特别在 2000—2005 年、2015—2020 年变化显著, 面积分别增加了 67.56 和 42.57 hm<sup>2</sup>。同时建设用地在空间上具有明显的聚集性, 主要集中在海岛北部的妈祖祖庙周围及海岛的中轴线区域, 岛上以涓洲镇、风景区、旅游度假区三位一体的方式, 加重了岛上保护工作的难度。岛上主要的林地集中在生态环境状况较好的西部和东南部, 地域上也相对独立, 与岛中西部人口聚集地及主要建设区在空间上有一定分隔, 因此该区域林地面积相对稳定。但由于耕地保护和开发建设的需要, 2015—2020 年, 东南部的林地分别转化了 25.00 和 6.41 hm<sup>2</sup> 为耕地和建设用地, 但水域和湿地面积的增加一定程度上缓解了建设用地开发带来的生态环境问题。

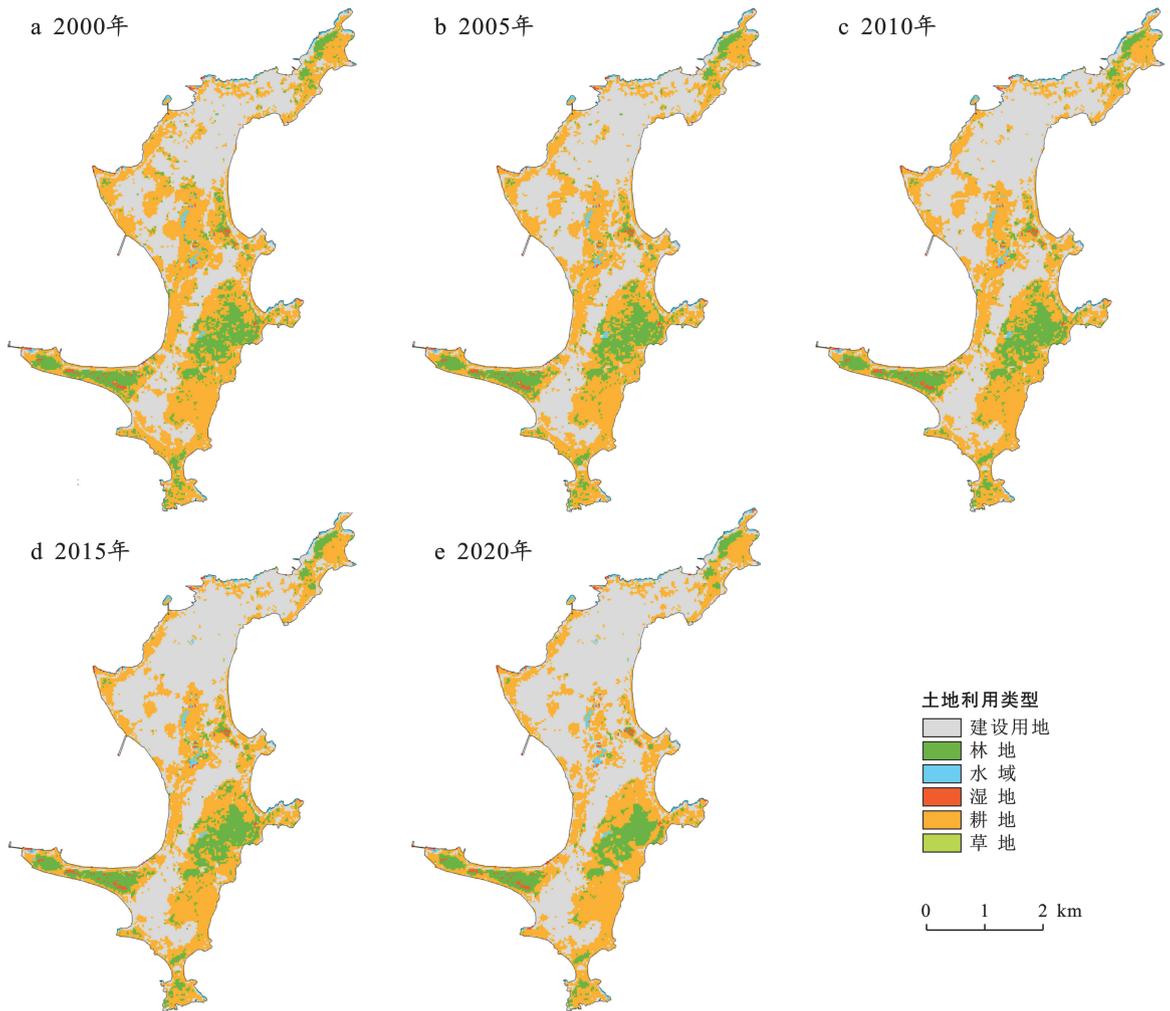


图 1 2000—2020 年涓洲岛各土地利用类型

Fig.1 Land use types in Meizhou Island from 2000 to 2020

### 3.2 生态系统服务价值时空变化分析

#### 3.2.1 涓洲岛整体生态系统服务价值时间序列分析

根据土地利用数据和 ESV 系数, 对涓洲岛 2000—2020 年土地利用 ESV 进行估算, 结果详见表 5。由表 5 可知, 涓洲岛 2000, 2005, 2010, 2015 和 2020 年

的 ESV 分别为 6 677.67, 6 351.71, 6 264.22, 5 976.93 和 5 424.98 万元, 20 a 间总量减少了 1 252.69 hm<sup>2</sup>, 变化率为 18.76%, 呈持续稳定下降趋势。从 ESV 组成结构看, 林地和耕地的 ESV 值比例最高, 为主要贡献因子, 但 ESV 值为下降趋势。湿地和水域提供的

ESV 呈持续增高趋势,2000—2020 年分别增长了 11.68% 和 4.94%。研究结果与海南岛、金塘岛的发展趋势类似,海南岛在 1998—2008 年,生态系统服务价值减少了 29.3%<sup>[24]</sup>;金塘岛在 1986—2014 年,湿

地生态系统和森林生态系统服务价值减少,城镇生态系统面积的大幅增加,导致生态系统服务总价值在近 30 年间减少了 30.23%<sup>[25]</sup>。表明在海岛的发展过程中,人类活动会影响海岛生态系统及其服务价值。

表 5 2000—2020 年湄洲岛各土地利用类型的生态系统服务价值

Table 5 Ecosystem service value (EVI) of different land use types in Meizhou Island from 2000 to 2020

土地利用类型	2000 年 EVI		2005 年 EVI		2010 年 EVI		2015 年 EVI		2020 年 EVI	
	数值/万元	比例/%								
耕地	2 226.94	33.35	2 015.00	31.72	1 937.00	30.92	1 831.50	30.64	1 782.69	32.86
林地	3 231.60	48.39	3 108.85	48.95	3 072.45	49.05	2 871.74	48.05	2 342.92	43.19
草地	5.14	0.08	5.64	0.09	5.64	0.09	7.00	0.12	7.00	0.13
湿地	272.84	4.09	270.54	4.26	276.96	4.42	279.03	4.67	304.72	5.62
水域	941.15	14.09	951.67	14.98	972.15	15.52	987.66	16.52	987.66	18.21
总计	6 677.67	100.00	6 351.71	100.00	6 264.22	100.00	5 976.93	100.00	5 424.98	100.00

3.2.2 湄洲岛各单项生态系统服务价值时间序列分析 根据公式(5)计算得出各单项生态系统服务价值(表 6)。由表 6 可知,研究期内湄洲岛生态系统服务功能的价值依次为:调节服务>支持服务>供给服务>文化服务,调节服务比例最高,达到了 22 326.23 万元,占整个湄洲岛总 ESV 的 72.73%,林地的调节服务总 ESV 达到 19 469.69 万元。支持服务、文化服务、调节服务和供给服务在整个研究期间内均呈下降趋势,其中调节服务价值急剧下降,20 a 年间下降了 864.49 万元,是导致湄洲岛生态系统服务总价值减少的重要因素。

由于近 20 a 耕地面积的减少,食物生产和原料生产价值降低,导致供给服务价值比例仅为 4.56%。湄

洲岛地域狭小,岛内无江河溪流,只有在雨季产生的流程极短的雨洪冲沟,在湄洲岛的中部有汇集地面径流的湖石凼和前范水库,地表水全部来自大气降水,岛内生活用水主要来自岛外供水,岛内水域和湿地面积的增大一定程度上减缓了水资源短缺问题。单项 ESV 变化最大的是气候调节服务,减少了 302.75 万元,变化率为 -24.75%,主要受耕地、林地面积减少和建设用负价值的影响。同时耕地、林地面积的减少,导致土壤保持、维持养分循环和生物多样性构成三者服务价值的功能降低,使得支持服务 20 a 间减少了 292.41 万元。文化服务由美学景观构成,主要受林地、水域的影响,呈现持续下降趋势,与土地利用类型的变化趋势基本一致。

表 6 2000—2020 年湄洲岛单项生态系统服务价值

Table 6 Single ecosystem service value of Meizhou Island from 2000 to 2020

生态系统服务功能		ESV/万元					变化量/万元	变化率/%
一级类型	二级类型	2000	2005	2010	2015	2020	2000—2020	
供给服务	食物生产	672.46	611.68	589.60	557.70	537.63	-134.83	-20.05
	原料生产	236.82	220.11	214.31	202.00	183.81	-53.01	-22.38
	水资源供给	-611.26	-542.50	-515.61	-482.63	-473.19	138.07	-22.59
	小计	298.02	289.29	288.30	277.07	248.25	-49.77	-16.70
调节服务	气体调节	826.96	767.50	746.81	704.16	643.54	-183.42	-22.18
	气候调节	1 223.21	1 163.34	1 144.58	1 075.57	920.46	-302.75	-24.75
	净化环境	410.05	392.79	388.40	368.78	324.21	-85.84	-20.93
	水文调节	2 382.02	2 284.90	2 267.77	2 201.62	2 089.55	-292.47	-12.28
小计	4 842.25	4 608.53	4 547.56	4 350.13	3 977.76	-864.49	-17.85	
支持服务	土壤保持	688.88	646.74	632.67	595.80	528.99	-159.89	-23.21
	维持养分循环	117.64	108.24	104.89	98.99	92.46	-25.18	-21.41
	生物多样性	499.28	477.07	471.24	446.21	391.95	-107.33	-21.50
	小计	1 305.80	1 232.04	1 208.80	1 141.00	1 013.40	-292.41	-22.39
文化服务	美学景观	231.59	221.84	219.56	208.72	185.57	-46.02	-19.87
总计		6 677.67	6 351.71	6 264.22	5 976.93	5 424.98	-1 252.69	-18.76

3.2.3 湄洲岛生态系统服务价值空间尺度变化 利用 ArcGIS 10.8 软件中的面积制表功能将 ESV 量化,并分为低值区、较低值区、中值区、较高值区、高值区,得到 20 a 间 5 期生态服务价值空间分布情况(图 2)。结合湄洲岛土地利用分布图(图 1)来看,湄洲岛生态系统服务价值密度存在一定的空间分异性(表 7),高值区主要位于环岛周围以妈祖祖庙及其北部,南部北

隍、烟墩山、日文坊、鹅尾山、狗头尾等一带防护林及植被覆盖较好的林地,ESV 为 29 255.13 万元,占总服务价值的 47.65%。而位于除林地外的环岛周围与岛屿中部的耕地 ESV 为 19 586.26 万元,占总服务价值 31.90%,为和较高值区。而低值区主要分布在植物覆盖区内侧的建设用地,且分布面积呈增长趋势,主要是由于海岛建设用地面积快速扩张导致。

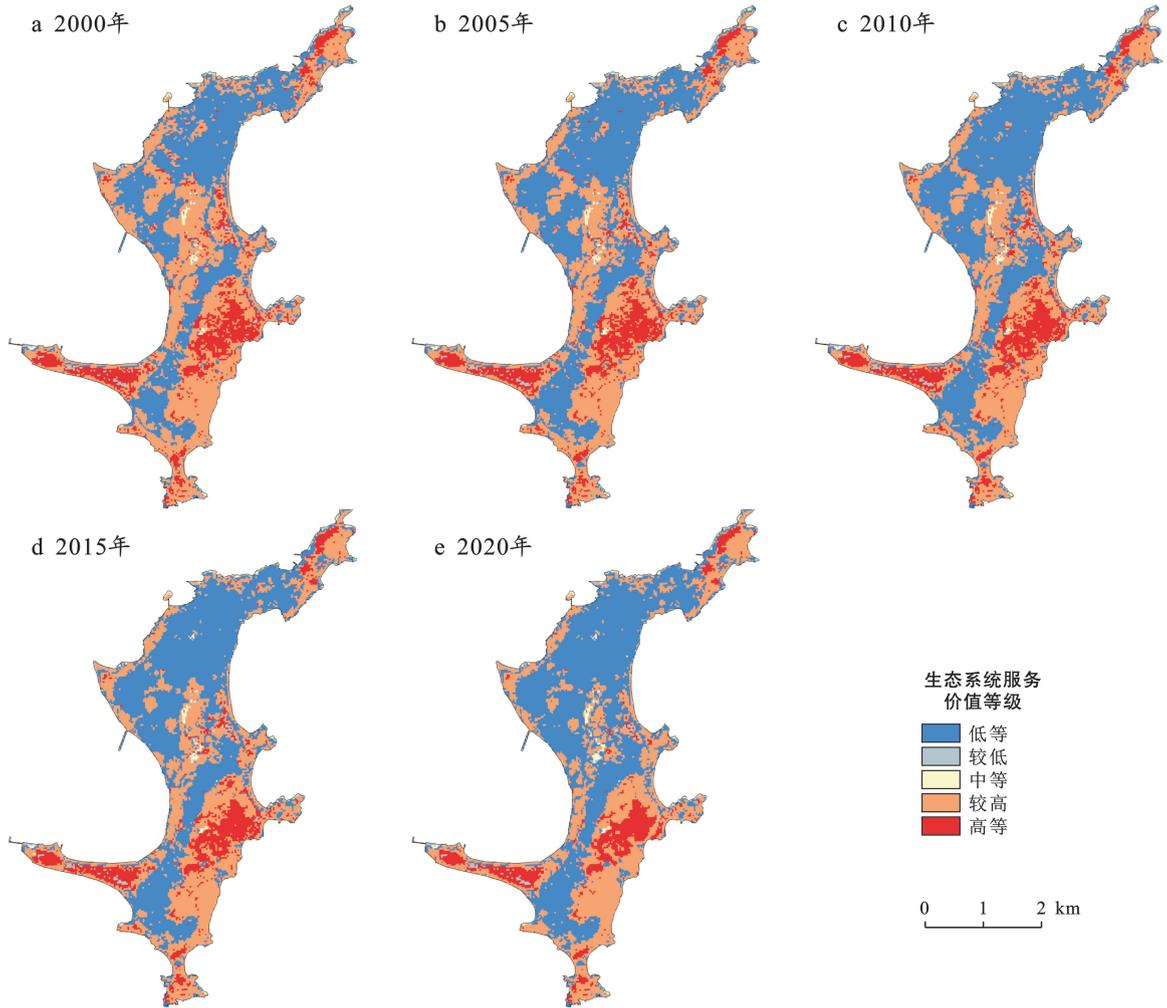


图 2 2000—2020 年湄洲岛生态系统服务价值等级空间变化

Fig.2 Spatial variation of ecosystem service value grades in Meizhou Island from 2000 to 2020

3.2.4 敏感性指数分析 由表 8 可知,不同年份湄洲岛各地类的敏感性指数(CS)均小于 1,CS 值大小依次为:林地>耕地>水域>湿地>草地,其中林地和耕地 CS 值最大,分别为 0.47,0.32,即当林地和耕地的价值系数(VC)增加或者减少 1%时,ESV 相应增加或者减少 47%和 32%,林地和耕地在湄洲岛生态系统中起主导作用;草地的 CS 为 0,表明其对生态系统的影响是极其微弱的。结合 ESV 组成结构看,林地和耕地的 ESV 值比例最高,为主要贡献因子,验证了刘洋<sup>[26]</sup>提出的 ESV 敏感性变化受土地类型利用面积变化影响,CS 值与土地利用面积变化呈正相关,

CS 值越大,相应的土地利用类型价值系数(VC)越高,其 ESV 对土地利用变化响应越显著。研究区域各地类 VC 调整前后对 ESV 影响较小,ESV 对 VC 缺乏弹性,准确度和可信度较高。

### 3.3 土地利用类型对 ESV 变化的生态贡献率分析

2000—2020 年,土地利用类型对湄洲岛 ESV 变化呈动态影响。由表 9 可知,总的 20 a 间,生态贡献率高低表现为:林地>耕地>水域>湿地>草地,其中耕地在 2000—2005 年、2005—2010 年生态贡献率最高,分别为 65.02%和 89.15%,其次是林地;而在 2010—2015 年、2015—2020 年林地的生态贡献率最高,分别

为 69.86% 和 95.81%，其次为耕地。耕地和林地 在调节服务和支撑服务上表现出较高价值，使得其面积变化会极大影响到 ESV 的贡献率，结合表 3 可知，土地利用类型变化幅度大，引起 ESV 变化明显，故其生态贡献率越高。湿地和水域均在 2005—2010 年生态贡献率达到峰值，分别为 7.34% 和 23.41%，是由于该年

份区间湿地和水域的面积变化量最大，因湿地和水域的水文调节价值比其他地类高，二者面积变化带动湄洲岛 ESV 变化。草地面积动态在研究期呈相对稳定或表现为正值，但因其基数小，变化规律不具备统计学意义。结果表明，湄洲岛 ESV 主要受各土地利用类型的面积变化和 ESV 系数共同影响。

表 7 湄洲岛各土地利用类型单项生态系统服务功能价值及变化

Table 7 Value and change of single ecological service function of different land use type in Meizhou island

万元

一级类型	二级类型	生态系统服务功能价值				
		耕地	林地	草地	湿地	水域
供给服务	食物生产	5 479.20	368.58	1.17	27.53	61.65
	原料生产	1 214.84	852.79	1.76	26.99	17.73
	水资源供给	-6 470.90	440.85	0.96	139.81	638.90
	小计	223.13	1 662.22	3.89	194.34	718.28
调节服务	气体调节	4 413.11	2 796.87	6.07	102.57	59.34
	气候调节	2 305.72	8 361.71	16.08	194.34	176.49
	净化环境	669.40	2 471.65	5.32	194.34	427.73
	水文调节	7 413.03	5 839.46	11.77	1 307.99	7 879.48
	小计	14 801.26	19 469.69	39.24	1 799.23	8 543.04
支持服务	土壤保持	2 578.44	3 403.94	7.40	124.70	71.67
	维持养分循环	768.57	260.17	0.59	9.72	5.39
	生物多样性	842.95	3 100.41	6.76	424.84	196.52
	小计	4 189.97	6 764.53	14.75	559.26	273.59
文化服务	美学景观	371.89	1 358.69	2.98	255.34	145.66
总计		19 586.26	29 255.13	60.86	2 808.16	9 680.58

表 8 2000—2020 年湄洲岛各土地利用类型的敏感性指数

Table 8 Sensitivity index of different land use types in Meizhou Island from 2000 to 2020

年份	敏感性指数				
	耕地	林地	草地	湿地	水域
2000	0.35	0.48	0.00	0.04	0.14
2005	0.32	0.49	0.00	0.04	0.15
2010	0.31	0.49	0.00	0.05	0.16
2015	0.31	0.48	0.00	0.05	0.17
2020	0.33	0.43	0.00	0.06	0.18

表 9 2000—2020 年湄洲岛各土地利用类型的生态贡献率

Table 9 Ecological contribution rate of land use types in Meizhou Island from 2000 to 2020 %

时间区间	生态贡献率				
	耕地	林地	草地	湿地	水域
2000—2005 年	65.02	37.66	0.15	0.70	3.23
2005—2010 年	89.15	41.60	0.00	7.34	23.41
2010—2015 年	36.72	69.86	0.47	0.72	5.40
2015—2020 年	8.84	95.81	0.00	4.65	0.00
2000—2020 年	35.46	70.94	0.15	2.54	3.71

## 4 讨论与结论

### 4.1 讨论

湄洲岛作为世界妈祖朝圣中心、我国著名的海岛

型旅游度假胜地、大陆对台交流重要基地和首个海岛型生态文明建设示范基地，为应对湄洲岛未来海洋经济和旅游服务产业大发展的需求政府加大了岛上的开发建设，土地利用必然会产生变化。岛上目前居民有 3.95 万人之多，岛民的传统产业是海洋渔业，随着海洋经济的深度发展和规模的扩大，也必将带来海洋环境污染和资源衰退等问题。同时作为国家级旅游度假区的湄洲岛还是福建省级风景名胜，这两种不同性质的定位对湄洲岛建设和资源环境保护有不同的要求，区域的重叠不可避免，湄洲岛建设和保护的矛盾将越来越尖锐，如果不能得到有效的解决将制约旅游度假区的建设和发展，从而延缓湄洲岛经济的发展，而经济发展的滞后又会对自然环境资源保护工作产生负面影响。本研究采用基于单位面积价值当量因子法，结合 ArcGIS 软件对湄洲岛的土地利用演变格局进行分析，该方法对数据需求较少，使湄洲岛 ESV 和土地利用之间可以维持一种平衡关系，研究结果可为湄洲岛生态系统服务价值监测体系的构建，湄洲岛土地利用规划和生态可持续发展提供科学依据与决策导向。

### 4.2 结论

(1) 2000—2020 年，湄洲岛土地利用类型以建设

用地和耕地为主,草地面积比例最少;建设用地土地利用动态最高,各地类土地利用变化表现为建设用地和湿地面积的增长,耕地和林地面积的减少及草地和水域面积相对稳定的变化趋势;土地利用转移主要以建设用地对耕地和林地的侵占为主。

(2) 研究期内,涪洲岛生态系统服务功能层面表现为:调节服务>支持服务>供给服务>文化服务,调节服务对生态系统服务价值量贡献最高,为 72.73%;ESV 时间变化上,涪洲岛生态系统服务价值呈持续下降趋势,其中林地面积减少是涪洲岛 ESV 减少的主要贡献因子,湿地和水域提供的 ESV 呈持续增长趋势;空间变化上,生态系统服务价值高值区与林地分布区域高度重叠,低值区域主要分布在建设用地高度密集区域。

(3) 敏感性分析表明,涪洲岛各土地利用类型的敏感性指数 CS 均小于 1,ESV 对价值系数(VC)缺乏弹性。林地和耕地因生态贡献率高成为 ESV 变化的主要敏感因子,土地利用类型的生态系统服务价值系数和土地面积变化是影响 ESV 的关键因素。在以经济为驱动发展的过程中,涪洲岛大量林地和耕地向建设用地集聚,造成生态系统提供的服务数量和质量下降,在今后的开发建设过程中应加强对耕地和林地等相关地类的保护,对生态系统服务价值的提升具有重要意义。

## 参考文献 (References)

- [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(6630):253-260.
- [2] Hoque M Z, Ahmed M, Islam I, et al. Monitoring changes in land use land cover and ecosystem service values of dynamic saltwater and freshwater systems in Coastal Bangladesh by geospatial techniques [J]. *Water*, 2022,14,2293.
- [3] 屈雯,陈英,谢保鹏,等.榆中县土地利用转型与生态系统服务价值的时空演变研究[J].*生态科学*,2022,41(5):197-207.  
Qu Wen, Chen Ying, Xie Baopeng, et al. Spatio-temporal dynamics of land use transition and ecosystem service value in Yuzhong County [J]. *Ecological Science*, 2022, 41(5): 197-207.
- [4] 李淑娟,高琳.胶州湾北岸滨海地区 4 个时期生态系统服务价值和生态功能区划分研究[J].*湿地科学*,2020,18(2):129-140.  
Li Shujuan, Gao Lin. Ecosystem service values for 4 periods and ecological function zoning of coastal wetlands on north shore of Jiaozhou Bay [J]. *Wetland Science*, 2020,18(2): 129-140.
- [5] 马超,王宏伟,马晓芳,等.张掖市高台县黑河中游流域生态系统服务价值估算[J].*湿地科学*,2021,19(6):762-766.  
Ma Chao, Wang Hongwei, Ma Xiaofang, et al. Evaluation of ecosystem service value in middle reaches of Hei River in Gaotai county, Zhangye City [J]. *Wetland Science*, 2021,19(6): 762-766.
- [6] Shao Jing'an, Dang Yongfeng, Wang Wei, et al. Simulation of future land use scenarios in the Three Gorges Reservoir region under the effects of multiple factors [J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2018, 28(12): 1907-1932.
- [7] 王权,李阳兵,黄娟,等.喀斯特槽谷区土地利用转型过程对生态系统服务价值的影响[J].*水土保持研究*,2019,26(3):192-198.  
Wang Quan, Li Yangbing, Huang Juan, et al. Effect of land use transformation process on ecosystem service value in karst trough valley area [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2019,26(3):192-198.
- [8] Liu Zhaoxu, Liu Liming. Characteristics and driving factors of rural livelihood transition in the east coastal region of China: A case study of suburban Shanghai [J]. *Journal of Rural Studies*, 2016,43:145-158.
- [9] 孙思琦,郭添,薛达元.重庆市巫山县土地利用格局及其生态系统服务价值的时空变化[J].*生态科学*,2019,38(1):176-185.  
Sun Siqi, Guo Luo, Xue Dayuan. Land use pattern and the spatial-temporal variability of ecosystem service value in Wushan County, Chongqing [J]. *Ecological Science*, 2019,38(1): 176-185.
- [10] Xi Henghui, Cui Wanglai, Cai Li, et al. Evaluation and prediction of ecosystem service value in the Zhoushan Islands based on LUCC [J]. *Sustainability*, 2021,13:2302.
- [11] 崔旺来,奚恒辉,蔡莉,等.基于 NDVI 的中国海岛县生态系统服务价值时空变化[J].*经济地理*,2021,41(9):184-192,224.  
Cui Wanglai, Xi Henghui, Cai Li, et al. Spatial and temporal change of ecosystem service value in China's island counties base on NDVI [J]. *Economic Geography*, 2021,41(9): 184-192,224.
- [12] 汪来娣.基于 InVEST 模型的中街山列岛生态系统服务价值研究[D].浙江 舟山:浙江海洋大学,2022.  
Wang Laidi. An research on ecosystem service value of Zhongjieshan Islands based on InVest model [D]. Zhoushan, Zhejiang: Zhejiang Ocean University, 2022.
- [13] Yang Qing, Liu Gengyuan, Hao Yan, et al. Donor-side evaluation of coastal and marine ecosystem services [J]. *Water Research*, 2019,166:115028.
- [14] Chi Yuan, Zhang Zhiwei, Xie Zuolun, et al. How human

- activities influence the island ecosystem through damaging the natural ecosystem and supporting the social ecosystem [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2020, 248:119203.
- [15] 吴怡璇, 吕芳. 土地利用及生态系统服务价值变化研究: 以长海县为例[J]. *资源开发与市场*, 2015, 31(8): 915-919.
- Wu Yixuan, Lü Fang. Study on change of land-use and ecosystem services value: A case study of Changhai County [J]. *Resource Development & Market*, 2015, 31(8): 915-919.
- [16] 黄金火, 傅文杰, 黄宝平, 等. 涠洲岛旅游度假区景观格局变化及其动因分析[J]. *莆田学院学报*, 2019, 26(2): 83-88.
- Huang Jinghuo, Fu Wenjie, Huang Baoping, et al. Study on the landscape pattern change of Meizhou Island tourist resort and its factor [J]. *Journal of Putian University*, 2019, 26(2): 83-88.
- [17] Liu Liangyun, Zhang Xiao, Gao Yuan, et al. Finer resolution mapping of global land cover: Recent developments, consistency analysis, and prospects [J]. *Journal of Remote Sensing*, 2021, 52: 89697.
- [18] 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]. *环境工程技术学报*, 2023, 13(2): 694-703.
- Yang Yingzeng, Zhou Laifeng, Xia Wei, et al. Ecosystem service value change analysis of Chishui River basin based on land use change [J]. *Journal of Environmental Engineering Technology*, 2023, 13(2): 694-703.
- [19] 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]. *Journal of Natural Resources*, 2015, 30(8): 1243-1254.
- [20] 卓昭君, 柯樱海, 洪剑明, 等. 2000 年以来张家口坝上高原生态系统服务价值及其变化[J]. *湿地科学*, 2022, 20(2): 162-175.
- Zhuo Zhaojun, Ke Yinghai, Hong Jianming, et al. Plateau, Zhangjiakou since plateau, Zhangjiakou since 2000 [J]. *Wetland Science*, 2022, 20(2): 162-175.
- [21] 申梦姝, 郑航, 刘悦忆, 等. 2020 年东江流域生态服务价值的空间转移网络研究[J]. *水利水电技术(中英文)*, 2022, 53(1): 124-134.
- Shen Mengshu, Zheng Hang, Liu Yueyi, et al. Study on spatial transferring network of eco-service value in Dongjiang River basin in 2020 [J]. *Water Resources and Hydropower Engineering*, 2022, 53(1): 124-134.
- [22] 朱家明, 高雅轩. 基于生态服务评估模型的土地开发环境成本定量研究[J]. *西南林业大学学报(社会科学)*, 2019, 3(2): 13-22.
- Zhu Jiaming, Gao Yaxuan. Quantitative study on environmental cost of land development based on eco-service assessment model [J]. *Journal of Southwest Forestry University, (Social Sciences)*, 2019, 3(2): 13-22.
- [23] Zhang Zhiming, Gao Junfeng, Gao Yongnian. The influences of land use changes on the value of ecosystem services in Chaohu Lake Basin, China [J]. *Environmental Earth Sciences*, 2015, 74(1): 385-395.
- [24] 隋磊, 赵智杰, 金羽, 等. 海南岛自然生态系统服务价值动态评估[J]. *资源科学*, 2012, 34(3): 572-580.
- Sui Lei, Zhao Zhijie, Jin Yu, et al. Dynamic evaluation of natural ecosystem service in Hainan Island [J]. *Resources Science*, 2012, 34(3): 572-580.
- [25] 赵江, 沈刚, 严力蛟, 等. 海岛生态系统服务价值评估及其时空变化: 以浙江舟山金塘岛为例[J]. *生态学报*, 2016, 36(23): 7768-7777.
- Zhao Jiang, Shen Gang, Yan Lijiao, et al. Assessment and spatiotemporal analysis of the ecosystem services value of island: A case study of Jintang Island [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36(23): 7768-7777.
- [26] 刘洋, 毕军, 吕建树. 生态系统服务权衡与协同关系及驱动力: 以江苏省太湖流域为例[J]. *生态学报*, 2019, 39(19): 7067-7078.
- Liu Yang, Bi Jun, Lü Jianshu. Trade-off and synergy relationships of ecosystem services and the driving forces: A case study of the Taihu Basin, Jiangsu Province [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2019, 39(19): 7067-7078.