海岛土地利用与生态系统服务价值的时空变化

——以舟山岛为例

莫微[1,2]，吴方宁[3]，于淼[1,2]，程杰[1,2]，吕兑安[1,2]

（1. 自然资源部第二海洋研究所 杭州 310012；2. 自然资源部海洋空间资源管理技术重点实验室 杭州 310012；
3. 水利部农村电气化研究所 杭州 310012）

摘要：文章基于舟山岛 2000 年、2010 年和 2020 年共 3 期土地利用数据，运用地学信息图谱方法构建了 2000—2010 年和 2010—2020 年两个时期的土地利用转移图谱，计算了海岛生态系统服务价值的变化，得到了生态系统服务价值变化图谱。结果表明：（1）2000—2020 年，舟山岛土地利用结构以林地为主，地类变化的主要趋势为耕地、水域和湿地减少，建设用地增加。（2）舟山土地利用转移图谱主要以耕地、湿地和水域向建设用地的转变以及耕地向林地的转变为主。（3）2000—2020 年，舟山岛生态系统服务价值由原来的 $1.812\,6\times10^{9}$ 元降低至 $1.167\,9\times10^{9}$ 元，水域、耕地和湿地转变为建设用地是生态系统服务价值降低的主要原因，围填海工程对海岛生态系统服务价值的负面影响较大。“耕地→林地”图谱单元是最主要的生态系统服务价值增值类型，表明舟山市的水土保持和退耕还林政策带来了正面生态效益。研究结果可以为维护海岛生态系统安全、促进海岛经济社会可持续发展提供参考依据。

关键词：土地利用变化；生态系统服务价值；舟山岛；海岛生态系统

中图分类号：X171.1；F301.24；P74 **文献标志码：**A **文章编号：**1005-9857（2026）04-0060-12

Spatio-Temporal Variations of Land Use and Ecosystem Service Value of the Island: A Case Study of Zhoushan Island

MO Wei[1,2]，WU Fangning[3]，YU Miao[1,2]，CHENG Jie[1,2]，LYU Duian[1,2]

（1. Second Institute of Oceanography，MNR，Hangzhou 310012，China；2. Key Laboratory of Ocean Space Resource Management Technology，MNR，Hangzhou 310012，China；3. National Research Institute for Rural Electrification，Hangzhou 310012，China）

Abstract：Based on the land use data of Zhoushan Island in 2000，2010，and 2020，this paper used the geo-information TUPU method（spatial transition mapping）to build transition TUPU of land use at two stages（2000–2010，2010–2020），calculated the changes of ecosystem service values（ESV），and obtained the transition TUPU

收稿日期：2025-11-17；**修订日期：**2026-01-04

基金项目：自然资源部第二海洋研究所中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目（JG2217，JG2110）.

作者简介：莫微，高级工程师，硕士，研究方向为海域海岛规划管理和生态评估

of ESV. The results show that:（1）From 2000 to 2020，the land use structure of Zhoushan Island was dominated by forest land，while the areas of cultivated land，water，and wetland decreased and the area of construction land increased.（2）The transfer map of land use in Zhoushan Island was dominated by the conversion of cultivated land，water，and wetland into construction land，and the transformation of cultivated land to forest land.（3）During 2000–2020，the ESV of Zhoushan Island decreased from $1.812\,6\times10^{9}$ yuan to $1.167\,9\times10^{9}$ yuan. The conversion of cultivated land，water，and wetland into construction land was the main reason for the decrease in ESV，which indicated that the reclamation projects had a greater negative impact on the island's ESV. The "cultivated land → forested land" TUPU units mainly contributed to the increase of ESV，indicating the positive ecological benefits of Zhoushan's soil and water conservation and reforestation policies. The research results can serve as a reference for maintaining the safety of island ecosystems and promoting the sustainable economic and social development of islands.

Keywords: Land use change; Ecosystem service value; Zhoushan Island; Island ecosystem

0　引言

土地利用 / 覆盖变化（Land Use and Land Cover Change，LUCC）研究是全球区域环境变化研究的热点问题，土地利用变化反映着人类与环境的相互作用关系[1]。近年来，国内外针对土地利用的时空动态变化开展了大量研究[2-5]。在传统的土地利用动态度、土地利用转移矩阵等方法基础上，土地利用图谱方法能够实现数据与时空过程之间的映射，可以将复杂属性通过图形化方式进行简洁表达，将多维空间信息展示在二维可视化图形上[6]。目前，已有多位学者利用土地利用图谱方法对不同区域的土地利用变化进行了研究[7-9]。

生态系统服务价值是人类从生态系统中获得的有形收益和无形收益的总和[10]，土地利用的变化导致了生态系统功能和结构的变化，从而引起生态系统服务价值的增加或者降低[11-14]。无论是退耕还林还草工程还是城镇化建设，人类活动往往是导致生态系统服务价值变化的最显著因素[15-18]。

相较于陆地生态系统，海岛生态系统更容易遭受干扰，且面对干扰时其生态结构和功能更容易受到损害[19]。多位学者针对海岛土地利用变化对生态系统服务价值的影响开展了大量研究[20-22]，包括在舟山群岛范围内也有许多相关研究[23-25]，这些研究大部分是分析土地利用动态并进行生态系统服务价值的估算，缺乏对生态系统服务价值变化空间格局的分析。本文在土地利用图谱的基础上，增加了生态系统服务价值的图谱分析，可以有效地表达生态系统服务价值对土地利用变化的空间响应过程，更加明确两者之间的耦合关系。

本文以浙江省第一大岛舟山岛为例，基于 Landsat（陆地卫星）监督分类得到的遥感解译数据，利用土地利用转移图谱方法和生态系统服务价值模型，对舟山岛 2000—2010 年和 2010—2020 年两个阶段土地利用变化与生态系统服务价值变化展开分析，构建两个时期的土地利用转移图谱，并生成生态系统服务价值变化图谱，旨在揭示舟山岛土地利用转变规律及其带来的生态效应，从而为海岛自然生态环境保护与可持续发展规划提供科学依据。

1　研究区概况

舟山岛是浙江省第一大岛，地处长江口以南，位于浙江省东北部东海海域，是舟山群岛的主岛。舟山岛中部和西部属于定海区，东部为普陀区。舟山深水岸线资源丰富，区位优势明显，是宁波—舟山港的重要节点。舟山岛土质肥沃，水系发达，是舟山市主要的水源涵养区和林业资源聚集区[26]。舟山岛早在旧石器时代便有人类活动[27]。1987 年 1 月，国家撤销舟山地区，设立舟山市，舟山市是首个以群岛建制的地级市。2009 年舟山跨海大桥的全线贯通和 2011 年舟山群岛新区设立后，舟山市城镇化水平快速提升，临港产业发展迅速。城镇化和工业化的进程导致土地需求增加，而海岛土地资源紧缺，随着城镇空间的开

发、交通基础设施的建设和产业用地需求增长，出现了大规模占用水体和滩涂填海造地及将耕地转为建设用地的现象。

2 数据来源和研究方法

2.1 数据来源和处理

本文数据源为从地理空间数据云网站（http://www.gscloud.cn/）下载的空间分辨率为 30 m 的 Landsat 遥感影像。选取覆盖舟山岛范围的 2000 年、2010 年的 Landsat TM（Thematic Mapper，专题制图仪）和 2020 年的 Landsat OLI（Operational Land Imager，陆地成像仪）遥感影像，云量均低于 10% 且研究区域上空无云。根据《土地利用现状分类》（GB/T 21010—2007）和研究区的土地利用特点以及生态系统服务计算需求，参考其他相关研究[28-29]，将土地利用类型分为耕地、林地、草地、水域、湿地和建设用地（包含未利用地）。在 ENVI 5.1 软件中对下载的数据进行预处理后，进行监督分类，生成舟山岛 3 期土地覆盖现状数据。利用 ArcGIS 10.2 软件在研究范围内生成多个随机点，将随机点在 Google Earth 高分辨率影像上进行标注，对提取结果进行精度评价，结果显示，3 期遥感影像分类结果的 Kappa 系数均在 87% 以上，能够满足研究要求。

2.2 研究方法

2.2.1 土地利用图谱分析

（1）土地利用编码。为了便于对栅格数据进行地图代数运算，在 ArcGIS 10.2 软件中对各地类进行编码，参考于元赫等[7]在沂河流域土地利用研究中采用的土地类型编码，将耕地、林地、草地、水域、湿地和建设用地分别赋值为 1、2、3、4、5、6，并将 3 期土地利用数据采用 30 m × 30 m 格网单位进行重采样。

（2）图谱构造。采用地图代数的方法合成舟山岛土地利用变化图谱。具体操作为利用 ArcGIS 10.2 软件中的栅格计算模块，对首末两期土地利用编码进行代数计算，计算公式为：

$$C = 10A + B \tag{1}$$

式中：C 为变化图谱单元类型，如编码 16，表示土地利用类型由草地转变为耕地；A 为初期的土地利用编码值；B 为末期的土地利用编码值。由此得到舟山岛 2000—2010 年和 2010—2020 年的土地利用变化图谱。

2.2.2 土地利用动态度

土地利用动态度包括单一土地利用动态度和综合土地利用动态度。单一土地利用动态度是指研究期内某一用地类型的变化率，计算公式为：

$$K = \frac{U_b - U_a}{U_a} \times \frac{1}{T} \times 100\% \tag{2}$$

式中：K 为研究期内某类用地的土地利用动态度；U_a、U_b分别为初期、末期某类用地类型的面积；T 为研究期时长，单位为年。

综合土地利用动态度是指研究期内整体土地利用类型的变化率，计算公式为：

$$\mathrm{LC} = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n} \Delta \mathrm{LU}_{i-j}}{2\sum_{i=1}^{n} \mathrm{LU}_i} \right] \times \frac{1}{T} \times 100\% \tag{3}$$

式中：LC 为研究期内的综合土地利用动态度；LU_i 为初期第 i 类土地利用类型的面积；$\Delta \mathrm{LU}_{i-j}$为研究期内第 i 种用地类型转为非 i 类用地类型面积的绝对值；n 为土地利用类型个数；T 为研究期时长，单位为年。

2.2.3 生态系统服务价值测算

谢高地等[30-32]在 Costanza 方法的基础上，进行了国内生态专家的问卷调查，得到了适用于中国情况的生态系统服务价值的单价体系。

本文采用谢高地等[24]的价值当量因子换算方法，并参考相关研究[23]对当量表进行调整。以舟山市 2020 年的主要粮食作物的单位面积产量和粮食价格为基础数据，根据《舟山市统计年鉴》，舟山市的粮食作物以晚稻为主。2020 年，舟山市粮食作物单位面积产量为 5 461 kg/hm^2，全国中晚籼稻最低收购价格为 2.54 元 /kg[23]，计算得到舟山市生态系统服务价值的一个当量因子为 1 981.56 元 /hm^2，从而得到了舟山岛各类土地生态系统服务价值系数（表 1）。

表 1　舟山岛生态系统服务价值当量系数

Table 1　Equivalent coefficients of ecosystem service values for Zhoushan Island

土地利用类型	生态系统类型	单位面积生态系统服务价值当量	单位面积生态系统服务价值 /（元 · hm^{-2} · a^{-1}）
耕地	农田	7.90	15 654.32
林地	森林	21.68	42 960.22
草地	草地	11.67	23 124.81
水域	河流 / 池塘	45.35	89 863.75
湿地	湿地	54.77	108 530.04
建设用地	城镇	−6.10	−12 087.52

注：建设用地影响生态系统服务功能，生态系统服务价值为负。

3　结果与分析

3.1　土地利用结构变化分析

2000—2020 年，舟山岛土地利用类型变化情况如表 2 所示。研究区最主要的用地类型为林地，3 期土地利用数据中林地面积均超过研究区总面积的 45%，其次为耕地和建设用地。

从研究区的土地利用动态变化来看，研究区的耕地、草地、水域、湿地滩涂和建设用地变化较为剧烈。2000—2020 年，研究区的耕地持续减少，且下降趋势较快，由 2000 年的 18 995.67 hm^2 减少到 2020 年的 7 656.93 hm^2，前期和后期下降速率接近，总体年均变化率为 −2.98%。林地呈现出缓慢增长的趋势，由 23 496.39 hm^2 增加到 25 768.62 hm^2，年均增长率为 0.48%，主要原因是退耕还林和水土保持政策措施的实施。水域和湿地滩涂的变化趋势类似，都持续减少，年均变化率分别为 −3.1% 和 −4.59%。2000—2020 年，建设用地明显增加，由 3 200.67 hm^2 增加至 16 289.46 hm^2，年均变化率为 20.45%；前期增长尤为明显，增加面积为 8 396.55 hm^2，年均增长率高达 26.23%，这是由于舟山岛快速城镇化导致大量的耕地、水域和滩涂湿地转变为建设用地。草地面积持续增长，总体年均变化率为 10.17%，但由于面积较小，对舟山岛土地利用整体结构影响不大。

2000—2010 年和 2010—2020 年两个阶段的整体土地利用变化速率分别为 1.36% 和 1.09%，变化速率较为接近；2000—2020 年，整个阶段的土地利用变化速率为 0.92%，说明人类活动干扰致使舟山岛的土地利用变化过程十分活跃。

3.2　土地利用转移图谱分析

3.2.1　2000—2010 年土地利用图谱分析

2000—2010 年，舟山岛共有 36 类土地利用转换图谱单元，其中，30 类图谱单元土地利用类型发生了变化（总面积为 13 937.04 hm^2）。统计图谱单元的面积，按变化率大小排序并计算累计变化率后，筛选出占比最高的 12 类图谱单元，其累计变化率达 97.25%，已能反映该时段舟山岛土地利用变化的

表 2　2000—2020 年舟山岛土地利用变化

Table 2　Land use change in Zhoushan Island from 2000 to 2020

土地利用类型	2000 年		2010 年		2020 年		土地利用动态度 /%		
	面积 /hm^2	比例 /%	面积 /hm^2	比例 /%	面积 /hm^2	比例 /%	2000—2010 年	2010—2020 年	2000—2020 年
耕地	18 995.67	37.01	12 637.35	24.62	7 656.93	14.92	−3.35	−3.94	−2.98
林地	23 496.39	45.78	24 160.5	47.07	25 768.62	50.20	0.28	0.67	0.48
草地	50.76	0.10	84.15	0.16	153.99	0.30	6.58	8.3	10.17
水域	3 356.82	6.54	2 227.05	4.34	1 273.59	2.48	−3.37	−4.28	−3.1
湿地滩涂	2 225.97	4.33	620.01	1.21	183.69	0.36	−7.21	−7.04	−4.59
建设用地	3 200.67	6.24	11 597.22	22.60	16 289.46	31.74	26.23	4.05	20.45
合计	51 326.28	100	51 326.28	100	51 326.28	100	1.36	1.09	0.92

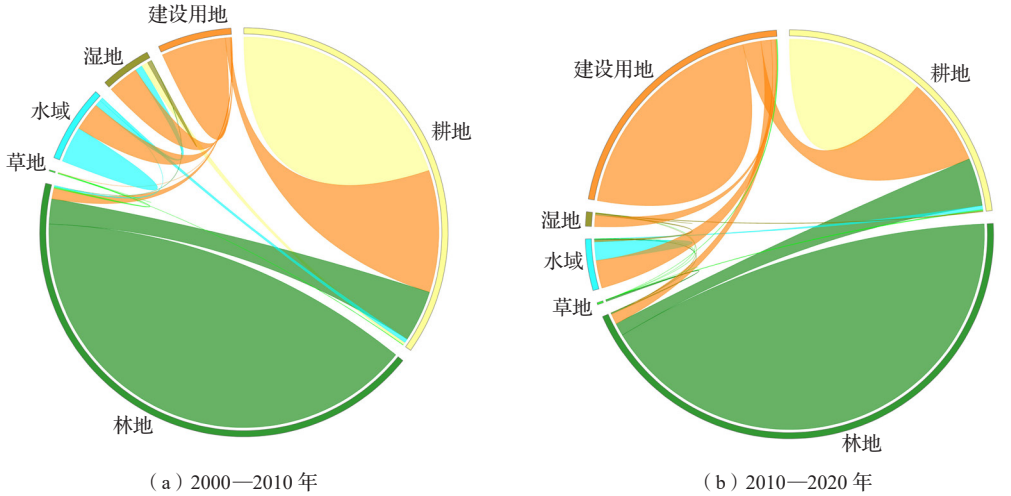
注：1. 土地利用动态度为研究时段内对应地类的年均变化率，正值表示土地利用面积增加，负值表示土地利用面积减少；2. 各地类的行数值为研究期的单一土地利用动态度，合计行数值为研究期内区域综合土地利用动态度。

主要特征（表 3、图 1）。其中，数量最多的是“耕地→建设用地”（编码 16）图谱类型，占变化图谱单元总面积的 39.56%，主要原因在于舟山岛城镇化和临港工业的快速发展。舟山市为海岛市，人地关系紧张，城镇化的推进加剧了这一矛盾。根据第六次全国人口普查（2010 年 11 月 1 日零时开展）数据，舟山市常住人口为 112.13 万人，同第五次全国人口普查（2000 年 11 月 1 日零时开展）的 100.15 万人相比，十年共增加 11.98 万人，增长 11.96%。2010 年，舟山市人口密度为 672 人 /km^2，远超全国平均水平，土地承载压力大。此外，由于舟山市具备得天独厚的深水港口资源和区位优势，临港产业发展迅速。自 2000 年以来，舟山市的第二产业发展显著加快，成为区域经济的主要增长源。2003 年，以临港工业为代表的第二产业首次在产业结构中超越第三产业，占据主导地位[33]。海运服

表 3　2000—2010 年主要土地利用转移图谱单位排序

Table 3　Ranking of major land-use transition TUPU units in Zhoushan Island from 2000 to 2010

编码	土地利用转移图谱单元	图谱单元数 / 个	转移面积 /hm^2	变化率 /%	累计变化比率 /%
16	耕地→建设用地	61 260	5 513.40	39.56	39.56
12	耕地→林地	25 790	2 321.10	16.65	56.21
56	湿地→建设用地	15 374	1 383.66	9.93	66.14
46	水域→建设用地	14 171	1 275.39	9.15	75.29
21	林地→耕地	12 564	1 130.76	8.11	83.40
26	林地→建设用地	5 376	483.84	3.47	86.87
54	湿地→水域	3 677	330.93	2.37	89.24
51	湿地→耕地	3 322	298.98	2.15	91.39
45	水域→湿地	3 162	284.58	2.04	93.43
61	建设用地→耕地	2 335	210.15	1.51	94.94
14	耕地→水域	1 891	170.19	1.22	96.16
41	水域→耕地	1 685	151.65	1.09	97.25



（a）2000—2010 年　　（b）2010—2020 年

图 1　舟山岛 2000—2020 年土地利用转移弦图

Fig.1　Chord diagram of land use transition of Zhoushan Island from 2000 to 2020

务和港口物流服务也呈现出强劲的发展势头。在城镇化和工业化用地需求增长的背景下，有限的土地后备资源急剧减少，人地矛盾日益突出，大量海岛岸线附近的平坦耕地被占用进行建设，导致耕地向建设用地转变。

从舟山岛土地利用转移图谱来看，2000—2010 年土地利用变化以耕地向建设用地的转移（编码 16）最为突出，占变化图谱单元总面积的 39.56%，是驱动土地利用格局演变的首要过程；其次为“耕地→林地”（编码 12），占变化图谱单元总面积的 16.65%。这是由于退耕还林和水土保持政策的实施。此外，“湿地→建设用地”（编码 56）和“水域→建设用地”（编码 46）分别占变化图谱单元总面积的 9.93%和 9.15%。这是由于随着城镇化的进程和工业化的发展，建设用地急剧扩张，出现了向海要地、围海造地的热潮，此阶段舟山岛实施了东港开发区围海工程、舟山港综合保税区本岛分区项目、定海工业园区等多个围填海工程。

总体来看，2000—2010 年舟山岛土地利用转换图谱最为显著的变化是耕地、湿地和水域转变为建设用地，说明该阶段建设用地的急剧扩张导致大量耕地被占用，且因舟山为海岛地区，平坦腹地缺乏，土地资源十分紧张，出现了围填海的现象。另一变化是耕地被改造为林地，这归因于此阶段退耕还林和水土保持工程的实施。干旱缺水历来是舟山地区主要的自然灾害。20 世纪 90 年代，受自然与气候条件双重制约，舟山地区干旱频发[34]，因此，水土保持问题成为当地政府的重要议题，并提出了“舟山发展水为先，搞好水土保持促经济”的目标[35]。退耕还林和水土保持政策为维护海岛生态系统安全发挥了重大作用。

3.2.2　2010—2020 年土地利用图谱分析

2010—2020 年，舟山岛有 30 类图谱单元土地利用类型发生了变化，总面积为 11 167.11 hm^2，比上一时期减少了 2 769.93 hm^2。按照图谱单元的面积大小进行排序，并计算其变化率，得到前 12 类图谱单元累计变化率为 96.26%（表 4）。与前一阶段相比，变化图谱类型相似，“耕地→建设用地”（编码 16）图谱单元和“耕地→林地”（编码 12）图谱单元数量最多，分别占变化图谱总面积的 35.83%和 19.34%。2009 年舟山跨海大桥的全线贯通和 2011 年舟山群岛新区的设立，带来了舟山市城市化进程以及海洋经济的快速发展[36]，地区城镇化水平继续快速提高，但由于上一阶段沿海的适宜耕地

表 4　2010—2020 年主要土地利用转移图谱单位排序

Table 4　Ranking of major land-use transition TUPU units in Zhoushan Island from 2010 to 2020

编码	土地利用转移图谱单元	图谱单元数 / 个	转移面积 /hm^2	变化率 /%	累计变化比率 /%
16	耕地→建设用地	44 460	4 001.40	35.83	35.83
12	耕地→林地	23 995	2 159.55	19.34	55.17
46	水域→建设用地	13 875	1 248.75	11.18	66.35
61	建设用地→耕地	9 107	819.63	7.34	73.69
21	林地→耕地	6 418	577.62	5.17	78.86
56	湿地→建设用地	5 672	510.48	4.57	83.43
26	林地→建设用地	5 239	471.51	4.22	87.65
62	建设用地→林地	5 001	450.09	4.03	91.68
64	建设用地→水域	2 131	191.79	1.72	93.40
14	耕地→水域	1 948	175.32	1.57	94.97
45	水域→湿地	831	74.79	0.67	95.64
32	草地→林地	768	69.12	0.62	96.26

已经全部转变为建设用地，建设用地只能向山体扩展，山体上的耕地转变为建设用地，导致舟山岛的耕地面积进一步萎缩。按图谱类型的面积由大到小排序，第一是“耕地→建设用地”（编码 16）；第二是“耕地→林地”（编码 12），这是由于退耕还林和水土保持政策的继续实施，导致舟山岛山体上的耕地持续转变为林地；第三是“水域→建设用地”（编码 46），相关围填海工程为钓梁围垦工程。

2010—2020 年，舟山岛土地利用转换图谱仍以耕地向其他地类的转换为主。耕地主要转变为建设用地和林地，转出面积分别为 4 001.40 hm^2 和 2 159.55 hm^2，累计转出比例为 55.17%；同时，与上一阶段相似，有大面积的其他地类转换为建设用地，包括水域、湿地和林地。因退耕还林和水土保持政策的继续实施，耕地向林地的转变一直持续。此外，此阶段也有部分建设用地和林地转变为耕地。

3.3 2000—2020 年舟山岛生态系统价值变化图谱分析

3.3.1 生态系统服务价值变化分析

根据舟山岛土地利用变化图和价值当量系数表计算得出各类土地利用类型在 2000—2020 年生态系统服务价值的变化。由表 5 可知，舟山岛在 2000—2020 年间生态系统服务价值下降，由 $1.812\,6\times10^9$ 元降低至 $1.167\,9\times10^9$ 元，降低了 6.447×10^8 元。林地的生态系统服务价值比重最大，2000 年为 55.69%，2020 年则上升为 94.79%。耕地、水域和湿地的生态系统服务价值下降，分别减少了 1.775×10^8 元、1.873×10^8 元和 2.217×10^8 元，湿地的生态系统服务价值减少最多。此外，建设用地的增加也导致生态系统服务价值降低了 1.582×10^8 元。

表 5 舟山岛 2000—2020 年生态系统服务价值变化

Table 5 Change of ecosystem service values in Zhoushan Island from 2000 to 2020

土地类型	2000 年			2020 年			2000—2020 年	
	面积 /hm^2	ESV/ 元	价值比重 /%	面积 /hm^2	ESV/ 元	价值比重 /%	ESV/ 元	价值比重变化 /%
耕地	18 995.67	2.974×10^8	16.41	7 656.93	1.199×10^8	10.26	-1.775×10^8	−6.15
林地	23 496.39	$1.009\,4\times10^9$	55.69	25 768.62	1.107×10^9	94.79	9.76×10^7	39.1
草地	50.76	1.2×10^6	0.07	153.99	3.6×10^6	0.31	2.4×10^6	0.24
水域	3 356.82	3.017×10^8	16.64	1 273.59	1.144×10^8	9.8	-1.873×10^8	−6.84
湿地	2 225.97	2.416×10^8	13.33	183.69	1.99×10^7	1.7	-2.217×10^8	−11.63
建设用地	3 200.67	-3.87×10^7	−2.14	16 289.46	-1.969×10^8	−16.86	-1.582×10^8	−14.72
总计	51 326.28	$1.812\,6\times10^9$	100.00	51 326.28	$1.167\,9\times10^9$	100.00	-6.447×10^8	—

3.3.2 生态系统服务价值图谱变化分析

2000—2020 年，舟山岛有 30 类图谱单元土地利用类型发生了变化，其中，15 类图谱单元的转变引起了生态系统服务价值降低，总减值为 7.806×10^8 元；前 6 类主要减值类型累计贡献了 7.623×10^8 元，占总减值的 97.65%（表 6，图 2）。另外 15 类图谱单元的土地利用类型转变提升了生态系统服务价值，提升的总价值为 1.359×10^8 元；按生态系统服务价值改变量排序后，前 6 类主要增值类型累计贡献了 1.311×10^8 元，占总增值的 96.47%，已能反映生态增值的主要特征。

在生态减值类型中，“水域→建设用地”（编码 46）图谱单元是最主要的生态系统服务价值减值类型，引起生态系统服务价值降低 2.48×10^8 元，在本类型中变化比例达到 30%以上，其次为“耕地→建设用地”（编码 16）图谱单元和“湿地→建设用地”（编码 56）图谱单元，分别引起了生态系统服务价值降低 2.332×10^8 元和 2.083×10^8 元。此外，导致生态系统服务价值降低的主要图谱单元类型还有“林地→耕地”（编码 21）和“湿地→耕地”（编码 51）。

表 6　2000—2020 年舟山岛土地利用变化对海岛生态系统服务价值的影响

Table 6　Effects of land use change on ecosystem service values in Zhoushan Island from 2000 to 2020

类型	编码	图谱变换类型	面积 /hm^2	ESV 变化 / 元	本类型变化比率 /%
生态减值类型	46	水域→建设用地	2 432.61	-2.48×10^8	31.77
	16	耕地→建设用地	8 406	-2.332×10^8	29.87
	56	湿地→建设用地	1 726.83	-2.083×10^8	26.68
	26	林地→建设用地	733.86	-4.04×10^7	5.18
	21	林地→耕地	628.11	-1.72×10^7	2.2
	51	湿地→耕地	163.71	-1.52×10^7	1.95
		总计	14 091.12	-7.623×10^8	97.65
生态增值类型	12	耕地→林地	3 553.65	9.7×10^7	71.38
	14	耕地→水域	260.46	1.93×10^7	14.2
	15	耕地→湿地	52.11	4.8×10^6	3.53
	62	建设用地→林地	66.87	3.7×10^6	2.72
	61	建设用地→耕地	130.86	3.6×10^6	2.65
	64	建设用地→水域	26.01	2.7×10^6	1.99
		总计	4 089.96	1.311×10^8	96.47

图 2　2000—2020 年舟山岛土地利用转换 ESV 变化热力图

Fig.2　Heatmap of ESV changes from land use conversion of Zhoushan Island from 2000 to 2020

改善生态服务功能的土地利用变化图谱单元中，“耕地→林地”（编码 12）图谱单元是最主要的生态系统服务价值增值类型，贡献了 9.7×10^7 元，占本类型的比例超过 70%。此外，耕地向水域和耕地向湿地转型分别使生态系统服务价值提高了 1.93×10^7 元和 4.8×10^6 元。

综上所述，林地增加对舟山岛海岛生态系统具有积极的贡献，但同时耕地、水域和湿地生态系统服务功能更强的土地利用类型向建设用地的转入导致海岛生态系统服务价值的下降。特别需要指出的是，区别于陆地生态系统，围海造地、向海要地等一系列城市化过程引起的水域和湿地的减少，是导致海岸带海岛生态系统服务价值降低的最重要因素[37-39]。例如，对上海市崇明岛东滩的研究发现，1990—2000 年，东滩生态系统服务价值下降了 62%，主要原因是湿地和潮滩的减少[40]。同样，在舟山岛，围填海的实施导致潮滩和水体的丧失，进而导致了生态系统服务价值降低。

4 结论与展望

4.1 结论

本文构建了 2000—2020 年舟山岛土地利用变化图谱，对土地利用变化引起的生态系统服务价值进行了测算，并得到了舟山岛生态系统服务价值变化图谱，主要结论如下。

（1）舟山岛土地利用结构以林地为主，2000—2020 年三期土地利用数据中林地面积均超过研究区总面积的 45%。地类变化的主要趋势是耕地、水域和湿地持续减少，建设用地大幅度增加，草地持续增加。由于草地面积较小，其变化对舟山岛土地利用整体结构的影响不大。

（2）舟山岛土地利用转移图谱主要以耕地、湿地和水域向建设用地的转变以及耕地向林地的转变为主，兼有少量林地和建设用地转变为耕地。2000—2010 年和 2010—2020 年两个阶段内，发生变化的主要图谱单元类型相似，以“耕地→建设用地”（编码 16）图谱类型数量最多，该图谱类型占变化面积的比例类似，分别为第一阶段 39.56%和第二阶段 35.83%。

（3）舟山岛生态系统服务价值由 $1.812\,6\times10^9$ 元降低至 $1.167\,9\times10^9$ 元，降低了 6.447×10^8 元。林地生态系统服务价值的比重最大，且持续上升。湿地、耕地和水域的减少是生态系统服务价值降低的主要原因。其中“水域→建设用地（编码 46）”“耕地→建设用地（编码 16）”和“湿地→建设用地（编码 56）”分别导致生态系统服务价值减少 2.48×10^8 元、2.332×10^8 元和 2.083×10^8 元，是最主要的生态减值类型。此外，“耕地→林地”（编码 12）图谱单元是最主要的生态系统服务价值增值类型，贡献了 9.7×10^7 元，验证了舟山市为了水土保持采取的退耕还林政策带来的正面生态效益。

本文通过整合土地利用变化图谱与生态系统服务价值评估方法，实现了舟山岛土地利用结构演变的时空可视化表达，并借助生态系统服务价值变化图谱，直观揭示了不同地类转移与其生态价值损益之间的定量对应关系。在此基础上，研究不仅评估出舟山岛生态系统服务价值下降的总体态势，还进一步识别出导致生态价值降低的核心地类转移类型（“水域→建设用地”“耕地→建设用地”“湿地→建设用地”），以及主要的生态增益过程（“耕地→林地”）。本文以舟山岛为案例，系统揭示了海岛地区“向陆增长”与“向海要地”并存的土地利用特征及其生态后果，凸显了海岛生态系统在城镇化压力下的特殊脆弱性。

4.2 不足与展望

本文仍存在一定局限性。首先，研究所覆盖的 2000—2020 年时间跨度相对有限，难以全面反映长期变化规律，未来需开展更长时序的遥感监测与分析；其次，本文主要集中于土地利用变化的现象描述及生态系统服务价值的定量测算，并对变化趋势进行了定性分析，但未进一步探讨其背后的自然与社会经济驱动因素；最后，在估算生态系统服务价值时，本文统一采用了 2020 年单位面积粮食生产的经济价值，并将其推广至所有年份，但未能充分考虑不同时期作物类型结构及其市场价格的变化，这可能对评估结果的时序可比性产生一定影响。

在未来研究中，可收集更长时序、更高分辨率的遥感数据，拓展研究时段并提升数据精度，并引入自然与社会经济等多维驱动因子，系统揭示土地利用变化的内在机制。此外，可以建立生态系统服务价值动态评估体系，结合作物逐年市场价格变化与结构调整，优化价值核算方法，从而为区域生态保护与土地可持续利用提供更科学的决策依据。

参考文献（References）：

[1] 李秀彬. 全球环境变化研究的核心领域：土地利用 / 土地覆被变化的国际研究动向[J]. 地理学报，1996，51(6)：553-558.
LI Xiubin. A review of the international researches on land use/land cover change[J]. Acta Geographica Sinica，1996，51(6)：553-558.

[2] 郑颖雯，王周锋，李思杰，等. 近 30 a 渭河流域土地利用 / 覆被时空动态演化特征及驱动力分析[J]. 环境科学，2025，46(11)：7106-7118.
ZHENG Yingwen，WANG Zhoufeng，LI Sijie，et al. Analysis of spatiotemporal dynamic evolution characteristics and driving forces of land use/cover change in the Weihe River Basin in the past 30 years[J]. Environmental Science，2025，46(11)：7106-7118.

[3] VEETTIL B K，XU N，ZENG P，et al. The spatiotemporal evolution of rural landscape patterns in Chinese metropolises under rapid urbanization[J]. PLoS ONE，2024，19(5)：e0301754.

[4] ZHOU Yinqiao，CAO Wei，ZHOU Jiandong. Land-use transfer and its ecological effects in rapidly urbanizing areas：a case study of Nanjing，China[J]. Sustainability，2024，16(23)：10615.

[5] 何伟倩，马东来，刘晓静. 海口市海岸带土地利用变化及其驱动力机制分析[J]. 地理科学，2025，45(3)：675-685.
HE Weiqian，MA Donglai，LIU Xiaojing. Land use change and its driving force mechanism in coastal zone of Haikou City[J]. Geographical Science，2025，45(3)：675-685.

[6] 陈述彭，岳天祥，励惠国. 地学信息图谱研究及其应用[J]. 地理研究，2000，19(4)：337-343.
CHEN Shupeng，YUE Tianxiang，LI Huiguo. Studies on geo-informatic tupu and its application[J]. Geographical Research，2000，19(4)：337-343.

[7] 于元赫，李子君，林锦阔，等. 沂河流域土地利用时空变化图谱特征分析[J]. 自然资源学报，2019，34(5)：975-988.
YU Yuanhe，LI Zijun，LIN Jinkuo，et al. TUPU characteristics of spatiotemporal variation for land use in the Yihe River Basin[J]. Journal of Natural Resources，2019，34(5)：975-988.

[8] 张国坤，邓伟，张洪岩，等. 新开河流域土地利用格局变化图谱分析[J]. 地理学报，2010，65(9)：1111-1120.
ZHANG Guokun，DENG Wei，ZHANG Hongyan，et al. The TUPU analysis of land use pattern in Xinkai River Basin[J]. Acta Geographica Sinica，2010，65(9)：1111-1120.

[9] 吕晓，史洋洋，黄贤金，等. 江苏省土地利用变化的图谱特征[J]. 应用生态学报，2016，27(4)：1077-1084.
LYU Xiao，SHI Yangyang，HUANG Xianjin，et al. Geo-spectrum characteristics of land use change in Jiangsu Province，China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology，2016，27(4)：1077-1084.

[10] 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.

[11] 彭文甫，周介铭，杨存建，等. 基于土地利用变化的四川省生态系统服务价值研究[J]. 长江流域资源与环境，2014，23(7)：1011-1020.
PENG Wenfu，ZHOU Jieming，YANG Cunjian，et al. Research on ecosystem service values based on land use change in Sichuan Province[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin，2014，23(7)：1011-1020.

[12] 牛璐，向燕芸，张齐飞，等. 2000 年以来黄河中游地区土地利用与生态系统服务价值时空分异特征[J]. 水土保持研究，2025，32(5)：435-443.
NIU Lu，XIANG Yanyun，ZHANG Qifei，et al. Spatiotemporal differentiation characteristics of land use and ecosystem service value in middle reaches of Yellow River since 2000[J]. Research of Soil and Water Conservation，2025，32(5)：435-443.

[13] BEKELE B，WEI W，TSEGAYE L，et al. Urban expansion-induced land use land cover changes and the subsequent changes

in ecosystem service and land surface temperature in the central highland of Ethiopia[J]. Environmental and Sustainability Indicators, 2025, 26: 100626.

[14] 王宗明，张树清，张柏. 土地利用变化对三江平原生态系统服务价值的影响[J]. 中国环境科学，2004，24(1)：125-128.
WANG Zongming, ZHANG Shuqing, ZHANG Bai. Effects of land use change on values of ecosystem services of Sanjiang Plain, China[J]. China Environmental Science, 2004, 24(1): 125-128.

[15] HU Jinlong, BIN Zhenhong, HUANG Tingting, et al. Dynamic changes and driving force of ecosystem services values under land use/land cover scenarios in Nanning, China[J]. Sustainability, 2024, 16(24): 10839.

[16] 崔博亮，王沛，陈克龙，等. 绿洲城镇化和退耕还草对生态系统服务价值的影响：以武威市为例[J]. 生态科学，2024，43(3)：26-35.
CUI Boliang, WANG Pei, CHEN Kelong, et al. The impact of urbanization of oasis and returning farmland to grassland on ecosystem service value: a case study of Wuwei City[J]. Ecological Science, 2024, 43(3): 26-35.

[17] 安健吉，员学锋，杨悦，等. 退耕还林还草工程对陕北地区生态系统服务的影响[J]. 环境科学，2025，46(4)：2410-2427.
AN Jianji, YUAN Xuefeng, YANG Yue, et al. Effect of the Grain for Green Program on ecosystem services in northern Shaanxi, China[J]. Environmental Science, 2025, 46(4): 2410-2427.

[18] LIU Shiyao, GAO Zhijian, TAO Wanghai, et al. Research on the coordinated relationship between human activities and ecosystem service value in the Arid Region, Northwestern China[J]. Frontiers in Ecology and Evolution, 2024, 11: 1307274.

[19] 池源，石洪华，郭振，等. 海岛生态脆弱性的内涵、特征及成因探析[J]. 海洋学报，2015，37(12)：93-105.
CHI Yuan, SHI Honghua, GUO Zhen, et al. Connotation, features and causes of island ecological vulnerability[J]. Haiyang Xuebao, 2015, 37(12): 93-105.

[20] 常乐欣，朱伯仲，郭毛，等. 海岛海岸带生态系统固碳服务功能：以洞头列岛土地利用变化影响评价为例[J]. 海洋学研究，2025，43(2)：47-57.
CHANG Lexin, ZHU Bozhong, GUO Mao, et al. The carbon sequestration service function of island coastal ecosystems: a case study on the impact assessment of land use changes in the Dongtou Islands[J]. Journal of Marine Sciences, 2025, 43(2): 47-57.

[21] LIN Tao, XUE Xiongzhi, SHI Longyu, et al. Urban spatial expansion and its impacts on island ecosystem services and landscape pattern: a case study of the island city of Xiamen, Southeast China[J]. Ocean & Coastal Management, 2013, 81: 90-96.

[22] YANG Mingjia, LUO Jiabao, ZHU Lirong, et al. Impact of land use change on the spatiotemporal evolution of ecosystem services in tropical islands: a case study of Hainan Island, China[J]. Land, 2024, 13(8): 1244.

[23] 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.

[24] XIE Zuolun, LI Xiuzhen, CHI Yuan, et al. Ecosystem service value decreases more rapidly under the dual pressures of land use change and ecological vulnerability: a case study in Zhujiajian Island[J]. Ocean & Coastal Management, 2021, 201: 105493.

[25] 童晨，童亿勤，李加林，等. 舟山群岛景观格局变化对生态系统 服务价值的影响[J]. 海洋学研究，2019，37(1)：40-51.
TONG Chen, TONG Yiqin, LI Jialin, et al. The effects of landscape pattern change on ecosystem service values in the Zhoushan Archipelago[J]. Journal of Marine Sciences, 2019, 37(1): 40-51.

[26] 时腾飞，马昌臣，张锦娟，等. 海岛区域水土保持区划及治理措施探讨：以舟山市为例[J]. 浙江水利科技，2019，47(5)：54-56.
SHI Tengfei, MA Changchen, ZHANG Jinjuan, et al. Discussion on soil and water conservation regionalization and control measures in island areas: taking Zhoushan City as an example[J]. Zhejiang Hydrotechnics, 2019, 47(5): 54-56.

[27] 王建富. 舟山群岛地名文化坐标[M]. 北京：海洋出版社，2013.
WANG Jianfu. Cultural Coordinates of Geographical Names in Zhoushan Islands[M]. Beijing: China Ocean Press, 2013.

[28] 邓楚雄，钟小龙，谢炳庚，等. 洞庭湖区土地生态系统的服务价值时空变化[J]. 地理研究，2019，38(4)：844-855.
DENG Chuxiong, ZHONG Xiaolong, XIE Binggeng, et al. Spatial and temporal changes of land ecosystem service value in Dongting Lake area in 1995-2015[J]. Geographical Research, 2019, 38(4): 844-855.

[29] 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.

LEI Jinrui，CHEN Zongzhu，WU Tingtian，et al. Spatial autocorrelation pattern analysis of land use and the value of ecosystem services in northeast Hainan island[J]. Acta Ecologica Sinica，2019，39(7)：2366-2377.

[30] 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.
XIE Gaodi，LU Chunxia，LENG Yunfa，et al. Ecological assets valuation of the Tibetan Plateau[J]. Journal of Natural Resources，2003，18(2)：189-196.

[31] 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]. Journal of Natural Resources，2008，23(5)：911-919.

[32] 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.

[33] 楼东，谷树忠，朱兵见，等. 海岛地区产业演替及资源基础分析：以舟山群岛为例[J]. 经济地理，2005，25(4)：483-487.
LOU Dong，GU Shuzhong，ZHU Bingjian，et al. Analysis on industrial succession and resource bases of islands area-Zhoushan Archipelago as the case study[J]. Economic Geography，2005，25(4)：483-487.

[34] 魏婧，郑雄伟，马海波. 海岛地区水资源短缺解决方案比较研究：以舟山群岛为例[J]. 中国农村水利水电，2016(6)：54-57.
WEI Jing，ZHENG Xiongwei，MA Haibo. Solutions to water shortages on the islands：taking Zhoushan Archipelago as an example[J]. China Rural Water and Hydropower，2016(6)：54-57.

[35] 周国平，胡海鹰. 舟山地区水土保持面临的困境与对策[J]. 浙江水利科技，2001，29(3)：26-28.
ZHOU Guoping，HU Haiying. Difficult position and countermeasure of water and soil conservation in Zhoushan[J]. Zhejiang Hydrotechnics，2001，29(3)：26-28.

[36] 李子蓉，吴聘奇，汤建中. “跨海大桥时代”的区位机遇与舟山的区域响应[J]. 上海经济研究，2007(9)：76-82.
LI Zirong，WU Pinqi，TANG Jianzhong. The opportunity in “era of bridge over sea” and the regional response of Zhoushan[J]. Shanghai Economic Review，2007(9)：76-82.

[37] 李学峰，岳奇，胡恒，等. 围填海活动的海洋环境与生物资源影响及对策建议[J]. 海洋开发与管理，2023，40(2)：105-114.
LI Xuefeng，YUE Qi，HU Heng，et al. Effects of sea reclamation on marine environment and biological resources and related countermeasures[J]. Ocean Development and Management，2023，40(2)：105-114.

[38] LIU Ruiqing，XU Hao，LI Jialin，et al. Ecosystem service valuation of bays in East China Sea and its response to sea reclamation activities[J]. Journal of Geographical Sciences，2020，30(7)：1095-1116.

[39] LI Ying，FENG Yu，GUO Xiaorong，et al. Changes in coastal city ecosystem service values based on land use：a case study of Yingkou，China[J]. Land Use Policy，2017，65：287-293.

[40] ZHAO Bin，KREUTER U，LI Bo，et al. An ecosystem service value assessment of land-use change on Chongming Island，China[J]. Land Use Policy，2004，21(2)：139-148.