

Research on Ecological Compensation Standard for Taizhou City Based on Ecosystem Service Value Assessment

Chao Li^{1,2} Zhaozhao Tan^{3,4} Yan Chen^{1,2} Mengxiao Lin² Luoyun Wang^{5*}

1. Taizhou Environmental Science Design and Research Institute Co., Ltd., Taizhou, Zhejiang, 318000, China
2. Taizhou Pollution Prevention and Control Technology Center Co., Ltd., Taizhou, Zhejiang, 318000, China
3. Hunan Provincial Key Laboratory of Geochemical Processes and Resource Environmental Effects, Changsha, Hunan, 410000, China
4. Hunan Institute of Geophysics and Geochemistry, Changsha, Hunan, 410000, China
5. Zhejiang Citrus Research Institute, Zhejiang Branch of National Center for Citrus Variety Improvement, Taizhou, Zhejiang, 318000, China

Abstract

Based on remote sensing images of land use and government statistics of Taizhou City in the third period of 2000, 2010, and 2020, We analysed the impact of land-use change on ecosystem service value in the study area during 2000-2020. Finally, we calculated the ecological compensation standard of Taizhou City. The results showed that: (1) From 2000 to 2020, the area of construction land increased sharply. The area of cultivated land, forest land and water area decreased significantly, which led to an overall decline in the ecosystem service value. (2) The spatial distribution of ecosystem service value in Taizhou City showed a trend of low in the east and high in the west. (3) In 2000, 2010 and 2020, the amount of ecological compensation in Taizhou City was 4.751 billion yuan, 2.216 billion yuan and 946 million yuan respectively, which continued to decrease. Xianju County has the highest priority and amount of ecological compensation in each phase.

Keywords

land use change; ecosystem service value; ecological compensation standard; Taizhou City

基于生态系统服务价值评估的台州市生态补偿标准研究

李超^{1,2} 谭昭昭^{3,4} 陈燕^{1,2} 林梦晓² 王罗云^{5*}

1. 台州市环境科学设计研究院有限公司, 中国·浙江台州 318000
2. 台州市污染防治技术中心有限公司, 中国·浙江台州 318000
3. 地球化学过程与资源环境效应湖南省重点实验室, 中国·湖南长沙 410000
4. 湖南省地球物理地球化学调查所, 中国·湖南长沙 410000
5. 浙江省柑橘研究所/国家柑橘品种改良中心浙江分中心, 中国·浙江台州 318000

摘要

基于台州市2000-2020年3期土地利用及政府统计数据, 分析土地利用变化下的生态系统服务价值变动, 制定生态补偿标准。结果表明: (1) 2000-2020年, 台州市建设用地面积锐增, 林地、耕地和水域面积明显减少, 导致生态系统服务价值整体下降。(2) 台州市生态系统服务价值呈东低西高趋势。(3) 台州市2000、2010、2020年生态补偿额度分别为47.51亿元、22.16亿元和9.46亿元, 不断减少; 仙居县各期生态补偿优先级、生态补偿额度均最高。

关键词

土地利用变化; 生态系统服务价值; 生态补偿标准; 台州市

【基金项目】浙江省生态环境科研和成果推广项目资助 (项目编号: 2023HT0025)。

【作者简介】李超 (1994-), 男, 中国浙江台州人, 硕士, 工程师, 从事生物多样性和生态系统服务价值等方面研究。

【通讯作者】王罗云 (1992-), 女, 中国浙江台州人, 博士, 助理研究员, 从事生物多样性和种质资源领域研究。

1 引言

生态补偿是改善生态环境质量、促进经济社会高质量发展的重要手段。2021年, 我国发布《关于深化生态保护补偿制度改革的意见》, 指出制度的健全要综合考虑生态保护地区经济社会发展状况、生态保护成效等因素确定补偿水平。

制定生态补偿标准是生态补偿机制建立的核心内容, 也是补偿资金分配的重要依据^[1]。目前, 生态补偿标准制定

的主要方法有机会成本法、支付意愿法、生态系统服务价值法^[2]，这些方法各有利弊，其中生态系统服务价值法因客观性强、能够实现生态效益的最大化等优点而广为应用^[3-5]。

台州市受限“七山一水二分田”地貌，土地供给压力大，近年来经济快速发展，城镇化快速推进，土地利用结构剧烈变化，生态系统服务能力日益衰减。为此，台州市先后出台了长潭水生态补偿、椒灵江流域生态保护补偿相关文件，但仅考虑了水质环境要素，补偿内容不够全面、补偿标准偏低，亟需进一步健全生态补偿制度；但目前台州市相关研究多聚焦于生态系统服务价值变化的研究^[6-7]。因此，本研究基于2000年、2010年、2020年3期土地利用数据，选用修正的价值当量因子法，通过土地利用和生态系统服务价值变化分析，进而核算各县（市、区）生态补偿优先级，确定生态补偿额度，以期完善台州市生态补偿标提供参考。

2 研究区概况

台州市地处浙江东部沿海，东临东海，三面环山，下辖3区3县，代管3个县级市，居山面海，地势西高东低，地貌以丘陵为主。属典型亚热带湿润季风气候，四季分明，年均温18.2℃，年降水量1000-2000毫米，多集中在5月下旬至6月下旬、8月上旬至9月中旬两个雨期。随着近年经济的快速发展，城市化快速推进，生态空间管理手段不足问题日益凸显，生态系统服务下降^[7]，亟需协调社会发展与生态保护间的“矛盾”。

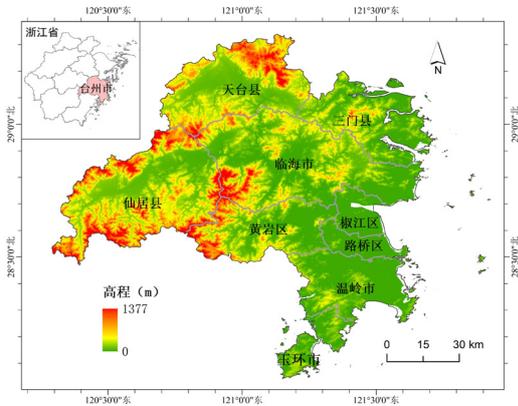


图1 研究区区位图

3 数据来源与研究方法

3.1 数据来源

本研究主要涉及土地利用数据、统计年鉴数据。其中，2000年、2010年、2020年的土地利用数据主要来自武汉大学杨杰和黄昕教授团队制作的30米分辨率中国年度土地覆盖数据集（<https://zenodo.org/records/12779975>）。该数据集经5463个目视解译样本验证，整体准确率达79.31%^[8]；本研究用粮食播种面积、单价和产量数据及GDP数据主要来自统计年鉴和《中国农产品价格调查年鉴》^[9]。

3.2 研究方法

3.2.1 生态系统服务价值分析

基于谢高地等^[10]构建的单位面积生态系统服务价值当量表，结合谭昭昭等^[6]对浙江东部沿海城市生态系统服务价值的研究，以台州市2000年、2010年和2020年主要粮食作物的平均产量和价格为基准，按“1单位生态服务价值等于平均粮食单产市场价值的1/7”计^[11]，得到1单位生态系统服务的经济价值，经浙江省农田生态系统生物量因子对该单位生态系统服务的经济价值进行校正后^[12]，最终得到台州市1标准单位生态系统服务的经济价值为3104.42元·hm⁻²·a⁻¹，进而获得研究区单位面积生态系统服务价值（表1）。生态系统服务价值计算公式如下：

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

$$VC_i = \sum_{j=1}^k EC_j \times E_a \quad (2)$$

式中：ESV为生态系统服务价值（元·a⁻¹）；i为土地利用类型（以下简称“地类”）；j为生态系统服务类型；A_i为第i类地类的面积（hm²）；VC_i为第i类地类单位面积生态系统服务价值（元·hm⁻²·a⁻¹）；EC_j为某类地类第j项生态系统服务价值当量；k为生态系统服务类型数量；E_a为1标准单位生态系统服务的经济价值（元·hm⁻²·a⁻¹）。

为更好开展时空分析，通过GIS软件将研究区划分为1km×1km的格网，对各格网生态系统服务价值进行计算分析。

表1 研究区单位面积生态系统服务价值（元·hm⁻²·a⁻¹）

一级服务	二级服务	耕地	林地	草地	水域	未利用土地
供给服务	食物生产	4222.02	745.06	931.33	2033.40	31.04
	原料生产	279.40	1691.91	1381.47	1133.11	93.13
	水资源供给	-8164.63	869.24	760.58	16888.06	62.09
调节服务	气体调节	3445.91	5556.92	4827.38	4144.40	341.49
	气候调节	1769.52	16655.23	12774.70	9142.53	310.44
	净化环境	527.75	4982.60	4222.02	14202.73	962.37
	水文调节	8444.03	12557.39	9359.84	196308.18	651.93
支持服务	土壤保持	31.04	6783.16	5882.88	5029.17	403.57
	维持养分循环	589.84	512.23	450.14	388.05	31.04
	生物多样性	651.93	6177.80	5355.13	16174.04	372.53
文化服务	美学景观	279.40	2716.37	2359.36	10275.64	155.22

3.2.2 生态补偿优先级划分

生态补偿优先级常用于衡量不同区域的生态补偿迫切程度^[3]，区域生态补偿的优先级排序一般采用纳入补偿范围的区域单位面积生态系统服务价值与单位面积GDP的比值来确定。因供给服务（水资源供给、食物和原料生产）、美学景观可通过市场交易，气体调节服务为非局域受益，补偿责任划分困难，故均未列入生态补偿范围。计算公式如下：

$$ECPS = \frac{VAL_N}{GDP_N} \quad (3)$$

式中， $ECPS$ 为生态补偿优先级； VAL_N 为列入补偿范围的区域单位面积生态系统服务价值（万元· hm^2 ）； GDP_N 为单位面积地区生产总值（万元· hm^2 ）。 $ECPS$ 值越大，表示该区域越迫切获取生态补偿， $ECPS$ 值越低，则反之。

3.2.3 生态补偿额度测算

生态补偿越迫切的区域，所应获得的生态补偿额度越高。因此，本研究引入生态补偿需求强度系数开展生态补偿额度计算，公式如下：

$$R_T = E_T \times k \times \alpha \quad (4)$$

表2 2000–2020年台州市各类用地面积及占比

地类	2000		2010		2020		2000-2020年面积变化量（ hm^2 ）
	面积（ hm^2 ）	比例（%）	面积（ hm^2 ）	比例（%）	面积（ hm^2 ）	比例（%）	
耕地	324130	26.59	296906	24.36	303344	24.89	-20786
林地	806218	66.15	794198	65.16	768142	63.02	-38076
草地	165	0.01	379	0.03	96	0.01	-69
水域	38101	3.13	39601	3.25	32899	2.70	-5202
未利用地	1	0.00	10	0.00	48	0.00	47
建设用地	50192	4.12	87713	7.20	114278	9.38	64086

为进一步分析各地类转入、转出情况，开展2000-2020年的土地利用转移分析（图1）。24种土地利用变化图谱单元的总面积为142749 hm^2 ，最重要的变化图谱表现为耕地-建设用地、林地-耕地、耕地-林地、水域-建设用地，转移面积分别为53448 hm^2 、47394 hm^2 、13753 hm^2 、8400 hm^2 ，转移比率各为37.44%、33.20%、9.63%、5.88%，累计转移比率为86.16%。其中，耕地、水域是转移为建设用地的主要地类，占总转移面积的43.33%，林地是转移为耕地的主要地类，净转出占总转移面积的23.57%。随着城镇化推进，建设用地面积不断增加，部分耕地逐步转为建设用地，为实现耕地占补平衡，部分林地转为耕地。

4.2 生态系统服务价值时空分布变化

台州市2000年、2010年、2020年生态系统服务价值分别为621.94亿元、615.77亿元和582.50亿元，整体呈下降趋势，共减少39.44亿元（表3）。2000-2020年，除未利用地外，其余各地类生态系统服务价值均有所下降，下降幅度从大到小排序依次为林地、水域、耕地、草地，分别下降了22.56亿元、14.34亿元、2.51亿元、0.03亿元；未利用地虽有所增加，但因占比少，对整体几乎无影响。生态系统

$$\alpha = \frac{2arctan ECPS}{\pi} \quad (5)$$

式中， R_T 为生态补偿额度（万元）； E_T 为列入补偿范围的区域生态系统服务价值（万元）； k 为生态价值折算系数，参考前人研究成果^[13]取15%； α 为生态补偿需求强度系数，采用反正切函数以避免生态补偿资金过度集中在少数地区； π 为圆周率。

4 结果与分析

4.1 土地利用变化分析

台州市总面积为1218807 hm^2 ，以林地、耕地和建设用地为主，2000年、2010年、2020年间3种地类面积之和占比分别为96.86%、96.72%、97.29%（表2）。2000-2020年，台州市建设用地面积连年增加，占比从4.12%增至9.38%，增加了64086 hm^2 ；林地、耕地面积总体呈下降趋势，分别减少了38076 hm^2 、20786 hm^2 ，下降占总面积3.13%、1.70%；水域面积亦下降了5202 hm^2 ，下降占总面积0.43%；草地、未利用地面积较小，面积变化量也较小。

服务价值的整体减少，主要受林地、水域、耕地等高生态系统服务价值贡献的土地类型面积减少影响。

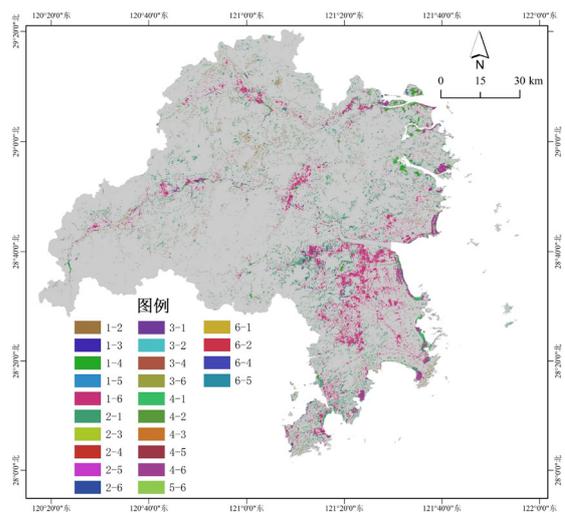


图2 2000–2020年台州市各类用地面积及占比

注：1为耕地，2为林地，3为草地，4为水域，5为未利用地，6为建设用地。

表 3 2000—2020 年台州市各类用地生态系统服务价值 (亿元)

地类	2000	2010	2020	2000-2020 年变化量
耕地	39.14	35.86	36.63	-2.51
林地	477.67	470.55	455.11	-22.56
草地	0.08	0.18	0.05	-0.03
水域	105.05	109.18	90.71	-14.34
未利用地	0.00003	0.00034	0.00164	0.00161
总计	621.94	615.77	582.50	-39.44

开展格网尺度下的台州市生态系统服务价值分析。选用自然断点法将生态系统服务价值划分为高值、较高值、中值、较低值和低值等 5 类。由图 3 可知,台州市生态系统服务价值高值主要分布在河流、水库等区域,较高值主要分布在西部和北部山区,低值、较低值主要分布在东南沿海片区和各地城区,中值区零散分布于低值、较低值区周边,生态系统服务价值与建设用地面积占比呈明显负相关。2000-2020 年,台州市东南低值不断外扩,西部、北部中值区明显扩张,较高值区受蚕食,长期滩涂淤涨也导致东部沿海的水域高值区逐渐减少。综上所述,台州市生态系统服务价值日趋低值化。

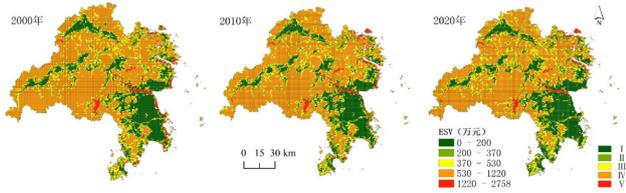


图 3 2000—2020 年台州市生态系统服务价值分布变化

注:生态系统服务价值划分等级: I 为低值区; II 为较低值区; III 为中值区; IV 为较高值区; V 为高值区。

4.3 生态补偿优先级

台州市 2000 年、2010 年、2020 年各地区生态补偿优先级均呈下降趋势(表 4)。2000 年各地生态补偿优先级从高到低排序依次为仙居县、三门县、天台县、临海市、黄岩区、玉环市、温岭市、椒江区、路桥区,2020 年从高到低排序变更为仙居县、天台县、三门县、临海市、黄岩区、温岭市、玉环市、椒江区、路桥区,存在一定变动。2000-2020 年,仙居县生态补偿优先级下降幅度最大,下降了

3.85;三门县、天台县、临海市、黄岩区生态补偿优先级下降幅度次之,分别下降了 2.68、2.28、1.40、0.80;其余地区生态补偿优先级下降量均小于 0.3。按自然断点法将台州市生态补偿优先级从低到高划分一级、二级、三级、四级区域(图 4),其中四级区域对获取生态补偿最为迫切。2000-2020 年间,仙居县生态补偿优先级均为四级区域,生态补偿需求最为迫切;2020 年,天台县、三门县生态补偿需求由 2010 年的四级区域降为三级区域,临海市、黄岩区由 2010 年的三级区域降为二级区域,玉环市、温岭市、椒江区由 2010 年的二级区域降为一级区域。

表 4 2000—2020 年台州市各地生态补偿优先级分布

县(市、区)	2000 年	2010 年	2020 年	2000-2020 年变化量
仙居县	4.26	1.08	0.41	-3.85
三门县	2.91	0.66	0.23	-2.68
天台县	2.52	0.62	0.24	-2.28
临海市	1.55	0.36	0.15	-1.40
黄岩区	0.90	0.24	0.10	-0.80
玉环市	0.29	0.06	0.02	-0.27
温岭市	0.25	0.06	0.03	-0.22
椒江区	0.19	0.04	0.02	-0.17
路桥区	0.12	0.03	0.01	-0.11



图 4 2000—2020 年台州市各地生态补偿优先级分级

4.4 生态补偿额度测算

通过计算各地区生态补偿需求强度系数,进而获得台州市各地生态补偿额度(表 5)。台州市 2000 年、2010 年、2020 年生态补偿额度分别为 47.51 亿元、22.16 亿元和 9.46 亿元,整体呈下降趋势。2020 年,仙居县生态补偿额度最高,达为 4.03 亿元,占当年补偿总额的 42.66%,其次为天台县、临海市、三门县,生态补偿额度分别为 1.66 亿元、1.63 亿元、1.44 亿元。上述 4 县列入补偿范围的当年生态系统服务价值累计为 361.60 亿元,占总数的 75.02%,而当年 GDP 累计仅占 30.56%,应获得更多生态补偿。

表 5 台州市各地生态补偿额度

县(市、区)	生态补偿需求强度系数			生态补偿额度(亿元)		
	2000 年	2010 年	2020 年	2000 年	2010 年	2020 年
仙居县	0.85	0.52	0.25	13.92	8.63	4.03
天台县	0.76	0.35	0.15	8.40	3.96	1.66
临海市	0.64	0.22	0.10	11.41	3.88	1.63
三门县	0.79	0.37	0.14	7.66	3.95	1.44
黄岩区	0.47	0.15	0.07	4.11	1.31	0.55

县(市、区)	生态补偿需求强度系数			生态补偿额度(亿元)		
	2000年	2010年	2020年	2000年	2010年	2020年
温岭市	0.16	0.04	0.02	1.01	0.23	0.09
玉环市	0.18	0.04	0.01	0.60	0.12	0.03
椒江区	0.12	0.03	0.01	0.28	0.05	0.02
路桥区	0.08	0.02	0.01	0.12	0.03	0.01
合计	-	-	-	47.51	22.16	9.46

5 讨论

2000-2020年,台州市建设用地不断扩张,耕地向建设用地转化达53448hm²,是最主要的土地利用转化类型,这与胡赛对安徽省1995-2018年土地利用时空演变特征分析的研究结论相似^[4]。期间,47394hm²林地转变为耕地是造成台州市生态系统服务价值降低的主要原因,占台州市减少总量的56.67%。加强林地、耕地保护是稳定生态系服务能力的重要途径,台州市应强化红线管理,重点加强林地转为耕地、耕地转为建设用地行为的管控,完善林地、耕地占补平衡制度。

相较西部,台州市东部地势更平坦、人口更密集、经济基础更良好,研究期间东部耕地、水域和林地被更快速侵占^[6],这也导致台州市生态系统服务价值总体下降、东低西高趋势愈加明显。生态补偿优先级较高的仙居县、天台县、三门县,其生态环境较好,生态系统服务价值也较高,但经济发展相对不足,生态补偿政策有助于上述区域经济发展,促进当地加大生态保护投入,加快产业结构绿色转型,释放旅游健康发展潜力。生态补偿优先级较低的路桥区、椒江区、玉环市、温岭市,生态系统服务价值较低,但经济较为发达,应积极承担生态补偿支付义务,加强“三区三线”管控。政府要加强各级财政支持,积极发挥市场机制作用,拓宽生态补偿资金融资渠道,加快推进多元化生态补偿,保障生态补偿资金来源,探索建立仙居县生态补偿机制试点,逐步推广带动区域经济共同发展和生态环境共同保护。

本研究生态系统服务价值核算主要基于各地类面积,忽略了相同地类不同斑块间的生态系统服务价值差异,如林地中阔叶林与针叶林的生态系统服务价值就有差异,后续研究将进一步细化地类,提高核算精度。此外,本研究的数据局限于历史数据,具有一定滞后性,后续将进一步开展不同发展模式下的生态系统服务价值变化预测,助推制定更合理的生态补偿制度。

6 结论

2000-2020年,台州市建设用地快速增加,增加了64086hm²,主要来自耕地、水域转入;林地、耕地面积减少明显,分别减少了38076hm²、20786hm²,林地主要转出为耕地,耕地则主要转出为建设用地。

2000-2020年,受林地、水域和耕地面积减少影响,台

州市生态系统服务价值整体呈下降趋势,由621.94亿元降至582.50亿元。生态系统服务价值呈明显东低西高趋势。

台州市各地生态补偿优先级排序中,仙居县最高,天台县、三门县较高,临海市、黄岩区次之,玉环市、温岭市、椒江区则相对较低。2000年、2010年、2020年,台州市生态补偿额度分别为47.51亿元、22.16亿元和9.46亿元,逐期减少;其中,仙居县生态补偿额度各期均最高。

参考文献(Reference):

- [1] YANG YI, YAO CONGXU, XU DELONG. Ecological compensation standards of national scenic spots in western China: A case study of Taibai Mountain [J]. Tourism management, 2020, 76(Feb.): 103950.1-103950.17.
- [2] 吴春生, 张鹏, 戴尔阜, 等. 基于生态系统服务的生态补偿政策制定探讨 [J]. 生态学报, 2023, 43(24): 10032-10041.
- [3] 曹庆, 赵俊三, 林伊琳, 等. 基于生态系统服务价值评估的成都市生态补偿研究 [J]. 水生态学杂志, 2024, 45(06): 28-36.
- [4] 胡赛. 基于土地利用变化的生态系统服务价值及生态补偿标准研究 [D]. 中国矿业大学, 2020.
- [5] 屈紫晴. 浙江省沿海地区生态系统生产总值时空特征与生态补偿策略研究 [D]. 浙江大学, 2022.
- [6] 谭昭昭, 陈毓道, 丁憬枫, 等. 浙江东部沿海城市土地利用模拟及生态系统服务价值评估 [J]. 应用生态学报, 2023, 34(10): 2777-2787.
- [7] 张阳, 陈星, 陈小民, 等. 基于土地利用变化的台州市生态系统服务价值研究 [J]. 中国水土保持, 2024, (12): 48-52.
- [8] YANG JIE, HUANG XIN. The 30 m annual land cover dataset and its dynamics in China from 1990 to 2019 [J]. Earth System Science Data, 2021, 13(8): 3907-3925.
- [9] 国家统计局农村社会经济调查司. 中国农产品价格调查年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2022.
- [10] 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(08): 1243-1254.
- [11] 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, (02): 189-196.
- [12] 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, (03): 10-13.
- [13] 孙贤斌, 黄润. 基于GIS的安徽省会经济圈区域生态补偿优先级研究 [J]. 水土保持研究, 2013, 20(01): 152-155+307.