

# 基于土地利用情景的福建省生态经济系统 协调度时空演变模拟

李胜鹏<sup>1</sup>, 柳建玲<sup>1</sup>, 林 津<sup>2</sup>, 范胜龙<sup>1</sup>

(1.福建农林大学 公共管理学院, 福州 350002; 2.南京农业大学 公共管理学院, 南京 210095)

**摘 要:**模拟分析不同土地利用情景下生态经济系统协调度(EEH)时空演变特征对福建省持续深入实施生态省战略与实现可持续发展有重要意义。回顾分析福建省 2000—2018 年 EEH 变化特征,并运用 FLUS 模型模拟在一般情景和耕地保护情景下 2026 年福建省土地利用变化情况,测算生态系统服务价值(ESV)的时空变化,分析未来生态经济系统协调类型的时空演变特征。结果表明:(1)在 2000—2026 年福建省的耕地、林地、草地向建设用地大幅转换。(2)2000—2026 年福建省生态经济系统协调发展水平逐步提高。(3)2000—2018 年福建省 ESV 呈负增长,整体生态经济系统协调类型处于低度冲突区,局部生态经济系统协调类型呈现多样性,有 3 个县处于高度冲突区;2018—2026 年不同土地利用情景下的 ESV 呈小幅增长,整体生态经济系统协调类型转为低度协调区,但不同情景下各个县(区)的生态经济系统协调类型有所不同。因此,福建省在持续深入实施生态省战略的过程中应严控耕地、林地等向建设用地流转,注重生态系统的保护,沿海经济发达地区要进一步提升生态经济系统协调水平。

**关键词:**生态经济系统协调度; 时空演变; FLUS 模型; 土地利用变化; 福建省

**中图分类号:**F205;K902

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2021)01-0234-08

## Spatial and Temporal Evolution Simulation of Eco-economic System Coordination in Fujian Province Under Land Use Scenarios

LI Shengpeng<sup>1</sup>, LIU Jianling<sup>1</sup>, LIN Jin<sup>2</sup>, FAN Shenglong<sup>1</sup>

(1.College of Public Administration, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China; 2.College of Public Administration, Nanjing Agriculture University, Nanjing 210095, China)

**Abstract:** To implement the eco-province strategy and achieve sustainable development continuously in Fujian Province, it is of great significance to simulate and analyze the spatial-temporal evolution characteristics of eco-economic system coordination degree (EEH) under different land use scenarios. The EEH variation of Fujian Province from 2000 to 2018 were reviewed and analyzed, the land-use change situations of Fujian Province in 2026 were simulated under general scenarios and cultivated land protection scenarios by FLUS model, meanwhile, spatial-temporal changes of ecosystem service values were estimated. Moreover, the spatial-temporal evolution characteristics of future eco-system coordination pattern were predicted. The results demonstrated that: (1) cultivated land, forest land, and grassland in Fujian Province had been substantially converted to construction land between 2000 and 2026; (2) from 2000 to 2026, the levels of coordinated development of the eco-economic system in Fujian Province gradually increased; (3) from 2000 to 2018, the ESV of Fujian Province appeared to be in negative growth; the overall eco-economic system coordination type was in a low-level conflict zone, and the local eco-economic system coordination pattern was diverse; there were three counties that were in a high-conflict zone from 2000 to 2018; and then, ESV raised slightly under different land use scenarios, and the overall eco-economic system coordination type changed to a low-level coordination area, but the eco-economic system coordination type differed among

收稿日期:2020-04-14

修回日期:2020-05-10

资助项目:国家自然科学基金(41671173,41271191)

第一作者:李胜鹏(1994—),男,安徽怀宁人,在读硕士,主要研究方向为土地资源信息管理等。E-mail:lsp1302@163.com

通信作者:范胜龙(1976—),男,福建永定人,教授,博士,主要研究方向为土地资源可持续利用等。E-mail:fsl@fafu.edu.cn

counties (districts) under different scenarios from 2018 to 2026. Therefore, Fujian Province should strictly control the conversion of cultivated land and forest land to construction land in the process of continuously implementing the eco-province strategy, pay attention to the protection of the ecosystem, and further improve the coordination level of the eco-economic system in the economically developed coastal areas.

**Keywords:** ecological economy system coordination degree; spatial-temporal evolution; FLUS model; land use change; Fujian Province

生态和经济发展相协调是人类社会可持续健康发展的内在要求。21 世纪初,时任福建省省长的习近平就曾做出建设生态省的战略决策,并明确要求,经过 20 年的努力,福建省要在恢复和保持良好的生态环境、合理利用自然资源的前提下,促进全省社会、经济和生态环境协调发展。近 20 年来,福建省经济发展主要以建设用地扩张、耕地减少为代价,各类生态系统也因此遭到不同程度的破坏。识别生态经济系统协调发展现状与未来演变特征,对福建省未来持续深入实施生态省战略有重要现实意义。

在定量评价生态经济系统协调发展相关研究中,较多运用能值分析法<sup>[1]</sup>、生态足迹法<sup>[2]</sup>、综合指标法等<sup>[3]</sup>在城市群<sup>[4]</sup>、省域<sup>[5]</sup>、市域<sup>[6]</sup>和县域等<sup>[7]</sup>尺度下对生态经济系统协调度(EEH)进行分析,并取得了大量成果,但是由于生态经济系统协调发展问题的综合性与复杂性,需要从不同的途径来深化对该问题的研究<sup>[8]</sup>。生态系统服务功能对地球生命维持系统运作至关重要,是区域实现可持续发展的基础<sup>[9]</sup>,其价值变化与社会经济发展密切相关。因此,可根据一定时期内土地利用变化导致的生态系统服务价值(ESV)变化与区域经济发展的关系来衡量区域生态经济系统协调发展状况<sup>[8]</sup>,目前该方面的研究成果虽有报道<sup>[10-14]</sup>,但仍相对较少。利用 ESV 变化与经济发展的关系衡量生态经济系统协调度的核心问题是 ESV 的测算<sup>[15]</sup>。关于 ESV 的测算方法现有文献中较多采用的是当量因子系数法<sup>[16]</sup>,该方法由 Costanza 等<sup>[17]</sup>提出,经过谢高地等<sup>[18-20]</sup>引入并结合中国实际情况进行修正,在区域相关研究中取得丰富成果<sup>[21-26]</sup>。然而,目前针对 EEH 和 ESV 的研究较多侧重于在土地利用变化的基础上对历史数据的时空变化进行回顾分析,对模拟未来不同土地利用变化情景下 ESV 和 EEH 变化情况的相关研究较少。在研究区域方面,现有文献较多是从城市群<sup>[27]</sup>、市域<sup>[28-29]</sup>、县域等<sup>[30-31]</sup>对 ESV 和 EEH 变化进行模拟分析,但是较少对实施重大生态战略区域展开研究。

基于此,本文通过 FLUS 模型模拟 2026 年不同情景(一般情景和耕地保护情景)的土地利用变化情

况,利用净初级生产力(NPP)修正的当量因子法测算福建省 2000—2026 年土地利用变化引起的 ESV 变化,结合 GDP 测算生态经济系统协调度变化,分析 2000—2026 年福建省生态经济系统协调度变化特征,可为合理控制土地利用变化、优化国土空间布局、继续深入实施生态省战略和国土空间规划提供科学参考,实现区域可持续发展。

# 1 研究区与研究方法

## 1.1 研究区概况

本文以福建省为研究区,福建省位于中国东南沿海,陆地介于北纬 23°33'—28°20'、东经 115°50'—120°40',陆地总面积 12.14 万 km<sup>2</sup>,境内山地、丘陵面积约占全省总面积的 80%,森林覆盖率高,耕地面积仅占约 1.6%。《福建省统计年鉴—2019》统计显示,2000 年以来福建省经济发展经历了持续多年的高速增长阶段,总产值增幅显著。2000 年地区生产总值为 3 764.54 亿元,其中一、二、三产业生产总值分别为 17.02%,43.26%,39.73%;到 2018 年实现地区生产总值 35 804.04 亿元,其中一、二、三产业生产总值分别为 6.65%,48.13%,45.22%。

## 1.2 研究数据来源与处理

研究区主要数据来源详见表 1。其中,土地利用分类数据采用 6 个一级地类(耕地、林地、草地、水域、建设用地、未利用地)进行土地利用变化分析;空间数据均采用行列一致的空间分辨率为 100 m×100 m 的栅格数据,利用 ArcGIS 10.4 软件对栅格数据进行预处理,并统一为 Albers 投影。土地利用变化是自然和人类社会共同作用的结果,本文结合研究区实际情况与前人研究成果<sup>[21,32-34]</sup>,选取交通、地形、社会经济、人口等 12 项驱动因子用以模拟社会经济发展过程中的土地利用变化,具体数据来源及处理方法详见表 2。

## 1.3 研究方法

1.3.1 FLUS 模型 采用 FLUS 模型模拟人类活动与自然影响下不同情景的土地利用变化,整个模型包括 3 个模块:(1) 测算未来用地的需求量;(2) 基于 ANN 模型各类用地的出现概率;(3) 基于自适应惯性竞争

机制的CA 模型未来用地的模拟。参考 Liang 等<sup>[35]</sup>的参数处理方法,通过 SD 模型或 Markov 等预测模型测算未来不同情景下各类用地需求量,设置各地类相互转换成本、限制区与邻域权重。转换成本中将一种地类允

许转换到另一种地类设置为 1,不允许转换设置为 0;限制区中将可以转换的区域设置为 1,不可以转换的区域设置为 0;邻域权重是各地类扩张能力,取值在 [0,1]范围内,取值越大扩张能力越强。

表 1 研究区数据来源

数据类型	数据精度(类型)	数据来源
土地利用分类数据(2000 年、2010 年、2018 年)	100 m	中国科学院资源与环境科学数据中心( <a href="http://www.resdc.cn">http:// www.resdc.cn</a> )
GDP 空间分布 km 网格数据	1 km	
人口空间分布 km 网格数据	1 km	
净初级生产力(NPP)数据	1 km	
气象数据(降水和气温数据)	1 km	全国地理信息资源目录服务系统( <a href="http:// www.webmap.cn/main.do? method=index">http: // www.webmap.cn/main.do? method=index</a> )
1: 100 万行政区划数据(现势性 2015)	矢量	
1: 25 万全国基础地理数据库(现势性 2015)	矢量	
DEM 数据	30 m	地理空间数据云( <a href="http:// www.gscloud.cn">http:// www.gscloud.cn</a> )
全国农产品成本收益汇编	文本	中华人民共和国国家统计局( <a href="http:// data.stats.gov.cn/">http:// data.stats.gov.cn/</a> )
福建省统计年鉴(2001 年、2011 年、2019 年)	文本	福建省统计局

表 2 空间驱动因子

驱动因子	处理方法	数据来源
与高速公路距离	EucDistance 工具	1: 25 万全国基础地理数据库提取高速公路
与普通公路距离		1: 25 万全国基础地理数据库提取普通公路
与铁路距离		1: 25 万全国基础地理数据库提取铁路
与城镇居民点距离		土地利用分类数据中提取城镇居民点
与水域距离		土地利用分类数据中提取水域
坡向	Aspect 工具	DEM 数据计算
坡度	Slope 工具	DEM 数据计算
DEM	Albers 投影	—
人口密度	Resample 工具	人口空间分布 km 网格数据重采样
GDP		GDP 空间分布 km 网格数据重采样
降水		年降水数据重采样
气温		年气温数据重采样

设置一般情景与耕地保护情景对研究区未来(2026 年)土地利用变化进行模拟,两种情景下的未来各类用地需求量均采用 Markov 链进行测算。(1) 一般情景:仅依据研究区历史土地利用变化规律,设定各地类之间均可相互转换,不对土地利用变化模拟过程设定限制区;(2) 耕地保护情景:从严格保护耕地角度出发,考虑到福建省耕地的资源禀赋,在未来土地利用变化模拟过程中设定水田为限制变化区,同时限制耕地和非耕地之间相互转换,其他地类可相互转换。通过计算历史各地类扩张强度指数设定模型的邻域权重(表 3)<sup>[27]</sup>,各地类相互转换成本和限制区则根据不同情景进行设置。

基于以上要求对模型进行设置,利用研究区 2010 年土地利用栅格数据模拟 2018 年研究区土地利用情况,并将模拟的结果与 2018 年实际土地利用

现状进行精度验证,验证精度达 0.93,Kappa 系数达到 0.88,表明该模型在一定程度能够模拟研究区 2026 年土地利用变化情况。

1.3.2 生态系统服务价值测算方法 以谢高地等<sup>[19]</sup>的当量因子法为基础,并通过地区的 NPP 数据进行当量因子修正,测算生态系统服务价值。为了减少市场和自然因素对粮食价格与作物种植面积的影响,以 2000—2018 年粮食净利润的平均值作为标准当量因子价值<sup>[25]</sup>,其计算方法见式(1),(2),计算福建省各地类单位面积生态系统服务价值见表 4。

表 3 邻域权重参数

土地利用类型	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地
邻域权重	0.01	0.08	0.48	0.52	1.00	0.40

$$D=\frac{1}{19}\sum_{n=2000}^{2018}P_n(S_n^r\times F_n^r+S_n^w\times F_n^w+S_n^c\times F_n^c)\quad (1)$$

$$ESV=\sum A_k\times VC_k\times\frac{NPP_w}{NPP_{cm}}\quad(2)$$

式中: $D$  指 1 个标准当量因子的生态系统服务价值(元/hm<sup>2</sup>); $S_n^r,S_n^c$  分别指稻谷、小麦、玉米等 3 种作物的种植面积占该 3 种作物种植总面积的比例; $F_n^r,F_n^c$  分别指稻谷、小麦、玉米 3 种作物的单位面积

净利润(元/hm<sup>2</sup>); $P_n$  指分别将不同年份的价格利用农产品价格指数转为 2000 年不变价格;ESV 指生态系统服务价值; $A_k$  指  $k$  类生态系统的面积(hm<sup>2</sup>); $VC_k$  指  $k$  类生态系统单位面积生态系统服务价值(元/hm<sup>2</sup>); $NPP_w$  和  $NPP_{cm}$  是 2010 年研究区和全国 NPP 的平均值。

表 4 福建省各地类单位面积的态系统服务价值元/hm<sup>2</sup>

生态系统服务功能	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地
食物生产	9180.30	2092.57	2565.08	5400.18	0.00	0.00
原料生产	607.52	4792.66	3780.12	1552.55	0.00	0.00
水资源供给	−17753.08	2497.58	2092.57	55959.32	0.00	0.00
气体调节	7492.74	15863.02	13297.93	5197.67	0.00	135.00
气候调节	3847.63	47454.04	35168.64	15458.00	0.00	0.00
净化环境	1147.54	13432.94	11610.38	37463.72	0.00	675.02
水文调节	18360.60	23693.27	25785.84	690142.44	0.00	202.51
土壤保持	67.50	19305.63	16200.53	6277.70	0.00	135.00
维持养分循环	1282.54	1485.05	1215.04	472.52	0.00	0.00
生物多样性	1417.55	17550.57	14715.48	17213.06	0.00	135.00
美学景观	607.52	7695.25	6480.21	12757.91	0.00	67.50

1.3.3 生态经济系统协调度评价 生态经济系统协调度反映了区域自然生态与经济协调状况,借鉴吴建寨等和王振波等<sup>[8,11-12,14]</sup>研究成果,采用生态经济系统协调指数(EEHC)对区域内生态经济系统的协调一致性进行评价。EEHC 的计算方法见公式(3),但环境与经济协调发展的类型暂无统一的划分标准,本文根据吴建寨等<sup>[8-9]</sup>研究成果将 EEHC 划分为 6 个类型,见表 5。

$$EEHC=\frac{ESV_{pj}-ESV_{pi}}{ESV_{pi}}\bigg/\frac{GDP_{pj}-GDP_{pi}}{GDP_{pi}}\quad(3)$$

式中: $ESV_{pi},ESV_{pj},GDP_{pi},GDP_{pj}$  分别为研究区某时期始、末年份的单位面积生态系统服务价值(元/hm<sup>2</sup>)和单位面积 GDP(元/hm<sup>2</sup>),根据 2000—2018 年的各年份 GDP 回归预测得 2026 年 GDP,因金门县数据的不可获得,本文未对其进行测算。

表 5 生态经济系统协调类型的划分

协调类型划分	范围	划分依据
高度协调区	EEHC≥1	研究区 ESV 增长速度相对于经济增速度较高,表明生态环境和经济发展协调关系较好;或是经济发展前期生态破坏严重且制约经济发展,需通过生态保护提高生态系统服务能力
中度协调区	0.5≤EEHC<1	研究区 ESV 增长速度略低于经济增长速度,但 ESV 仍在增长,表明生态环境与经济发展协调水平较低,为中度协调
低度协调区	0≤EEHC<0.5	研究区生态环境与经济发展协调状态同中度协调区相似,生态环境与经济发展协调水平低,为低度协调
低度冲突区	−0.5≤EEHC<0	研究区 ESV 的增加值为负值,生态环境与经济发展较不协调,生态系统因经济快速增长而遭受破坏
中度冲突区	−1≤EEHC<−0.5	研究区生态环境与经济发展协调状态同低度冲突区相似,但冲突程度比低度冲突区稍大
高度冲突区	EEHC<−1	研究区 ESV 显著降低,生态系统严重破坏,生态环境与经济发展高度冲突,区域环境经济不可持续

## 2 结果与分析

### 2.1 土地利用变化分析

利用 ArcGIS 10.4 作 2000—2018 年土地利用转移矩阵(结果见表 6),据测算:福建省在 2000—2018 年耕地减少 1 601.22 km<sup>2</sup>,林地减少 602.51 km<sup>2</sup>,草地减少 564.44 km<sup>2</sup>,水域增加 183.93 km<sup>2</sup>,建设用地增加 2 569.83 km<sup>2</sup>,未利用地增加 14.41 km<sup>2</sup>。建设用地增加来源主要是耕地、林地和草地,分别占 62.05%,32.37%,12.82%;未利用地增加主要来源是林地和水域。建设用地增加增幅较大的区域主要

是沿海一带的厦门市、漳州市辖区、龙海市、泉州市辖区、南安市、晋江市、惠安县、福州市辖区、闽侯县、罗源县以及莆田市辖区、宁德市辖区等,这些市县(区)基本为福州经济圈或厦漳泉经济圈辐射影响范围。内陆的各个市辖区和县中心城区的建设用地面积也均有小幅度增加,而水域面积增加来源主要是内陆新建水库和沿海地区的东山县、漳浦县的沿海耕地退耕。

利用 FLUS 模型分别在一般情景与耕地保护情景下对福建省 2026 年土地利用变化情况进行模拟,结果见图 1D 与 1E。一般情景下,各地类之间转换无限制,模拟结果显示林地、耕地转向建设用地的面积



较大,其中,林地转向建设用地 337.65 km<sup>2</sup>,耕地转向建设用地 294.25 km<sup>2</sup>。林地转为建设用地的区域主要集中在福清市、福鼎市、长乐区、连江县、罗源县、惠安县、宁德市辖区、霞浦县、漳浦县、云霄县;耕地转为建设用地的区域主要集中在厦门市、惠安县、龙海市、福清市和长乐区。耕地保护情景下,将水田设置为限制转换区,地类转化面积最大的是林地与草地,均向建设用地转换,转换面积分别为 286.24 km<sup>2</sup>,

189.68 km<sup>2</sup>,主要集中于福清市、长乐区、罗源县、厦门市、福鼎市、宁德市辖区。

在两种土地利用情景下,福州城市经济圈与厦漳泉城市经济圈的建设用地面积均为增加趋势,且其他内陆地区的建设用地面积均有所增加,建设用地增加的来源主要是耕地与林地,因此在生态省发展与建设过程中要严控耕地红线,做好建设用地的集约利用,以防建设用地的无序扩张导致生态用地趋于破碎化。

表 6 2000—2018 年福建省土地利用转移矩阵 km<sup>2</sup>

地类	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地
耕地	19051.54	1261.35	256.67	170.74	1594.52	1.48
林地	1179.21	72692.91	1415.23	116.42	831.84	21.26
草地	337.85	1573.51	16766.36	34.07	329.35	3.42
水域	50.51	68.44	21.23	1254.62	162.18	7.67
建设用地	114.37	47.06	17.10	172.11	2114.98	0.13
未利用地	1.60	11.09	3.53	0.62	2.71	69.37

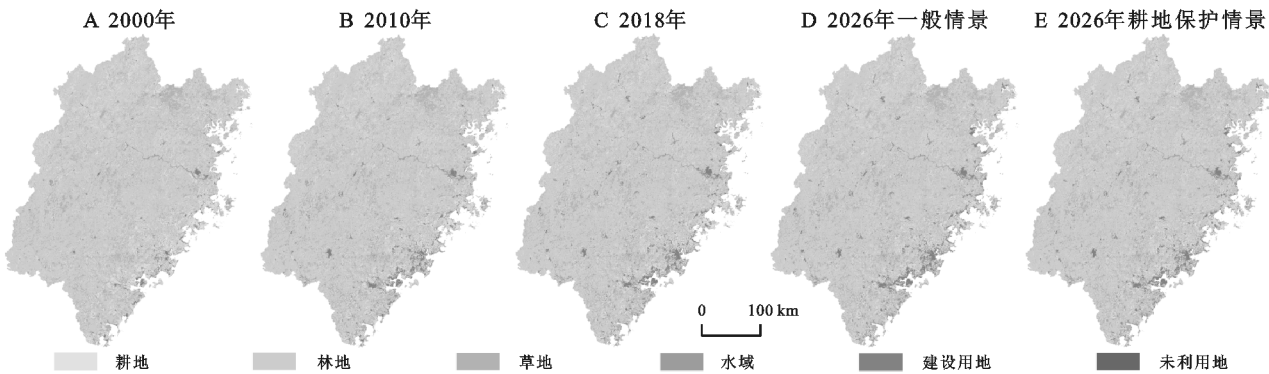


图 1 2000—2026 年福建省土地利用分类图

2.2 生态系统服务价值变化特征

福建省 2000—2026 年的生态系统服务价值 (ESV) 计算结果见表 7。2000—2018 年,福建省 ESV 总体下降了 0.4%,其中耕地、林地、草地的 ESV 分别下降了 7.7%,0.8%,3.1%。由图 2 可知,同期单项 ESV 中食物生产价值、原料生产价值、气体调节价值、气候调节价值、净化环境价值、土壤保持价值、维持养分循环价值、生物多样性价值、美学景观价值分别下降了 3.9%,1.3%,1.7%,1.2%,0.7%,1.1%,2.2%,1.1%,0.9%。结合土地利用变化可知,以上 ESV 减少与耕地、林地、草地面积减少且大量转为建设用地相吻合。一般情景下,福建省 2026 年的 ESV 较 2018 年增加 0.3%,但因耕地、林地、未利用地面积减少,三者 ESV 相较 2018 年分别下降了 2.0%,0.5%,7.2%;草地和水域面积的增加使得二者的 ESV 分别增加 0.8%,5.3%。耕地保护情景下,福建省 2026 年的 ESV 较 2018 年增加 0.2%,林地和未利用地的 ESV 较 2018 年分别下降了 0.5%,7.2%,草地和水域的 ESV 较 2018 年分别增加 0.8%和 5.3%。

表 7 2000—2026 年不同情景福建省生态系统服务价值 亿元

土地利用类型	2000 年	2010 年	2018 年	2026 年	
				一般情景	耕地保护情景
耕地	586.61	557.78	544.47	533.36	544.47
林地	11886.41	11855.17	11791.68	11731.59	11728.60
草地	2531.87	2446.45	2456.23	2465.02	2476.43
水域	1330.49	1379.01	1482.61	1595.49	1560.61
建设用地	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
未利用地	0.12	0.16	0.14	0.13	0.13

2.3 生态经济系统协调度时空演变

2000—2018 年福建省生态经济系统总体表现为低度冲突的协调发展特征,在经济发展过程中土地利用变化引起生态环境效益降低。根据生态经济系统协调指数 (EEHC) 划分标准将 2000—2018 年各县域生态经济协调发展类型划分见图 3,其中有 3 个县 (区) 为高度冲突区,2 个县 (区) 为中度冲突区、40 个县 (区) 为低度冲突区、17 个县 (区) 为低度协调区、3 个县 (区) 为高度协调区。福建省大部分县 (区) 环境经济发展协调类型呈低度冲突区与低度协调区,主要

集中于内陆县(区)。沿海地带环境经济协调类型多样,与沿海地区经济发展不平衡,土地利用开发程度不同相关。其中漳浦县、连江县、平潭县为高度冲突区,区域环境经济发展不可持续;惠安县和罗源县为中度冲突区,区域环境经济发展不协调;平和县和云霄县以及东山县为高度协调区。

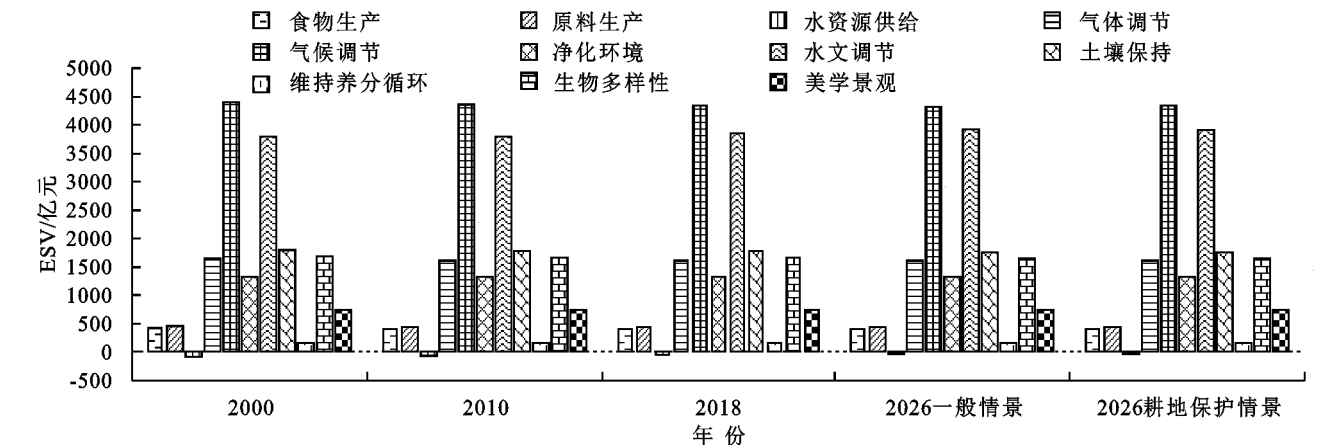


图 2 2000—2026 年福建省各单项生态系统服务价值

2026 年一般情景下,有 17 个县(区)处于低度冲突区,48 个县(区)处于低度协调区。2018—2026 年,生态经济系统协调类型弱化发展的县(区)有 8 个,其中平和县、云霄县、东山县由高度协调区转为低度协调区和低度冲突区,龙海市、福清市、宁德市辖区、霞浦县、松溪县等由低度协调区转为低度冲突区;生态经济系统协调类型协调发展的县(区)有 39 个,其中平潭县变化最为显著,由高度冲突区转变为低度协调区,生态经济系统逐渐恢复协调,而漳浦县、连江县则由高度冲突区转为低度冲突区,罗源县和惠安县由中度冲突区转为低度冲突区,德化县、南靖县等 34 个县(区)由低度冲突区转为低度协调区。耕地保护情景下,有 19 个县(区)为低度冲突区,46 个县(区)为低度协调区。该情景下生态经济系统协调类型大致与一般情景下的类型相同,顺昌县、寿宁县、泉州市辖区和屏南县为低度冲突区;仙游县和长汀县为低度协调区。

2026 年两种不同土地利用情景下,福建省整体生态经济系统均向好协调发展,生态经济系统协调发展特征均由低度冲突区转变为低度协调区,ESV 与 GDP 同向正向增长,但 ESV 的增长速率并未大于 GDP。在不同土地利用模拟情景中,福建省全域生态经济系统协调类型均只表现为低度冲突区与低度协调区两种类型,其中低度冲突区主要分布在东南沿海县(区),而内陆县(区)主要以低度协调区为主。综上,在两种土地利用模拟情景下 2018—2026 年,福建省大部分县(区)的 ESV 增长速度落后于经济增长速度,部分县(区)ESV 呈负增长,社会经济发展对生态系统造成一定的影响与破坏。因此,在生态省战略布局下,应适当加强对部分生态系统的保护,防止因土地利用类型变化造成生态系统进一步破坏。

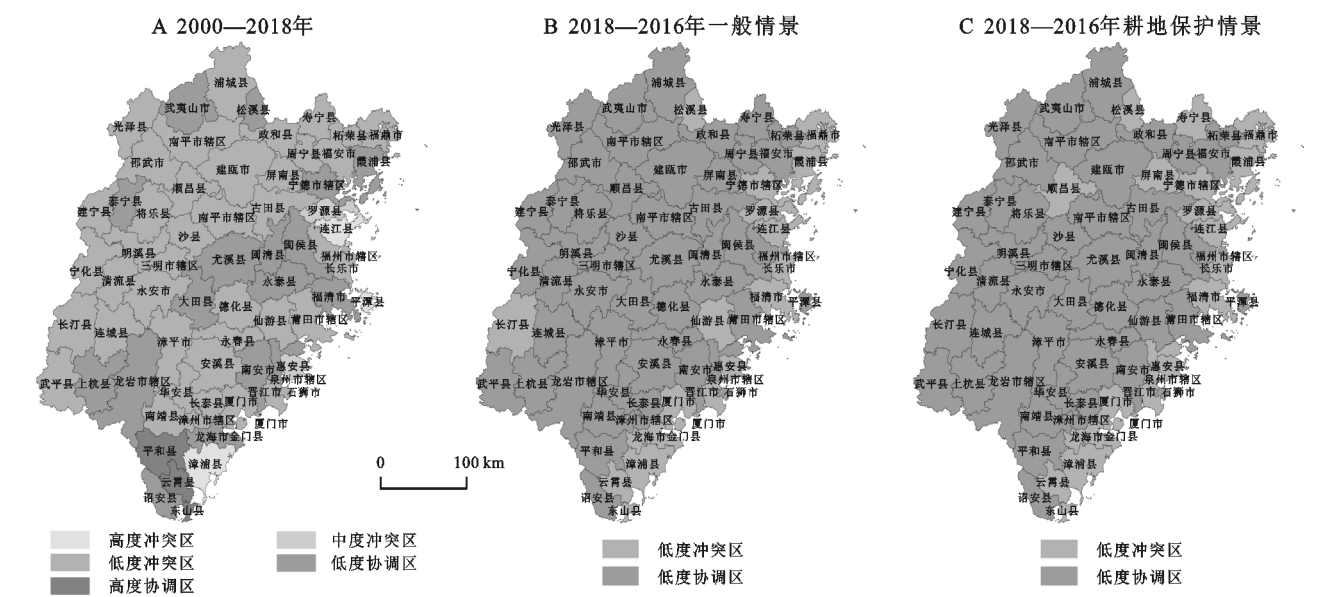


图 3 福建省生态经济系统协调类型分布

### 3 讨论与结论

#### 3.1 结论

在回顾分析 2000—2018 年福建省土地利用变化、生态系统服务价值及生态经济系统协调类型的基础上,运用 FLUS 模型模拟 2026 年不同情景下福建省土地利用变化情况,计算未来福建省各地区的 ESV,分析生态经济系统协调类型,主要结论如下:

(1) 2000—2018 年,福建省耕地、林地、草地面积均减少,且大部分转为建设用地;土地利用变动较大的主要是厦漳泉经济圈与福州经济圈。2026 年一般情景下,仍呈现林地、耕地向建设用地转变,而耕地保护情景下则是林地、草地向建设用地转变,两种情景下,建设用地面积均表现为大量增长趋势,水域面积小幅度增长。

(2) 2000—2018 年,福建省 ESV 总体下降幅度为 0.4%,其中耕地 ESV 下降幅度最大达 7.7%,水域和未利用地分别上升 10.3%和 14.3%。2026 年,一般情景的 ESV 略高于耕地保护情景,单项 ESV 中食物生产的 ESV 低于耕地保护情景。2000—2018 年,福建省实施生态省战略初有成效,ESV 一定程度上能够与 GDP 协调增长,但 ESV 仍有较大的增长空间,应该重点关注沿海经济发达地区的生态经济系统协调格局建设。因此,在社会发展规划与国土空间规划中要十分注重对耕地总量的控制和空间布局,科学保护耕地资源,提升粮食产量,维护区域粮食安全,保障经济和生态协调发展。

(3) 2000—2018 年福建省生态经济系统协调类型为低度冲突,在 2018—2026 年将由低度冲突区向低度协调区转变。在未来一段时间内,各个县(区)的生态经济系统协调类型的多样性将减少,以低度冲突区和低度协调区为主,低度冲突区主要位于沿海县(区),低度协调区主要位于内陆县(区)。福建省沿海地带是省内经济最为发达的地区,城镇化水平高,林地、水域等地类面积比内陆县(区)少,因此沿海地区的 ESV 基本上为负增长状态,所以呈现生态经济系统协调类型为低度冲突状态,未来在持续深入生态省战略的过程要注重生态系统的维护与保护,以确保生态系统服务功能正常供给。

综上,福建省在继续深入实施生态省战略的过程中应当要切实防控耕地非农化,严格控制林地、草地及水域向建设用地转变,合理规划城镇建设用地的发 展 边 界。特别在沿海的县(区)要做好城镇内部绿色设施的建设,构建与城市圈生态经济系统相协调的发展格局。

#### 3.2 讨论

(1) 未来可基于土地利用变化的多样性,针对不同

区域发展实际拓展不同情景的土地利用变化模拟,从而明确不同情景所适配的模拟模型,更加精确地分析未来土地利用变化情况,力求预测结果贴近现实发展。

(2) 预测未来的经济发展情况是现代社会中重要研究内容,本文基于历史 GDP 回归预测未来 GDP 以探讨未来 EEHC 的变化,未来研究可根据 GDP 增速在区间内的波动规律预测 GDP 增速。

(3) 本文基于 100 m×100 m 的栅格数据模拟土地利用变化,分析 ESV 与 EEHC 对土地利用变化的响应,但土地利用变化在不同的时空尺度上会呈现不同特性,未来可在多尺度下对模拟系数进行修正从而探究土地利用变化情况,分析 EEH 的尺度效应。

#### 参考文献:

- [1] 马世昌,吴晓磊.安徽省农业生态经济系统能值分析[J].中国农业资源与区划,2019,40(12):101-107.
- [2] 黄和平,胡晴,乔学忠.基于绿色 GDP 和生态足迹的江西省生态效率动态变化研究[J].生态学报,2018,38(15):5473-5484.
- [3] 张磊,钱畅,黄佳贤,等.合肥市生态环境与经济协调发展研究[J].中国农业资源与区划,2019,40(9):192-198.
- [4] 王会芝.京津冀城市群经济社会与生态环境协调发展研究[J].经济与管理,2017,31(5):22-26.
- [5] 苏慧,张仲伍,张兴毅,等.基于能值分析山西省生态经济系统可持续研究[J].西南农业学报,2019,32(5):1187-1193.
- [6] 李雪松,龙湘雪,齐晓旭.长江经济带城市经济—社会—环境耦合协调发展的动态演化与分析[J].长江流域资源与环境,2019,28(3):505-516.
- [7] 马亚亚,刘国彬,张超,等.陕北安塞县生态与经济系统耦合协调发展[J].生态学报,2019,39(18):6840-6849.
- [8] 吴建寨,李波,张新时.生态系统服务价值变化在生态经济协调发展评价中的应用[J].应用生态学报,2007,18(11):2554-2558.
- [9] 苏飞,张平宇.基于生态系统服务价值变化的环境与经济协调发展评价:以大庆市为例[J].地理科学进展,2009,28(3):471-477.
- [10] 苏慧,张仲伍,张兴毅,等.中部地区生态经济系统协调度的时空演化[J].水土保持通报,2019,39(4):288-293.
- [11] 魏伟,石培基,魏晓旭,等.中国陆地经济与生态环境协调发展的空间演变[J].生态学报,2018,38(8):2636-2648.
- [12] 李真,潘竟虎,胡艳兴.甘肃省生态资产价值和生态—经济协调度时空变化格局[J].自然资源学报,2017,32(1):64-75.
- [13] 魏晓旭,赵军,魏伟,等.基于县域单元的中国生态经济系统协调度及空间演化[J].地理科学进展,2014,33(11):1535-1545.
- [14] 王振波,方创琳,王婧.1991 年以来长三角快速城市化地区生态经济系统协调度评价及其空间演化模式[J].



- 地理学报,2011,66(12):1657-1668.
- [15] 刘海龙,石培基,李生梅,等.河西走廊生态经济系统协调度评价及其空间演化[J].应用生态学报,2014,25(12):3645-3654.
- [16] 李丽,王心源,骆磊,等.生态系统服务价值评估方法综述[J].生态学杂志,2018,37(4):1233-1245.
- [17] Costanza R, D'Arge R, de Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Nature, 1997,386:253-260.
- [18] 肖玉,谢高地,安凯.莽措湖流域生态系统服务功能经济价值变化研究[J].应用生态学报,2003,14(5):676-680.
- [19] 谢高地,张彩霞,张昌顺,等.中国生态系统服务的价值[J].资源科学,2015,37(9):1740-1746.
- [20] 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.
- [21] 韩蕊,孙思琦,郭烁,等.川东地区生态系统服务价值时空演变及其驱动力分析[J].生态与农村环境学报,2019,35(9):1136-1143.
- [22] 逯惠艳,周双双,郑晓东,等.长春市土地利用时空演变及生态系统服务价值测度[J].东北师大学报:自然科学版,2019,51(3):122-127.
- [23] 汪东川,孙志超,孙然好,等.京津冀城市群生态系统服务价值的时空动态演变[J].生态环境学报,2019,28(7):1285-1296.
- [24] 王彦芳,刘敏,郭英,等.河北省生态环境支撑区生态系统服务价值评估[J].水土保持通报,2019,39(2):309-316.
- [25] 薛明皋,邢路,王晓艳.中国土地生态系统服务当量因子空间修正及价值评估[J].中国土地科学,2018,32(9):81-88.
- [26] 游惠明,韩建亮,潘德灼,等.泉州湾河口湿地生态系统服务价值的动态评价及驱动力分析[J].应用生态学报,2019,30(12):4286-4292.
- [27] 欧阳晓,贺清云,朱翔.多情景下模拟城市群土地利用变化对生态系统服务价值的影响:以长株潭城市群为例[J].经济地理,2020,40(1):93-102.
- [28] 朱增云,阿里木江·卡斯木.干旱区绿洲城市生态系统服务价值空间自相关格局分析与模拟[J].生态与农村环境学报,2019,35(12):1531-1540.
- [29] 李龙,吴大放,刘艳艳,等.基于 CA-Markov 模型的惠州市生态与经济协调度时空演变特征及模拟预测[J].生态与农村环境学报,2020,36(2):161-170.
- [30] 刘园,任意,周勇,等.基于 CA-Markov 的江汉平原生态系统服务价值动态模拟:以湖北省潜江市为例[J/OL].中国农业资源与区划. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3513.S.20200320.1247.010.html>, 2020-03-20/2020-04-14.
- [31] 王培俊,孙煌,华宝龙,等.福州市滨海地区生态系统服务价值评估与动态模拟[J].农业机械学报,2020,51(3):249-257.
- [32] 傅家仪,臧传富,吴铭婉.1990—2015 年海河流域土地利用时空变化特征及驱动机制研究[J/OL].中国农业资源与区划. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3513.S.20200313.1532.002.html>, 2020-03-13/2020-04-14.
- [33] 靳含,杨爱民,夏鑫鑫,等.基于 CA-Markov 模型的多时间跨度土地利用变化模拟[J].干旱区地理,2019,42(6):1415-1426.
- [34] 王明常,郭鑫,王凤艳,等.基于 FLUS 的长春市土地利用动态变化与预测分析[J].吉林大学学报:地球科学版,2019,49(6):1795-1804.
- [35] Liang X, Liu X, Li X, et al. Delineating multi-scenario urban growth boundaries with a CA-based FLUS model and morphological method[J]. Landscape and Urban Planning, 2018,177:47-63.

(上接第 233 页)

- [12] 杨昕,贺贤华,毛熙彦,等.基于城乡联系的农村居民点布局优化研究:以重庆市为例[J].北京大学学报:自然科学版,2016,52(2):336-344.
- [13] 文博,朱高立,夏敏,等.基于景观安全格局理论的宜兴市生态用地分类保护[J].生态学报,2017,37(11):3881-3891.
- [14] 蒙古军,王雅,王晓东,等.基于最小累积阻力模型的贵阳市景观生态安全格局构建[J].长江流域资源与环境,2016,25(7):1052-1061.
- [15] Knaapen J P, Scheffer M, Harms B. Estimating habitat isolation in landscape planning[J]. Landscape and Urban Planning, 1992,23(1):1-16.
- [16] 陈利顶,傅伯杰.基于源—汇生态过程的景观格局识别方法:景观空间负负荷对比指数[J].生态学报,2003,23(11):2406-2413.
- [17] 程敏,张丽云,崔丽娟,等.滨海湿地生态系统服务及其价值评估研究进展[J].生态学报,2016,36(23):7509-7518.
- [18] 张利平,夏军,胡志芳.中国水资源状况与水资源安全问题分析[J].长江流域资源与环境,2009,18(2):116-120.
- [19] 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.
- [20] 毕晓丽,葛剑平.基于 IGBP 土地覆盖类型的中国陆地生态系统服务功能价值评估[J].山地学报,2004,22(1):48-53.