

福州市滨海地区生态系统服务价值评估与动态模拟

王培俊 孙 煌 华宝龙 范胜龙

(福建农林大学公共管理学院, 福州 350002)

摘要: 为建设绿色福州新区,分析了福州滨海地区生态系统服务价值以及未来的动态演变趋势。利用 1988、1999、2008、2018 年 4 期 Landsat TM/OLI 数据,定量分析了福州市滨海地区生态系统服务价值变化,并利用 GeoSOS - FLUS 模型模拟了未来 LUCC 与生态系统服务价值的动态变化。结果表明,福州市滨海地区生态系统服务价值呈现先增长、后降低的趋势,总体价值在 190.439 ~ 202.419 亿元之间;林地的生态系统服务价值占比最高,其次是水体、草地、耕地、湿地、未利用地;未来 10 年,在一般发展情景下,福州市滨海地区生态系统服务总价值预计为 187.90 亿元,在绿色发展情景下为 195.11 亿元。在滨海地区规划建设绿色新区过程中,应将生态理念融入到空间格局,以保证开发建设过程中保留一定的城市绿地、湿地等生态服务用地,同时,需合理开发保护滨海区域的湿地。

关键词: 福州市; 滨海地区; 生态系统服务价值; 土地利用/覆盖变化; GeoSOS - FLUS

中图分类号: X171.1 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2020)03-0249-09 OSID: 

Evaluation and Dynamic Simulation of Ecosystem Service Value
in Coastal Area of Fuzhou City

WANG Peijun SUN Huang HUA Baolong FAN Shenglong

(School of Public Management, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China)

Abstract: LUCC is an important cause of global ecosystem change. With the global warming and increasing environmental problems, such as the melting of Arctic glaciers and so on, it is more and more realistic to predict the future status of ecosystem services based on changes in the status quo. As an important extension of construction of a new green district in Fuzhou, the coastal area is a new place for the future development of Fuzhou. According to the “Fuzhou New Area Overall Plan” issued by the National Development and Reform Commission, the ecological civilization pioneer zone is one of the important strategic orientations for the development of Fuzhou New Area. Fuzhou New Area will be built into a new green district. Therefore, based on the Landsat TM/OLI data of the fourth phase of the coastal area of Fuzhou City, the land use status data through ENVI manual visual interpretation was obtained. The LUCC was analyzed, and the value of ecosystem service in the coastal area of Fuzhou was evaluated through the value-equalization method of price revision in Fujian Province. Based on the driving factor of LUCC in Fuzhou, the GeoSOS - FLUS model was used. LUCC simulation and dynamic change of ecosystem service value were predicted. The results indicated that the value of ecosystem services in coastal areas of Fuzhou City was increased first and then decreased, and the overall value was between 19.043 9 billion RMB and 20.241 9 billion RMB. The value of ecosystem services of forest land was the highest, which was between 8.630 1 billion RMB and 10.719 4 billion RMB, followed by water land of 5.727 9 ~ 6.819 1 billion RMB, grassland of 1.477 2 ~ 3.958 4 billion RMB, farmland of 0.593 1 ~ 1.015 5 billion RMB, wet land and bare land of 0.000 1 ~ 0.428 5 billion RMB. The total value of ecosystem services in the coastal area of Fuzhou under the general development scenario was 18.790 billion RMB. Among them, the value of forest ecosystem services was the highest, reaching 10.377 billion RMB, followed by water land of 6.154 billion RMB, grassland of 1.590 billion RMB, farmland of 535 million RMB, and wetlands of 134 million RMB. The unused land was almost zero. The total value of ecosystem services in the coastal area of Fuzhou under the green development scenario was 19.511

billion RMB. Among them, the forestry ecosystem service value was the highest, reaching 10. 639 billion RMB, followed by the water land of 6. 374 billion RMB, grassland of 1. 601 billion RMB, farmland of 535 million RMB, wetland of 362 million RMB, and the unused land was almost zero. Therefore, in the process of planning and constructing a green new district in the coastal area, the ecological concept should be integrated into the spatial pattern to ensure that certain urban green spaces and other ecological service land reserved during the development and construction process; and the wetlands in the coastal area needed to be properly developed and protected.

Key words: Fuzhou City; coastal area; ecosystem service value; LUCC; GeoSOS – FLUS

0 引言

自 1995 年地球系统科学联盟国际地圈-生物圈计划(International Geosphere – Biosphere Programme, IGBP) 和全球环境变化中的人文领域计划(International Human Dimension Programme on Global Environmental Change, IHDP)提出土地利用/覆盖变化(Land use/cover change, LUCC)以来,LUCC 成为生态系统研究的热点^[1-3]。土地利用是人类根据土地的自然特点,按照一定的经济、社会目的,采取一系列生物、技术手段,对土地进行长期性或周期性的经营管理和治理改造;而土地覆盖是被自然营造物和人工建造物所覆盖的地表诸要素的综合体^[4]。土地利用和土地覆盖关系密切,人类对土地的影响会影响土地覆盖,土地的覆盖情况也会影响人类对土地の利用。近年来,研究者从土壤侵蚀^[5-7]、水文变化^[8]、景观格局^[9]、土地资源优化配置^[10]、生态环境和生态系统服务^[11-12]等方面开展研究,意识到土地利用/覆盖变化是导致全球生态系统变化的重要原因^[13-14]。生态系统服务是指生态系统与生态过程所形成及所维持的人类赖以生存的自然环境条件与效用^[15-16]。

生态系统服务价值最早由 COSTANZA 等^[17]提出,并从总体上核算了全球陆地系统和海洋系统的生态系统服务价值,其评估方法在中国直接运用存在缺陷^[18],文献[19-22]系统地对生态系统服务价值的理论、方法和体系展开了研究。目前对生态系统服务的研究主要集中在生态系统服务分类、服务价值以及服务价值评价方法上^[21]。生态系统服务价值主要侧重于单一的生态系统服务价值评估、历史变化研究及其对生态环境的影响。此外,土地利用/覆盖变化是导致全球生态系统变化的重要原因,基于土地利用/覆盖变化的生态系统服务价值的研究以及对生态系统服务价值的现有时空变化与预测研究较少。

作为福州市建设绿色新区的重要延伸地段,滨海地区是福州市未来发展的新兴之地,其发展潜力巨大。根据国家发展和改革委员会发布的《福州新

区总体方案》,生态文明先行区是福州新区发展的重要战略定位之一,福州新区将被建设成为绿色新区。随着福州市经济社会的快速发展,其城市建设用地扩张增长剧烈,城市热岛效应等环境问题日益凸显。本文基于福州市滨海地区 4 期的 Landsat TM/OLI 数据,分析其 LUCC,通过福建省价格修订的价值当量因子法,对福州市滨海地区 1988—2018 年生态系统服务价值进行评估,并根据福州市土地利用变化驱动因子,运用 GeoSOS – FLUS 模型进行 LUCC 模拟和生态系统服务价值动态变化预测,为福州市滨海地区建设成绿色新区提供生态理论和科学支撑。

1 研究方法

1.1 研究区域及数据

福州市滨海地区位于福州市东部沿海,跨罗源县、连江县、马尾区、长乐区、仓山区、福清市两县三区一市,地理位置 119° 3′ 44″ ~ 119° 59′ 4″ E, 25°17′9″ ~ 26°38′18″N(图 1)。研究区内主要为亚热带海洋性季风气候,历年平均降水量 1 419. 30 mm,年平均气温 21. 3℃。研究区地处滨海,地势较为平坦,为典型的沿海平原景观。福州市滨海地区区位优势、港口设施完善、文化底蕴深厚、生态环境良好。2015 年 8 月 30 日,国务院正式批复同意福州市滨海地区设立福州新区,根据国务院批复的初期规划范围涉及福州滨海地区两县三区一市共 26 个乡镇,拥有 7 个国家级、3 个省级和 2 个市级开发区。滨海地区作为福州市“东进南下、沿江向海”建设绿色新区战略目标的区域,与台湾省隔海相望,毗邻平潭综合实验区,未来发展前景广阔。

选取美国地质调查局(USGS, <https://earthexplorer.usgs.gov/>) 1988、1999、2008、2018 年 4 期的 Landsat5 TM/ Landsat8 OLI 影像,所选影像云层在 2% 以下。通过 ENVI 5.3 对 Landsat TM 影像几何校正、辐射定标、FLAASH 大气校正、裁剪,采用最大似然法人工交互监督分类解译得到福州市滨海地区 LUCC 矢量数据。遥感解译采用 Google Earth quick bird 分米级高分辨率影像作为对照参考,其中

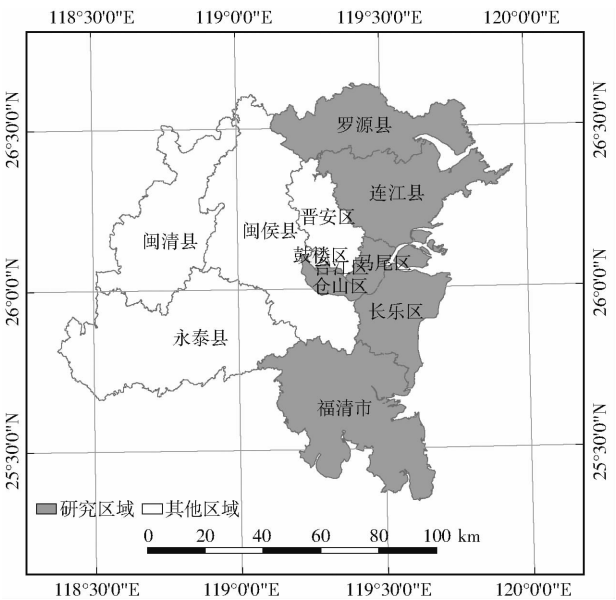


图 1 研究区示意图
Fig.1 Schematic of study area

2018、2008、1999、1988 年各年份数据分别选取 281、198、146、156 个训练样本。训练样本可分离度均大于 1.8,样本点纯净度较高,可分离度达到要求,计算 Kappa 系数均大于 0.85,一致性较好,分类总体精度均大于 90%,符合研究要求。本文所涉及的粮食产量、价格和播种面积数据来源于福建省统计年鉴、国家粮食和物资储备局,福州市城市中心和普通公路、高速公路、铁路数据来源于国家地球系统科学数据共享平台、中国科学院数据中心。

1.2 生态系统服务划分与价值评估

COSTANZA 等^[17]在 1997 年将生态系统类型划分陆地系统和海洋系统共计 16 个生态系统类型,其评估方法在中国直接运用存在缺陷^[18]。根据文献[18-20,22]的研究,结合福州市滨海地区特点,将福州市滨海地区生态系统划分为耕地(包含水田和旱地)、建设用地(包含商住用地和交通用地)、水体(包含河流和水库)、湿地(包含近海域、河流滩涂)、林地和草地。

生态系统服务类型划分标准不一,COSTANZA 把生态系统服务类型划分为气体调节、气候调节等 17 类,略显复杂。国内专家对此总结后将生态系统服务类型划分为:供给服务(含食物生产、水资源供给和原材料生产)、调节服务(含气体调节、气候调节、水文调节和净化环境)、支持服务(含土壤保持、维持养分循环和维持生物多样性)、文化服务(含提供美学景观)。本文采用国内专家的生态系统服务类型分类。

生态系统服务价值(ESV)评估采用 COSTANZA 提出的生态系统服务价值评估体系。福州市滨海地

区的生态系统服务价值计算式为

$$ESV = \sum A_k V_{ck} \tag{1}$$

式中 ESV ——研究区域生态系统服务价值总价值,元

A_k —— k 类生态系统 LUCC 面积, m^2

V_{ck} —— k 类生态系统服务价值单价,元/ m^2

1.3 生态系统服务价值当量

COSTANZA 试图用对生态系统服务的“偿付意愿”来估计全球生态系统服务价值,生态系统服务价值当量因子是某类型生态系统单位面积生态系统服务价值系数,文献[18]认为生态系统服务价值当量因子可以定义为 1 hm^2 全国平均产量的农田每年自然粮食产量的经济价值。单位面积农田自然粮食生产产量的经济价值,可利用研究区内主要粮食作物播种面积(福建省粮食作物主要有稻谷、小麦、甘薯、大豆)、主要粮食单产、主要粮食作物的全国平均价格(表 1)计算,计算式^[20]为

$$E = \frac{1}{7} \sum_{i=1}^n \frac{m_i p_i q_i}{M} \tag{2}$$

式中 E ——单位面积农田生态系统提供食物生产服务的经济价值,元/ hm^2

m_i —— i 种粮食作物的播种面积, hm^2

p_i —— i 种粮食作物 2018 年的全国平均价格,元/t

q_i —— i 种粮食作物单产,t/ hm^2

M ——粮食作物播种的总面积, hm^2

n ——粮食种类

根据式(2)得到福建省单位面积农田每年自然粮食产量的经济价值为 1 940.29 元/ hm^2 。

表 1 福建省主要农作物播种面积、粮食单产和全国平均单价

Tab.1 Sown area, grain yield per hectare and national average unit price of main crops in Fujian Province

作物类型	品种	播种面积/ hm ²	粮食产量/ 万 t	平均单价/ (元·t ⁻¹)
水稻	早稻	128 810	78.28	2 479
	中稻	252 060	158.79	2 512
	晚稻	299 480	152.83	2 512
大小麦	大麦	250	0.07	2 400
	小麦	210	0.06	2 400
甘薯	甘薯	90 650	50.97	2 000
马铃薯	马铃薯	45 440	18.64	2 400
豆类	大豆	28 840	7.74	3 488
	杂豆	7 020	2.10	3 488

采用 2015 年修订的符合中国等发展中国家实际的生态系统服务价值当量因子表^[18],根据福州市

滨海地区生态系统服务类型划分,制定了单位面积生态系统服务价值当量,如表 2 所示。单位面积生态系统服务价值当量计算式为

$$V_{ci}=e_iE$$

(3)

式中 V_{ci} —— i 类生态系统单位面积生态系统价值当量,元/hm²
 e_i —— i 类生态系统单位面积生态系统价值当量因子

表 2 单位面积生态系统服务价值当量

Tab.2 Equivalent of ecosystem services value per unit area

元/hm²

生态系统 分类	供给服务			调节服务				支持服务			
	食物生产	原料生产	水资源供给	气体调节	气候调节	净化环境	水文调节	土壤保持	维持养分循环	维持生物多样性	文化服务
耕地	2 638. 81	174. 63	−5 102. 98	2 153. 73	1 105. 97	329. 85	4 404. 48	19. 40	368. 66	407. 46	174. 63
林地	601. 49	1 377. 61	717. 91	4 559. 70	13 640. 29	3 861. 19	6 810. 45	5 549. 25	426. 87	5 044. 77	2 211. 94
草地	737. 31	1 086. 57	601. 49	3 822. 39	10 108. 95	3 337. 31	7 411. 94	4 656. 72	349. 25	4 229. 85	1 862. 69
湿地	989. 55	970. 15	5 025. 37	3 686. 57	6 985. 07	6 985. 07	47 013. 42	4 482. 09	349. 25	15 270. 15	9 177. 61
水体	1 552. 24	446. 27	16 085. 07	1 494. 03	4 443. 28	10 768. 65	198 376. 07	1 804. 48	135. 82	4 947. 76	3 667. 16
未利用地	0	0	0	38. 81	0	19. 40	58. 21	38. 81	0	38. 81	19. 40

1.4 敏感性分析

以生态系统服务价值为输入变量,以单位面积生态系统服务价值当量为输出变量,通过计算单位面积生态系统服务价值当量的敏感性指数(CS)^[23],确定生态系统服务价值在时间的变化过程中对于单位面积生态系统服务价值当量的依赖程度。CS 大于 1,表示富有弹性,CS 小于 1,表示缺乏弹性。敏感性指数计算式为

$$CS_i=\left|\frac{(ESV_m-ESV_n)V_{cni}}{(V_{cmi}-V_{cni})ESV_n}\right|$$

(4)

式中 CS_i —— i 类土地利用类型生态系统服务价值的敏感性指数

ESV_m ——调整前生态系统服务总价值
 ESV_n ——调整后生态系统服务总价值
 V_{cmi} ——调整前 i 类土地利用类型单位面积生态系统服务价值系数
 V_{cni} ——调整后 i 类土地利用类型单位面积生态系统服务价值系数

1.5 生态系统服务价值动态模拟

元胞自动机(Cellular automata, CA)自 20 世纪 40 年代由 WOLFRAM 提出以来^[24],已经发展成为一种时间、空间、状态都离散,空间上的相互作用及时间上的因果关系皆局部的网格动力学模型,CA 以其自身“自下而上”的模拟能力,强大的离散计算功能,被广泛应用于城市形态和土地利用变化的模拟中^[25-26]。为促进 CA 模型的模拟与优化能力,文献[27-28]在传统元胞自动机的基础上做了较大的改进,组织研发了 GeoSOS-FLUS 软件。FLUS 模型采用神经网络算法(ANN)从一期土地利用数据与包含人为活动与自然效应的多种驱动力因子获取

各类用地类型在研究范围内的适宜性概率。在土地变化模拟过程中,FLUS 模型提出一种基于轮盘赌选择的自适应惯性竞争机制,该机制能有效处理多种土地利用类型在自然作用与人类活动共同影响下发生相互转换时的不确定性与复杂性,使得 FLUS 模型具有较高的模拟精度并且能获得与现实土地利用分布相似的结果^[27-28]。由于影响研究区土地利用变化的驱动因子通常包括自然因素和人文因素,其中土地利用变化对福州市生态系统服务造成影响的主要驱动因子为人口数量和城市扩张^[29-30]。本文通过选取到研究区城市中心距离、高速公路距离、铁路距离、普通公路距离、DEM 和城市绿地 6 类可达性驱动因子,运用基于 GeoSOS-FLUS 模型的元胞自动机模拟功能,对福州市滨海地区的土地利用/覆盖变化进行模拟。

2 结果分析

2.1 福州市滨海地区 LUCC

通过 Landsat 影像解译获取的 LUCC 数据如图 2、3 和表 3 所示。福州市滨海地区以林地为主,1988—2018 年 30 年间,林地面积先增加后减少,总体上呈增长的趋势,共增长了 310.02 km²。建设用地面积占比从 3.39% 增长到 17.2%,2008—2018 年增加最为明显,增加了 311.60 km²。耕地面积呈逐年减少趋势,占比从 31.83% 减少到 18.59%,累计减少了 632.91 km²。湿地、草地面积先增加后减少,其中湿地面积总体增加了 14.22 km²,草地总体减少 321.38 km²。水体面积先减少后增加,总体上比较平稳,合计减少 31.99 km²。未利用地面积先增加后减少,总体上变化较为平稳,平均面积占比 3% 左右,合计增加 1.67 km²。

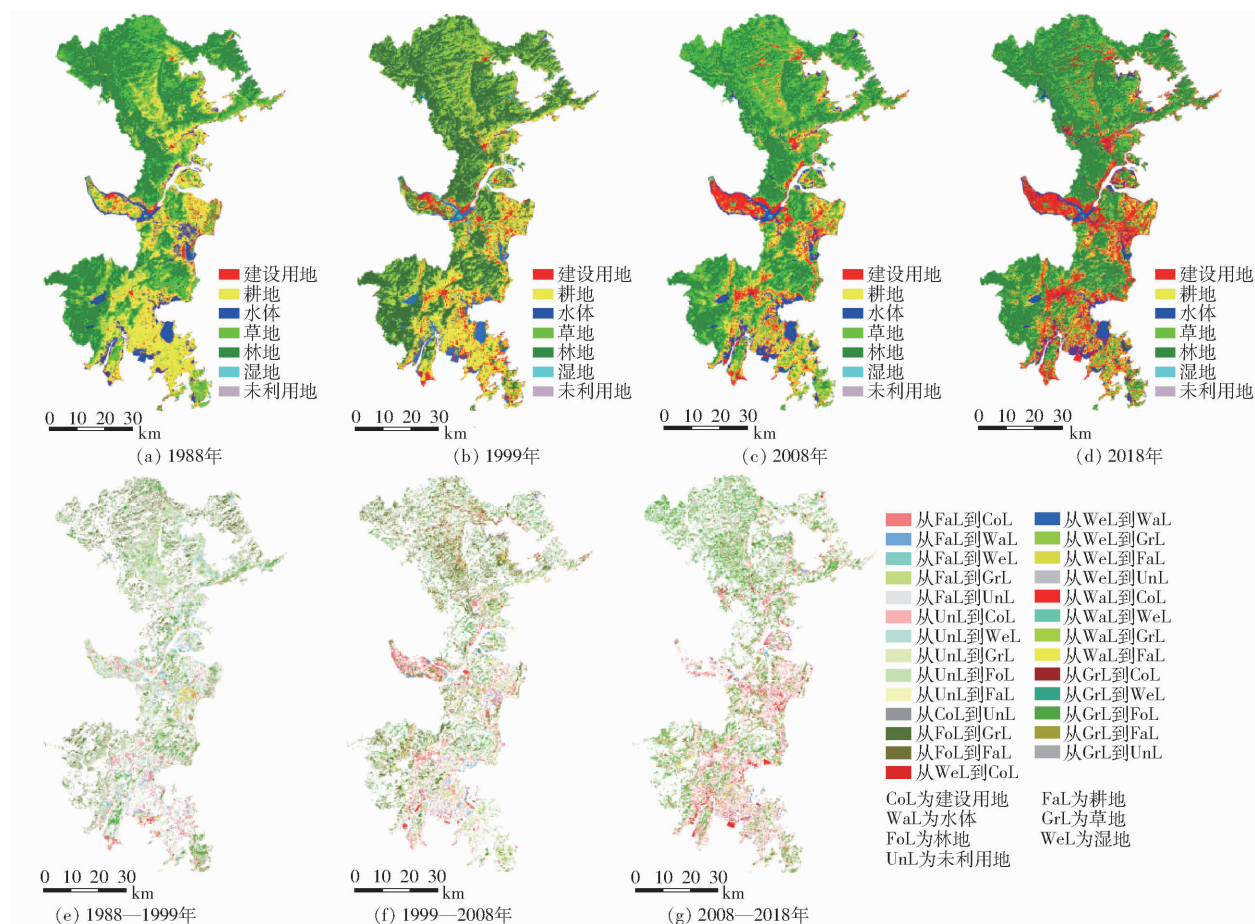


图 2 福州市滨海地区 Lucc 图

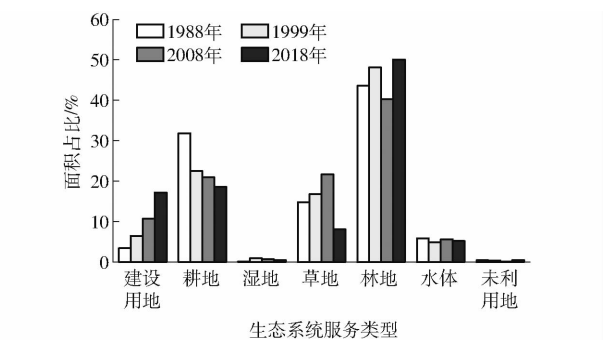


图 3 福州市滨海地区 LUCC 占比

2.2 福州市滨海地区生态系统服务价值评估

根据 LUCC 数据,计算福州市滨海地区生态系统服务价值,结果如表 4 和图 4 所示。福州市滨海地区生态系统服务价值出现先增长后降低的趋势,总体价值在 190.439 ~ 202.419 亿元。

表 4 和图 4 显示福州市滨海地区林地的生态系统服务价值占比最高,1988—2018 年占比均在 42% 以上,达到 86.301 ~ 107.194 亿元。水体的生态服务价值位居第二,30 年来占比在 30% 左右,达到 57.279 ~ 68.191 亿元。草地的生态系统服务价值

表 3 福州市滨海地区 LUCC 数据
Tab.3 LUCC in coastal area of Fuzhou

年份	土地利用类型						
	建设用地	耕地	湿地	草地	林地	水体	未利用地
1988	162.08	1 521.48	7.01	708.03	2 082.64	279.79	19.56
1999	308.66	1 075.18	42.45	801.18	2 300.53	235.02	17.58
2008	510.86	1 001.79	30.94	1 036.11	1 926.31	267.97	6.62
2018	822.46	888.57	21.23	386.65	2 392.66	247.80	21.23
1988—1999	146.58	−446.30	35.44	93.15	217.89	−44.77	−1.98
1999—2008	202.20	−73.39	−11.51	234.93	−374.22	32.95	−10.96
2008—2018	311.60	−113.22	−9.71	−649.46	466.35	−20.17	14.61
1988—2018	660.38	−632.91	14.22	−321.38	310.02	−31.99	1.67

变化较大,从 1988 年占比 13.5% 到 2018 年占比 7.8%,价值分别为 27.05、14.772 亿元。耕地的生态系统服务价值变化较小,30 年来占比在 3% ~ 5%,价值为 5.931 ~ 10.155 亿元。本研究区的湿

地、未利用地生态系统服务价值较小,占比 2.12% 以下,达 0.001 ~ 4.285 亿元。30 年来林地、湿地、未利用地的生态系统服务价值有所增加,耕地、水体、草地的生态系统服务价值都有减少。

表 4 福州市滨海地区生态系统服务价值

Tab.4 Ecosystem service values in coastal area of Fuzhou

亿元

年份	土地利用类型						总价值
	耕地	湿地	草地	林地	水体	未利用地	
1988	10.155	0.708	27.050	93.305	68.191	0.004	199.413
1999	7.176	4.285	30.608	103.067	57.279	0.004	202.419
2008	6.687	3.123	39.584	86.301	65.309	0.001	201.005
2018	5.931	2.143	14.772	107.194	60.394	0.005	190.439
1988—1999	-2.979	3.577	3.558	9.762	-10.912	0	
1999—2008	-0.489	-1.162	8.976	-16.766	8.030	-0.003	
2008—2018	-0.756	-0.980	-24.812	20.893	-4.915	0.004	
1988—2018	-4.224	1.435	-12.278	13.889	-7.797	0.001	

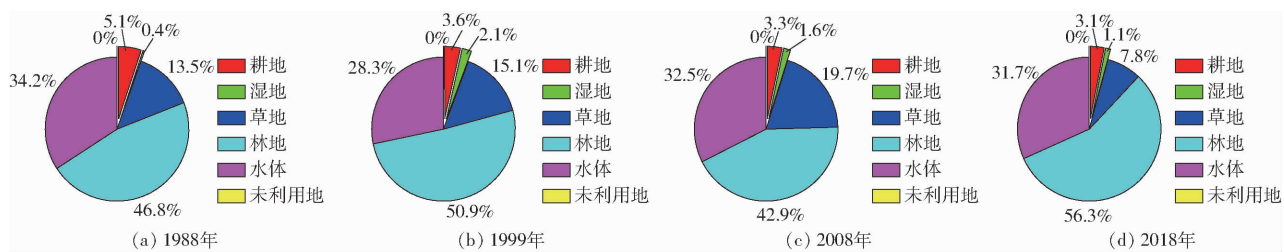


图 4 1988—2018 年福州市滨海地区生态系统服务价值占比情况

Fig.4 Proportion of ecosystem service values in coastal area of Fuzhou from 1988 to 2018

2.3 敏感性分析

CS 越小表明生态系统服务价值在时间的变化过程中对于单位面积生态系统服务价值当量缺乏弹性,可信度高。将福州市滨海地区 6 种生态系统服务类型的价值系数上下调整 50%,计算得到本研究区 1988、1999、2008、2018 年各类型的敏感性指数。结果表明(图 5),福州市滨海地区林地、耕地、草地、水体、湿地和未利用地生态系统服务类型的敏感性指数依次降低,并且均远远小于 1,近乎等于 0。可见,福州市滨海地区生态系统服务总价值对生态系统服务价值系数几乎没有弹性,表明通过生态服务价值系数计算的福州市滨海地区的生态系统服务价值是可信的。

2.4 生态系统服务价值变化模拟

为检验 GeoSOS-FLUS 模型对本文的适用性,用 2008 年 LUC 数据和驱动因子验证 2018 年土地利用情况,结果如表 5 和图 6 所示,模拟效果良好。考虑到 LUC 受到政策影响较大,根据自然演变与社会因素,本文设定两种发展情景:

(1)一般发展情景:运用研究区高程、高速公路、铁路和普通公路驱动因子作为一般发展情景的模拟要素。主要反映根据以往一般的发展模式,未

来研究区的 LUC 的变化,结果如表 5 和图 6 所示。按照以往一般的发展模式,LUC 中建设用地还将大幅增加至 968.08 km²,将会占用大量的生态服务用地包括耕地、湿地。通过模拟结果计算一般发展情景未来 10 年福州市滨海地区的生态系统服务总价值为 187.90 亿元。其中,林地的生态系统服务价值最高,达 103.77 亿元,其次是水体 61.54 亿元、草地 15.90 亿元、耕地 5.35 亿元、湿地 1.34 亿元,未利用地近乎为零。

(2)绿色发展情景:研究区城市绿地、城市中心驱动因子作为绿色发展情景的模拟要素。主要反映以城市人口集中高效集约用地,保护城市绿地的福州新区绿色发展模式,结果如表 5 和图 6 所示。如

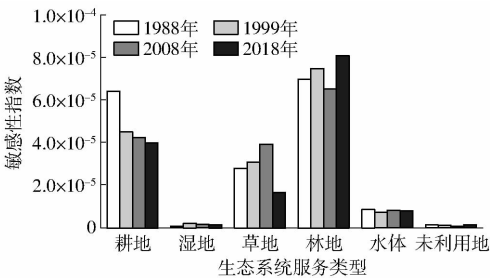


图 5 6 种生态系统服务类型敏感性指数

Fig.5 Sensitivity indexes of six types of ecosystem services

果以绿色发展模式,LUCC 尽可能减少建设用地增加,至 884.65 km²。在城市建设过程中,多将未利用地和城市空地植树造林,从而增加城市绿地面积。通过模拟结果计算绿色发展情景未来 10 年福州市

滨海地区的生态系统服务总价值为 195.11 亿元。其中,林地的生态系统服务价值最高,达 106.39 亿元,其次是水体 63.74 亿元、草地 16.01 亿元、耕地 5.35 亿元、湿地 3.62 亿元,未利用地近乎为零。

表 5 LUCC 与生态系统服务价值模拟结果
Tab.5 Simulation results of ecosystem service value and LUCC

发展情景	LUCC/km ²							总价值/ 亿元
	建设用地	耕地	湿地	草地	林地	水体	未利用地	
模拟 2018 年	874.43	833.58	22.30	425.26	2 361.56	256.90	6.57	
一般发展 2018 年	968.08	802.56	13.32	416.11	2 316.23	252.50	11.77	
绿色发展 2018 年	884.65	802.56	35.86	418.94	2 374.61	261.51	2.45	
一般发展 2028 年	0	5.35	1.34	15.90	103.77	61.54	0	187.90
绿色发展 2028 年	0	5.35	3.62	16.01	106.39	63.74	0	195.11

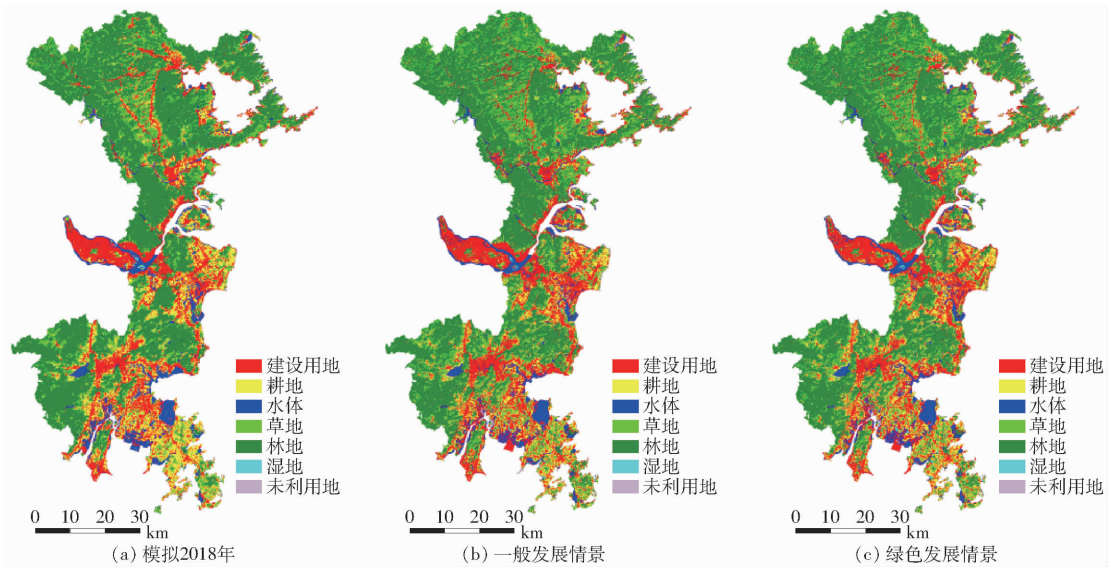


图 6 福州市滨海地区 LUCC 模拟图
Fig.6 Simulation maps of LUCC in coastal area of Fuzhou

3 讨论

尽管生态系统较难获得定量的结果,但本文参照国内外生态系统服务价值的计算方法,结果显示 LUCC 对福州市滨海地区生态系统的影响显而易见。人类社会对 LUCC 的影响是最为剧烈的,商住、交通建设用地的扩张大量改变了原来的土地利用类型,尤其是建设用地占用耕地。1988—2018 年的 30 年间,福州市滨海地区林地面积先增加后减少,其中 1999 年至 2008 年的近 10 年间,城市化是林地面积减少的重要原因^[31]。2010 年以后,随着全国林地保护利用规划纲要(2010—2020 年)的颁布,林地保护得到重视。耕地减少的同时,城镇建设用地不断扩大,这是福州市城市扩展大量占用耕地的重要体现^[32]。总体而言,LUCC 变化与生态系统服务价值变化息息相关^[30]。

目前生态系统服务价值评估的方法有市场替代

法、影子价格法、机会成本法和重置成本法等,运用较多的是基于 COSTANZA 研究改进的市场替代法——价值当量因子法^[16]。价值当量因子实质上是基于大量生态系统研究专家经验打分综合得到的当量系数,这些当量系数根据中国的实际情况得到了修正^[18,22],会比 COSTANZA 的研究更符合中国国情,同时对生态系统服务价值评估有更强的权威性。本文运用了价值当量因子法,并考虑福建省当地的实际情况做了修正,能够较好地预测福州市滨海地区未来生态系统服务价值的变化,但尽管如此也不能忽略价值当量因子法基于专家经验的不足。本文假设近年来随着全球气候的变化,生态系统服务价值变化应逐年递减,但实际测算的结果却是先增长后递减。主要原因一方面可能是 20 世纪 80 年代以来退耕还林,林地呈现增加的趋势,对生态系统服务价值贡献较高的林地增加对此有较大的影响。此外,2008 年以来建设用地增长较为迅猛,对生态系

统服务价值几乎没有贡献的建设用地面积增加导致整体的生态系统服务价值减少。

根据福州市滨海地区两种情景下的生态系统服务价值评估分析,在滨海地区规划建设福州绿色新区过程中,除强调开发建设的空间格局外,还应适当调整空间规划,将生态理念融入到空间格局,保证开发建设过程中,保留一定的城市绿地等生态服务用地^[33-34];同时,应合理开发、保护滨海区域的湿地。如此,才能落实生态理念,保持、提升未来福州市滨海地区生态系统服务价值。

4 结论

(1)在1988—2018年的30年间,福州市滨海地区LUCC变化较大。建设用地逐年增长,共增长了660.38 km²;耕地面积呈现逐年减少趋势,累计减少了632.91 km²;林地面积先增加、后减少,总体呈增长趋势,共增长了310.02 km²;湿地、草地面积先增加、后减少,其中湿地总体增加14.22 km²,草地总体减少321.38 km²;水体面积先减少、后增加,总体上比较平稳,合计减少31.99 km²;未利用地面积先增加、后减少,总体上变化较为平稳,合计增加1.67 km²。

(2)福州市滨海地区30年来生态系统服务价值呈现先增长、后降低的趋势,总体价值在190.439~202.419亿元之间。从6种土地利用类型来看,福州市滨海地区林地的生态系统服务价值占比最高,达到86.301~107.194亿元;水体的生态服务价值位居第二,达到57.279~68.191亿元;草地的生态系统服务价值变化较大,从1988年的27.05亿元减少到2018年的14.772亿元;耕地的生态系统服务价值变化较小,为5.931~10.155亿元;研究区的湿地、未利用地生态系统服务价值较小,为0.001~4.285亿元。30年来,林地、湿地、未利用地的生态系统服务价值有所增加,耕地、水体、草地的生态系统服务价值都有所减少。

(3)基于GeoSOS-FLUS模型,分一般发展情景和绿色发展情景预测了2028年福州市滨海地区的土地利用情况。在一般发展情景下,2028年福州市滨海地区生态系统服务总价值预计为187.90亿元,在绿色发展情景下,预计为195.11亿元。

(4)在滨海地区规划建设福州绿色新区过程中,应将生态理念融入到空间格局,保留一定的城市绿地等生态服务用地,同时,应合理开发、保护滨海区域的湿地。

参 考 文 献

[1] KATARZYNA C, TOMASZ N, ANITA K, et al. Land use and land cover changes in post-socialist countries: some observations from Hungary and Poland[J]. Land Use Policy, 2018, 78(9): 1-18.

[2] FAN Yong, YU Guangming, HE Zongyi, et al. Entropies of the Chinese land use/cover change from 1990 to 2010 at a county level[J]. Entropy, 2017, 19(2): 51-62.

[3] 陈佑启, 杨鹏. 国际上土地利用/土地覆盖变化研究的新进展[J]. 经济地理, 2001, 21(1): 95-100.

CHEN Youqi, YANG Peng. Recent progresses of international study on land use and land cover change (LUCC)[J]. Economic Geography, 2001, 21(1): 95-100. (in Chinese)

[4] 李小建. 经济地理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 397.

[5] 张鲁, 周跃, 张丽彤. 国内外土地利用与土壤侵蚀关系的研究现状与展望[J]. 水土保持研究, 2008, 15(3): 43-48.

ZHANG Lu, ZHOU Yue, ZHANG Litong. Recent advances and future prospects on relationship between LUCC and soil erosion [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2008, 15(3): 43-48. (in Chinese)

[6] 王文娟, 张树文, 李颖, 等. 近50年来三江平原分区域土地利用/覆被变化及土壤侵蚀分析[J]. 中国科学院大学学报, 2008, 25(4): 493-502.

WANG Wenjuan, ZHANG Shuwen, LI Ying, et al. Analysis of land use/cover change and soil erosion in Sanjiang plain during the past 50 years[J]. Journal of University of the Chinese Academy of Sciences, 2008, 25(4): 493-502. (in Chinese)

[7] 吴秀芹, 蔡运龙. 土地利用/土地覆盖变化与土壤侵蚀关系研究进展[J]. 地理科学进展, 2003, 22(6): 576-584.

WU Xiuqin, CAI Yunlong. Advances of researches on relationship between LUCC and soil erosion[J]. Progress in Geography, 2003, 22(6): 576-584. (in Chinese)

[8] 李丽娟, 姜德娟, 李九一, 等. 土地利用/覆被变化的水文效应研究进展[J]. 自然资源学报, 2007, 22(2): 211-224.

LI Lijuan, JIANG Dejuan, LI Jiuyi, et al. Advances in hydrological response to land use/land cover change[J]. Journal of Natural Resources, 2007, 22(2): 211-224. (in Chinese)

[9] 张飞, 丁建丽, 王伯超, 等. 干旱区绿洲土地利用/覆被及景观格局变化特征——以新疆精河县为例[J]. 生态学报, 2009, 29(3): 1251-1263.

ZHANG Fei, DING Jianli, WANG Bochao, et al. The change of land use/cover and characteristics of landscape pattern in arid areas oasis: a case study of Jinghe County, Xinjiang Province[J]. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(3): 1251-1263. (in Chinese)

[10] 胡业翠, 刘彦随, 邓旭升. 土地利用/覆被变化与土地资源优化配置的相关分析[J]. 地理科学进展, 2004, 23(2): 51-57.

HU Yecui, LIU Yansui, DENG Xusheng. Relativity analysis on land use/cover change and optimal allocation of land resources [J]. Progress in Geography, 2004, 23(2): 51-57. (in Chinese)

[11] 贺秋华. 江苏滨海土地利用/覆盖变化及其生态环境效应研究[D]. 南京: 南京师范大学, 2011.

HE Qiuhua. Coastal land use/land cover change and its ecological environment effect research in Jiangsu [D]. Nanjing: Nanjing Normal University, 2011. (in Chinese)

- [12] 石龙宇, 崔胜辉, 尹锴, 等. 厦门市土地利用/覆被变化对生态系统服务的影响[J]. 地理学报, 2010, 65(6): 708–714.
SHI Longyu, CUI Shenghui, YIN Kai, et al. The impact of land use/cover change on ecosystem service in Xiamen[J]. Acta Geographica Sinica, 2010, 65(6): 708–714. (in Chinese)
- [13] 摆万奇, 赵士洞. 土地利用和土地覆盖变化研究模型综述[J]. 自然资源学报, 1997, 12(2): 74–80.
BAI Wanqi, ZHAO Shidong. A comprehensive description of the models of land use and land cover change study[J]. Journal of Natural Resources, 1997, 12(2): 74–80. (in Chinese)
- [14] VERBURG P H, STEEG J V D, VELDKAMP A, et al. From land cover change to land function dynamics: a major challenge to improve land characterization[J]. Journal of Environmental Management, 2009, 90(3): 1327–1335.
- [15] ALEXANDER H. Nature's services: societal dependence on natural ecosystems[J]. Pacific Conservation Biology, 1997, 6(2): 220–221.
- [16] 谢高地, 鲁春霞, 成升魁. 全球生态系统服务价值评估研究进展[J]. 资源科学, 2001, 23(6): 2–9.
XIE Gaodi, LU Chunxia, CHENG Shengkui. Progress in evaluating the global ecosystem services[J]. Resources Science, 2001, 23(6): 2–9. (in Chinese)
- [17] COSTANZA R, D'ARCE R, DE GROOT R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. World Environment, 1997, 387(6630): 253–260.
- [18] 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.
XIE Gaodi, ZHANG Caixia, ZHANG Changshun, et al. The value of ecosystem services in China[J]. Resources Science, 2015, 37(9): 1740–1746. (in Chinese)
- [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.
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. (in Chinese)
- [20] 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.
XIAO Yu, XIE Gaodi, AN Kai. Economic value of ecosystem services in Mangcuo Lake drainage basin[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2003, 14(5): 676–680. (in Chinese)
- [21] 谢高地, 肖玉, 鲁春霞. 生态系统服务研究: 进展、局限和基本范式[J]. 植物生态学报, 2006, 30(2): 191–199.
XIE Gaodi, XIAO Yu, LU Chunxia. Study on ecosystem services: progress, limitation and basic paradigm[J]. Journal of Plant Ecology, 2006, 30(2): 191–199. (in Chinese)
- [22] 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. (in Chinese)
- [23] KREUTER U P, HARRIS H G, MATLOCK M D, et al. Change in ecosystem service values in the San Antonio area, Texas [J]. Ecological Economics, 2001, 39(3): 333–346.
- [24] 刘小平, 黎夏, 叶嘉安, 等. 利用蚁群智能挖掘地理元胞自动机的转换规则[J]. 中国科学: D 辑, 2007, 37(6): 824–834.
LIU Xiaoping, LI Xia, YE Jia'an, et al. Discovery of transition rules for geographical cellular automata by using ant colony optimization[J]. Science in China: Series D, 2007, 37(6): 824–834. (in Chinese)
- [25] 张彪, 史芸婷, 李庆旭, 等. 北京湿地生态系统重要服务功能及其价值评估[J]. 自然资源学报, 2017, 32(8): 1311–1324.
ZHANG Biao, SHI Yunting, LI Qingxu, et al. The key ecological services and their values of wetland ecosystems in Beijing [J]. Journal of Natural Resources, 2017, 32(8): 1311–1324. (in Chinese)
- [26] 孙玮健, 张荣群, 艾东, 等. 基于元胞自动机模型的土地利用情景模拟与驱动力分析[J/OL]. 农业机械学报, 2017, 48(增刊): 254–261.
SUN Weijian, ZHANG Rongqun, AI Dong, et al. Driving force analysis and scenarios simulation of land use based on cell automata model[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(Supp.): 254–261. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=2017s039&flag=1. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2017.S0.039. (in Chinese)
- [27] LIU Xiaoping, LIANG Xun, LI Xia, et al. A future land use simulation model (FLUS) for simulating multiple land use scenarios by coupling human and natural effects[J]. Landscape and Urban Planning, 2017, 168: 94–116.
- [28] LIANG Xun, LIU Xiaoping, LI Xia, 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.
- [29] ZOU Jinlang, WANG Jinzheng, WANG Peng, et al. Response of ecosystem service value based on land use changes and analysis of its driving factors in typical hilly region with red soil[J]. Agricultural Science & Technology, 2010, 11(Supp. 2): 150–154.
- [30] 姚成胜, 朱鹤健, 吕晞, 等. 土地利用变化的社会经济驱动因子对福建生态系统服务价值的影响[J]. 自然资源学报, 2009, 24(2): 225–233.
YAO Chengsheng, ZHU Hejian, LÜ Xi, et al. The influence of socioeconomic drivers of land use change on the value of Fujian ecosystem services[J]. Journal of Natural Resources, 2009, 24(2): 225–233. (in Chinese)
- [31] LIN Yuying, QIU Rongzu, YAO Jixue, et al. The effects of urbanization on China's forest loss from 2000 to 2012: evidence from a panel analysis[J]. Journal of Cleaner Production, 2019, 214(9): 270–278.
- [32] 费新勇, 陈松林. 近二十年福州市建设用地扩展的时空动态分析[J]. 云南地理环境研究, 2009, 21(6): 40–45.
FEI Xinyong, CHEN Songlin. A spatiotemporal dynamics analysis of the constructive land expanding in Fuzhou City during the last 20 years[J]. Yunnan Geography Environment Research, 2009, 21(6): 40–45. (in Chinese)
- [33] 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. (in Chinese)
- [34] 张天海, 田野, 徐舒, 等. 滨海城市土地利用格局演变及对生态系统服务价值的影响[J]. 生态学报, 2018, 38(21): 7572–7581.
ZHANG Tianhai, TIAN Ye, XU Shu, et al. The evolvement of land use patterns in coastal cities and its influence on ecosystem service values[J]. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(21): 7572–7581. (in Chinese)