

文章编号: 1674-7054(2023)03-0320-09



海口城市边缘区的土地生态服务价值

李微, 韩姝尧, 王菲, 周鹏

(海南大学 林学院, 海口 570028)

摘要: 为合理规划海口市空间布局, 以海口城市边缘区为研究区, 基于当量因子法估算研究区在 2005、2009、2015 和 2020 年的生态系统服务价值(ESV)及其变化; 借助灰色线性规划模型, 以 ESV 最大化为目标优化生态用地, 探讨优化前后生态用地和 ESV 变化。结果表明: 2005 年来, 建设用地面积逐年增加; 耕地和湿地转移变化大。总 ESV 先增后减, 增量为 0.21%, 林地 ESV 最高, 单项水文调节 ESV 的值最高; 空间上, 研究区 ESV 空间分异界限明显, 分布逐渐破碎化。优化后, 总 ESV 值增加了 1.73%, 建设用地、湿地增加, 未利用地减少; 湿地 ESV 增长最多, 永久基本农田得到了保护, 满足城市可持续发展需求。

关键词: 生态系统服务价值; 生态用地; 灰色线性规划; 国土空间规划; 可持续发展

中图分类号: X 171.1 **文献标志码:** A

引用格式: 李微, 韩姝尧, 王菲, 等. 海口城市边缘区的土地生态服务价值 [J]. 热带生物学报, 2023, 14(3): 320-328. DOI: [10.15886/j.cnki.rdswwb.2023.03.009](https://doi.org/10.15886/j.cnki.rdswwb.2023.03.009)

在生态文明建设背景下, 城市发展需要科学考虑区域生态系统安全及生态系统服务功能完整性^[1]。城市边缘区是指在土地利用、社会经济、人口等方面同时受到市区和乡村影响, 经济发展不平衡、结构复杂化的城乡间带状区域^[2]。该区域土地利用活跃多样, 供需矛盾集中, 是城市发展的前沿地带。现阶段, 我国城市边缘区的研究以城乡规划为主, 缺乏生态保护和可持续发展研究^[3]。十九大报告指出“人与自然是生命共同体”, 城市生态用地保护和可持续发展逐渐成为探究热点。

海南省是全面深化改革开放试验区和国家生态文明试验区的双重试点省份, 其省会海口市面临协调区域经济发展和生态建设的任务艰巨, 海口城市边缘区更是成为海口市土地供需矛盾的集中点。目前, 关于海口市生态用地的研究集中在时空变化^[4-6]和格局优化两方面^[7-9], 其中生态用地格局优化多基于单一时相遥感影像, 以最小耗费距离模型构建生态安全格局。如余宇晨等^[7]采用 2019 年遥感影像, 以最小耗费距离模型和克里

格差值法分析了海口市空间格局优化途径; 陆禹等^[8]采用拼接后的海口市秀英区遥感影像, 以最小耗费距离模型和粒度反推法探讨海口市秀英区生态格局的优化措施; 琚青青等^[9]基于 2017 年海口市遥感影像, 以最小耗费距离模型构建海口市边缘区生态安全格局。基于单一时相遥感影像和以生态优化为单一结果导向的城市生态用地研究存在一刀切问题, 缺乏考虑城市生态用地时空演变规律和土地政策对城市边缘区空间形态的关键影响作用^[10]。生态用地优化的研究方法多样, 其中灰色线性规划模型^[11]更能克服生态环境系统中存在着的很多不确定的、模糊因素, 考虑到生态用地时空演变规律和土地政策等多种影响因素, 更适用于目前处于政府引导阶段^[3]的城市边缘区的国土空间规划研究。现阶段, 关于 ESV 的研究多侧重于大尺度区域下的 ESV 时空变化方面^[12], 而通过对城市边缘区的生态用地优化提高 ESV 的研究较少^[3, 11-12]。因此, 研究处于土地政策影响下海口城市边缘区生态用地和生态系统服务

收稿日期: 2021-05-29

修回日期: 2022-11-23

基金项目: 海南省自然科学基金青年基金 (319QN162)

第一作者: 李微 (1990-), 女, 硕士, 工程师. 研究方向: 景观生态规划. E-mail: 1255178213@qq.com

通信作者: 周鹏 (1985-), 男, 博士, 副教授. 研究方向: 景观生态规划. E-mail: zp85611@163.com

价值的变化及优化对海口市可持续发展具有重要指导意义。

由于城市边缘区具有的过渡性、模糊性、动态性和复杂性等特征^[13],城市边缘区的界定无统一标准,遥感影像和模型评价法被广泛应用于城市边缘区范围界定当中^[3,13-14]。目前,我国城镇化处于稳定快速发展阶段,城市空间不断扩张,城市边缘区范围具明显时效性,时间越久远,范围越小,市区特性越明显,研究价值越低。据青青等^[14]以2017年海口市遥感影像为基础,选用不透水面指数构建模型,结合最大熵阈值法界定海口市城市边缘区,范围合理,边缘区特征明显。

鉴于此,本研究以2017年海口城市边缘区^[14]为研究区,以2005、2009、2015和2020年遥感影像为数据源,以海口城市边缘区生态用地时空演变规律、土地政策等因素为约束条件,构建灰色线性规划模型,计算ESV最大值,确定最优解下

的生态用地数量,探讨海口城市边缘区的生态用地优化,探索海口城市边缘区的保护与开发之路,以为海口市可持续发展和空间规划提供理论参考。

1 研究区概况

本研究基于数据的可获取性,以2017年海口城市边缘区^[14]为研究区(图1)。研究区位于 $N19^{\circ}31' \sim 20^{\circ}04'$, $E110^{\circ}07' \sim 110^{\circ}42'$,热带海洋气候,以平原为主,总面积66 030 hm^2 。区内水资源丰富,物种多样^[15],生态敏感度高,有南渡江、美舍河和五源河流经境内,含玉龙泉湿地公园、五源河国家湿地公园等6个湿地公园,同时,江东新区自贸港试验区和国家高新技术产业开发区坐落于此。该区域是未来海口市国土空间规划的重点区域,因此开展基于ESV最大化下的海口城市边缘区生态用地优化研究尤为重要。



图1 海口城市边缘区范围示意图(来源: www.haikou.gov.cn)

2 研究方法

2.1 数据来源与处理 (1)遥感数据。本研究采用研究区空间分辨率为30 m的2期Landsat5 ETM遥感影像(2005、2009)和2期Landsat8 TM遥感影像(2015、2020)为数据源;运用ENVI5.3软件对影像进行辐射校正、大气校正、裁剪等预处理。(2)生态用地分类。生态用地指以保护区域生态为目标,除人工硬化面外可提供生态系统服务的土地^[16],其划分主要有土地覆被类型、土地利用程度和二者结合三种角度^[17],如张骞等^[17]从土地利用

角度将重庆市用地分为林地、农地、水体、草地和未利用地5类生态用地和建设用地。本研究基于研究区土地利用特点和《土地利用现状系统 GB/T 21010—2017》,参照相关学者的研究^[16-18],对遥感影像进行最大似然法监督分类,将研究区用地划分为林地、草地、耕地、水域、未利用地、湿地和建设用地7类,得到4期土地利用类型图(图2),其中林地、草地、耕地、水域、未利用地、湿地为生态用地。基于感兴趣区(ROI)对分类结果评价,卡帕系数达0.9以上,数据精度评价为优。(3)粮

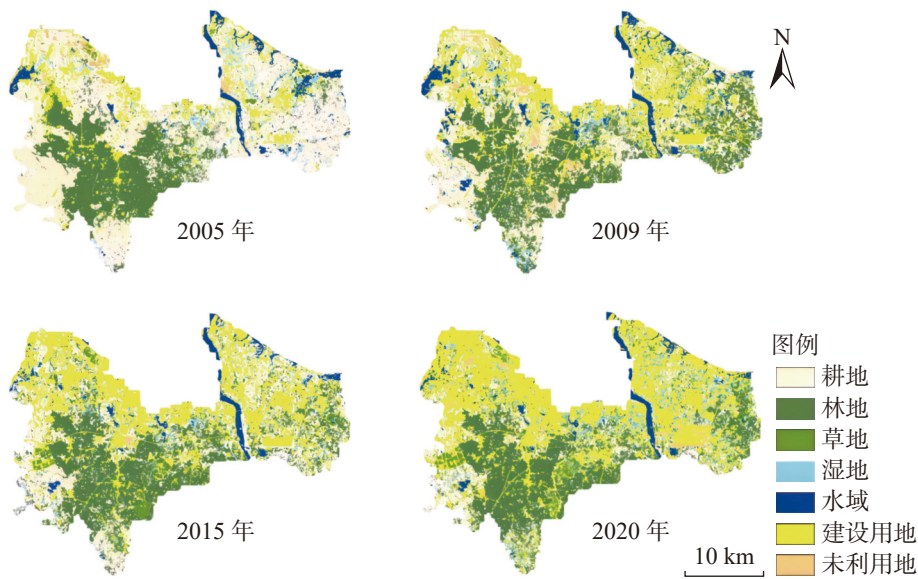


图2 海口城市边缘区土地利用类型分布图

食数据和社会经济数据等。粮食数据和社会经济数据来源于2006—2019年的《海口市统计年鉴》和《中国统计年鉴》，永久基本农田数据来源于《海口市总体规划(空间类2015—2030)》，其他相关数据来源于政府网站公开信息。

2.2 生态系统服务价值评估 近年来关于ESV的研究众多,其中谢高地等^[19]在Costanza等^[20]研究基础上构建的当量因子法,以货币形式量化了生态系统服务功能,是常用的ESV评估技术之一^[4,12,21]。

本研究以谢高地^[21]构建的全国单位面积生态系统服务价值当量表为依据,参照喻露露等^[4]对海

口市生物量因子调整系数的研究,确定研究区农田生态系统^[22]和林地生态系统生物量因子调整系数^[23]分别为0.72和3.03,进而确定了研究区单位面积生态系服务价值当量(表1,2)。以2005—2018年海口市单位面积粮食产量与全国单位面积粮食产量的比值作为逐年修订系数^[24],计算出1个标准当量因子为2617.89元·hm²。根据修正后的标准当量因子和各生态系统面积计算出研究区ESV,其中建设用地赋值0。

2.3 灰色线性规划模型目标函数的建立 灰色线性规划模型适用于系统动态变化随机、指示数据不确定的情况,可实现在有限资源的情况下,取

表1 海口城市边缘区单位面积生态系统服务价值当量

一级类型	二级类型	耕地	林地	草地	水域	湿地	建设用地	未利用地
供给服务	食物生产	0.80	0.77	0.23	0.80	0.51	0.00	0.01
	原材料生产	0.18	1.76	0.34	0.23	0.50	0.00	0.03
	水资源供给	-0.94	0.91	0.19	8.29	2.59	0.00	0.02
调节服务	气体调节	0.64	5.78	1.21	0.77	1.90	0.00	0.11
	气候调价	0.33	17.29	3.19	2.29	3.60	0.00	0.10
	净化环境	0.10	5.07	1.05	5.55	3.60	0.00	0.31
	水文调节	1.08	11.32	2.34	102.24	24.23	0.00	0.21
支持服务	土壤保持	0.37	7.04	1.47	0.93	2.31	0.00	0.13
	维持养分循环	0.11	0.54	0.11	0.07	0.18	0.00	0.01
文化服务	生物多样性	0.12	6.41	1.34	2.55	7.87	0.00	0.12
	美学景观	0.05	2.81	0.59	1.89	4.73	0.00	0.05
合计		2.84	59.68	12.06	125.61	52.02	0.00	1.10

表 2 海口城市边缘区生态系统服务价值的计算公式

公式含义	公式内容	变量	变量含义
海口城市边缘区 1 个标准当因子价值量计算公式	$D' = D \times \frac{A'}{A}$	D'	海口城市边缘区 1 个标准当因子的 ESV 量/(元·hm ⁻²)
		D	全国 1 个标准当因子的 ESV 量/(元·hm ⁻²), 即 3 406.5 元·hm ⁻²
		A'	海口市单位面积粮食产量
		A	全国单位面积粮食产量
海口城市边缘区生态系统服务价值计算公式	$ESV = \sum_{i=1}^n A_i \times VC_i$	ESV	研究区生态系统服务价值
		A_i	第 i 类生态用地的面积/hm ²
海口城市边缘区单项生态服务功能价值计算公式	$ESV_f = \sum_{i=1}^n A_i \times VC_{fi}$	ESV_f	第 f 项生态服务功能的生态系统服务价值
		VC_{fi}	单位面积第 i 类生态用地的第 f 项生态系统服务功能价值
海口城市边缘区生态用地的生态服务价值计算公式	$VC_i = \sum_{f=1}^k E_a \times EC_f$	EC_f	某类生态用地第 f 项生态系统服务的价值当量(表 1)
		E_a	1 个标准当量生态系统服务价值, 即 2 617.89 元·hm ⁻²

得最大效益。研究区深受城市发展和土地政策的影响, 土地利用随机易变且具有不确定性^[25]。因此, 本研究依据研究区 2005、2009、2015 和 2020 年生态用地数据(图 3)和相关形势政策等, 以 2005 年为基础年, 2025 年为目标年, 构建 ESV 最大化下的灰色线性规划模型目标函数, 即以 ESV 最大化时的生态用地数据作为研究生态用地最优化结果。对应函数为:

$$\begin{aligned} \text{Max } f(x) = & 7\ 445.29 \times x_1 + 156\ 244.95 \times x_2 + \\ & 31\ 571.82 \times x_3 + 328\ 833.82 \times x_4 + \\ & 136\ 182.91 \times x_5 + 0 \times x_6 + 2\ 879.68 \times x_7 \end{aligned}$$

式中, $f(x)$ 为研究区 ESV, 决策变量 x_1 、 x_2 、 x_3 、 x_4 、 x_5 、 x_6 、 x_7 分别对应为研究区耕地、林地、草地、水域、湿地、建设用地和未利用地的面积。

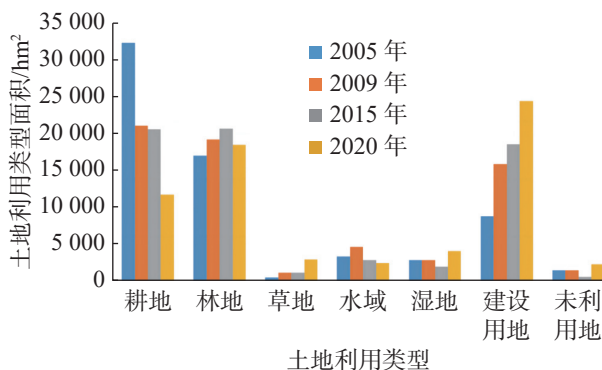


图 3 研究区土地利用类型变化图

结合研究区土地利用情况、社会发展需求和相关政策等, 对决策变量设置以下约束条件:

(1) 土地总面积: 研究区总面积不变, 即 $S =$

66 030 hm²。

(2) 耕地: 优化后耕地面积等于永久基本农田面积。根据《海口市总体规划(空间类 2015—2030)》, 得到研究区永久基本农田面积, 即 $x_1 \geq 9\ 848.09$ hm²。

(3) 林地: 林地对于生态环境至关重要, 优化后林地不宜少于现有规模, 即 $x_2 \geq 18\ 417.87$ hm²。

(4) 草地: 根据调研显示, 2005—2020 年间研究区增加草地主要为人工草地, 因此, 优化后草地以 2005 年面积为标准, 即 $x_3 = 494.64$ hm²。

(5) 水域: 考虑城市用地分配需要, 优化后水域面积宜在 2005—2020 年 4 期水域面积范围内。2009 年海南省降水量比常年值偏多约 30%, 水域大幅度增多, 不具参考性, 即 $2\ 377.26 \leq x_4 \leq 3\ 273.30$ hm²。

(6) 湿地: 根据《海口市湿地保护修复总体规划(2017—2025 年)》, 到 2025 年海口市湿地面积增加 2 825 hm²。按面积等比例分配湿地面积, 得到 2025 年研究区湿地面积, 即 $x_5 = 4\ 853.52$ hm²。

(7) 建设用地: 基于 4 期建设用地面积数据和灰色预测模型 GM(1,1)^[26], 对 2025 年边缘区建设用地面积进行预测, $x_6 = 29\ 875.89$ hm²。

(8) 未利用地: 4 期生态用地数据转移矩阵显示, 研究区未转移的未利用地面积为 176.94 hm², 推断到 2025 年应至少保留相同规模, 即 $x_7 \geq 176.94$ hm²。

3 结果与分析

3.1 海口城市边缘区生态用地变化分析 分析土地利用数据(图3)可知:研究区土地利用主体为耕地、林地生态用地和建设用地;建设用地和耕地是土地转移变化的重点;建设用地逐年增加,2009—2015年间增幅最大;耕地持续减少,但2009—2015年间耕地面积近乎不变;林地面积先增后减,2015—2020年间降幅明显;2009年水域面积暂增;湿地先减后增,2015—2020年间出现爆发式增长,原有湿地保留占比低;其他生态用地变化小。

3.2 研究区 ESV 变化

3.2.1 ESV 时间变化 计算4期研究区各生态用地ESV,结果如图4所示:总ESV先增后降,共增加 9.30×10^6 元;林地、草地、湿地和未利用地ESV增加,耕地和水域ESV降低;林地ESV一直是研究区ESV的主体,草地、耕地和未利用地ESV占比较低。

计算4期研究区各生态用地中单项ESV,结果如图5所示:单项ESV中,调节服务ESV是总ESV的结构主体,占比达70%以上,水文调节ESV贡献率最大;水资源供给ESV变化最快,变化率达83.74%。

3.2.2 ESV 空间变化 利用GIS软件将研究区ESV值从低到高划分为3个等级,得到时空分布图(图6),第一等级为0~30 949.07的低值区,由建设用地、耕地和未利用地ESV构成;第二等级为30 949.07~156 034.87元的中值区,由湿地和

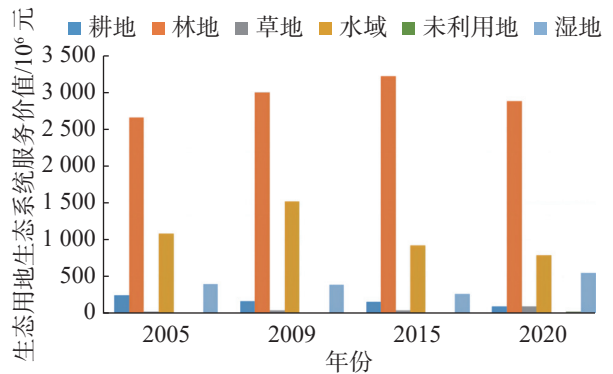


图4 海口城市边缘区各类生态用地生态系统服务价值变化

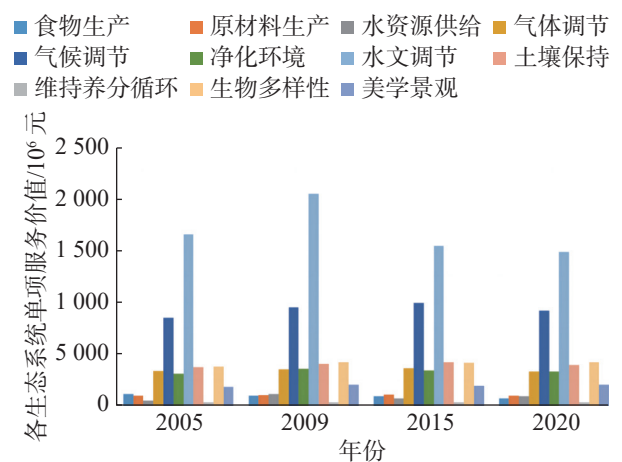


图5 海口城市边缘区各生态系统单项服务价值变化

草地ESV构成;第三等级为156 034.87~328 83元的高值区,由林地和水域ESV构成。从空间上看,ESV分布分异界限较明显,高值区呈块、线状分布,中值呈点状散布,低值区呈点块状集聚分布;最高ESV值主要集中在西北部荣山河、中部

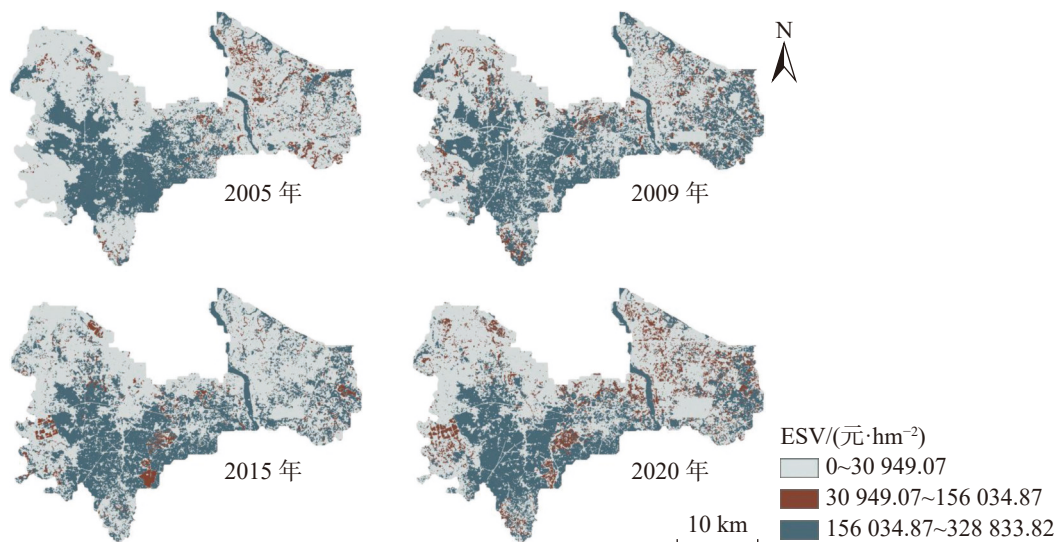


图6 研究区ESV变化空间分布图

南渡江、龙泉镇和龙桥镇大部分区域。从时间阶段性来看,各等级ESV分异界限逐渐模糊,空间分布由块状逐渐转向点状散布,高ESV值区逐渐破碎化。

3.3 优化前后ESV变化 通过Lingo8.0软件,对灰色线性规划模型求解,得到2025年研究区ESV最大化下的不同生态用地数据(表3)和优化前后ESV变化数据(图7)。结果表明,与2005年相比,优化后:(1)研究区ESV为 $4\,457.18 \times 10^6$ 元,

增长1.73%。(2)建设用地、林地是土地利用的主体,未利用地面积最少。(3)建设用地、湿地、林地面积依次增加,耕地、未利用地、水域、面积依次减少,未利用地减幅最大,草地面积近无变化。(4)林地、水域和湿地ESV是主体;湿地对ESV增长贡献最高。(5)单项水文调节、食物生产ESV明显减少,单项水资源供给、气候调节、生物多样性ESV显著增加。

表3 优化前后海口市边缘区土地利用及生态价值变化

变量		x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	合计
土地利用类型		耕地	林地	草地	水域	湿地	建设用地	未利用地	
2005年现状面积	现状面积/hm ²	32278.14	16981.38	494.64	3281.31	2856.96	8743.77	1410.12	66030.00
	占比/%	48.88	25.72	0.75	4.97	4.33	13.24	2.14	100.00
2025年预测面积	预测面积/hm ²	9848.09	18417.87	494.64	2633.05	4583.52	29875.89	176.94	66030.00
	占比/%	14.91	27.89	0.75	3.99	6.94	45.25	0.27	100.00
2005年生态服务价值	价值/10 ⁶ 元	240.32	2653.25	15.62	1079.01	389.07	0	4.06	4381.33
	占比/%	5.49	60.56	0.36	24.63	8.88	0	0.09	100.00
2025年生态服务价值	价值/10 ⁶ 元	73.32	2877.70	15.62	865.84	624.20	0	0.51	4457.18
	占比/%	1.65	64.56	0.35	19.43	14.00	0	0.01	100.00
土地面积变化/hm ²		-22430.05	1436.49	0	-648.26	1726.56	21132.12	-1233.18	0
土地面积变化率/%		-69.49	8.46	0	-19.76	60.43	241.68	-87.45	0
ESV变化/10 ⁶ 元		-167.00	224.44	0	-213.17	235.13	0	-3.55	75.85
ESV变化率/%		-69.49	8.46	0	-19.76	60.43	0	-87.45	1.73

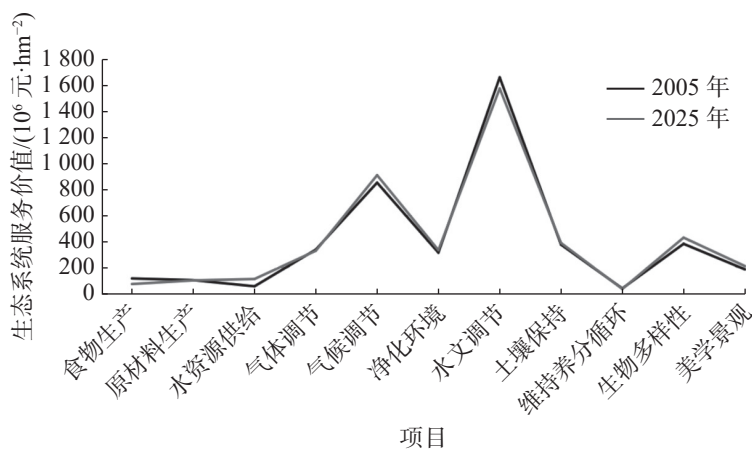


图7 优化前后各单项生态系统服务价值对比

4 讨论与结论

4.1 讨论

4.1.1 生态用地变化 根据4期土地利用数据可知,海口城市边缘区生态用地类型多样,生态用地

变化活跃,且深受土地政策的影响。2009年国土资源部提出“保耕地红线”行动,2009—2015年,研究区耕地面积基本保持不变。2014年国家提出在保障永久基本农田不变动的基础上,允许耕地“占

补平衡”,可跨区域调节耕地;2015—2020年,研究区耕地面积减少,建设用地面积增加。2017年海口市政府印发《海口市湿地保护与修复工作实施方案》,2015—2020年,湿地面积出现爆发式增长。

4.1.2 生态系统服务价值时空变化 参照相关研究,将研究区ESV与之对比。一方面,欧阳志云等^[27]认为热带森林对海南岛生态环境重要;隋磊等^[28]发现海南岛森林生态系统是最主要的生态系统类型。本研究中林地是研究区ESV的主体,与欧阳志云和隋磊等的研究结论一致。另一方面,雷金睿等^[24]对海南岛ESV评估后发现,1980—2018年间海南岛ESV总体表现为增长,单项水文调节、气候调节ESV占比最高,本文中研究区ESV近无增长,单项水文调节ESV明显高于其余各单项ESV。由此表明,研究区水文调节占比高的水域、林地、湿地面积之和高于海南岛平均

水平,水文调节占比低的耕地面积低于海南岛平均水平,研究区ESV与海南省ESV差异明显,研究海口城市边缘区生态用地和ESV优化十分必要。

利用GIS软件,处理2005年和2020年ESV变化时空分异图,得到ESV转移变化图(图8)。根据ESV转移变化的不同,分类讨论保护措施:(1)中、高ESV保持不变的区域(中-中、高-高)。原有生态系统保护良好,建议采取不开发、不干扰、长久保护策略,实时监测,定期评估。(2)高ESV转为中ESV(高-中)和低ESV转为中或高ESV(低-中、低-高)的区域,主要是耕地转为湿地、草地、水域或林地和林地转为湿地或草地的区域,经调研,此区域多为范围广的林田交织或水田交织区域。建议限制人为活动,适当采取人为干预,优化生态系统,加强生态修复,定期评估。

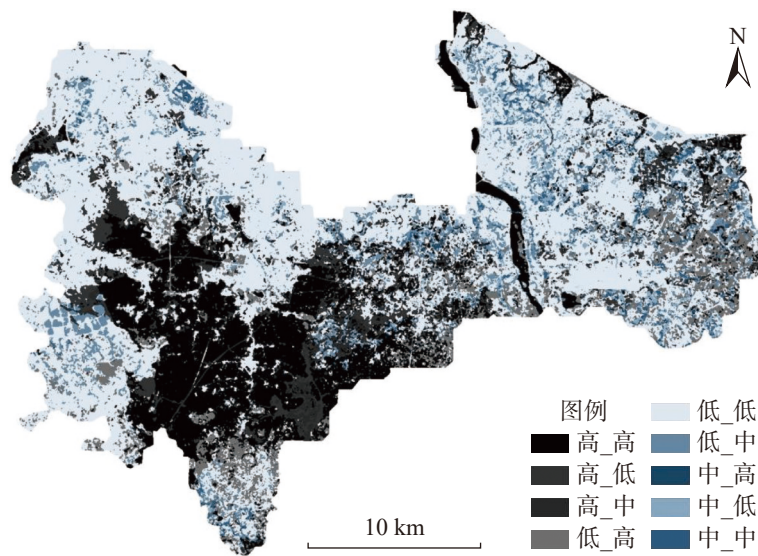


图8 生态系统服务价值转移变化图

4.1.3 土地利用优化 优化后:研究区ESV增加1.73%,耕地满足永久基本农田保护线要求;未利用地面积减少;建设用地明显增加,促进土地集约利用,积极响应海口市发展建设要求;水域和湿地大幅增加,提高环境承载力。在响应“山水林田湖草”^[29]整体统筹布局前提下,基于ESV最大化下的生态用地优化使得研究区ESV和土地利用程度共增长,找到了开发与保护相协调的平衡点。

根据优化结果,笔者建议海口城市边缘区继续开展生态文明建设,基于ESV时空变化的基础上,实施分类保护,差别化管控措施;在生态用地

优化的基础上,创新集约用地新模式,合理配置国土资源;建立以ESV评估为主的评估体系,建立全域监测体系。

4.2 结论 (1)耕地、林地和建设用地是海口城市边缘区主要生态用地类型;较2005年,2020年海口的建设用地、林地、草地、湿地和未利用地增加,耕地和水域面积降低,原有湿地保留占比低。海口城市边缘区深受土地政策的影响,其生态用地优化应在满足相关政策要求下进行。(2)较2005年,2020年的边缘区总ESV近无变化,林地ESV是研究区ESV的结构主体,单项水

文调节 ESV 最高。海口城市边缘区 ESV 变化与海南省 ESV 差异明显。(3)在空间分布上,研究区不同等级的 ESV 分异界限明显但逐渐趋于模糊,高值区破碎化问题严重,不同等级的 ESV 转移变化明显。(4)优化后研究区 ESV 增加 1.73%;湿地决定性地提高了 ESV;土地利用程度提高。在保证建设用地面积增长的基础上,研究实现了海口城市边缘区 ESV 增长,实现了保护与开发齐发展的目标。

本研究运用当量因子法评估了海口城市边缘区 ESV,借助灰色线性规划模型,以 ESV 最大化为目标进行生态用地优化。研究仍存在不足,研究所采用的谢高地当量因子法适用于区域尺度的 ESV 评估,不同地区需采用不同的修正系数来提高评估精度,且同一生态用地的差异难以被表现。尽管当量因子法不够精确,但不影响在同一地区的不同时间评估结果对比分析^[24],亦可以反应 ESV 的变化趋势。但如何更科学、更精准和更快速地对小尺度 ESV 评估应当是今后重点研究方向之一。

参考文献:

- [1] 彭文英,李碧君,刘灿.习近平关于生态安全重要论述及生态安全体系建设研究[J].城市与环境研究,2021(1):20-34.
- [2] 宋国凯.城乡结合部研究综述[J].社会学研究,2004(2):104-108.
- [3] 毛艺珺,张运兴.国内外城市边缘区研究综述[J].小城镇建设,2019,37(10):5-11.
- [4] 喻露露,张晓祥,李杨帆,等.海口市海岸带生态系统服务及其时空变异[J].生态学报,2016,36(8):2431-2441.
- [5] 韩向旭.海南岛海岸带土地利用变化及驱动力分析[D].泰安:山东农业大学,2018.
- [6] 罗文霞,钟康正,周晓娟,等.海口市江东新区30年来海岸带城市扩展与生态格局演变[J].生态学报,2022,42(6):2164-2174.
- [7] 余宇晨,陈彩虹,贺丹,等.基于MCR模型和Kriging的海口市景观格局优化分析[J].西北林学院学报,2016,31(3):233-238.
- [8] 陆禹,余济云,陈彩虹,等.基于粒度反推法的景观生态安全格局优化——以海口市秀英区为例[J].生态学报,2015,35(19):6384-6393.
- [9] 琚青青.海口市城市边缘区生态安全格局构建研究[D].海口:海南大学,2020.
- [10] 冷方兴,孙施文.争地与空间权威运作——一个土地政策视角大城市边缘区空间形态演变机制的解释框架[J].城市规划,2017,41(3):67-76.
- [11] 朱艳莉,李越群,廖和平.基于灰色线性规划的土地利用结构优化研究——以重庆市南川区为例[J].西南师范大学学报(自然科学版),2009,34(2):97-102.
- [12] 宁珊,张正勇,周红武,等.基于生态服务价值的玛纳斯河流域土地利用结构优化[J].生态学报,2019,39(14):5208-5217.
- [13] 王海鹰,张新长,赵元.基于逻辑回归模型的城市边缘区界定方法研究[J].测绘通报,2010(10):7-10.
- [14] 琚青青,尹菡怿,李微,等.海口市城市边缘区空间范围的识别研究[J].海南大学学报(自然科学版),2019,37(2):180-185.
- [15] 尹菡怿,申益春,琚青青,等.海口羊山湿地野生维管束植物资源的调查[J].热带生物学报,2019,10(2):165-171.
- [16] 龙花楼,刘永强,李婷婷,等.生态用地分类初步研究[J].生态环境学报,2015,24(1):1-7.
- [17] 邓红兵,陈春娣,刘昕,等.区域生态用地的概念及分类[J].生态学报,2009,29(3):1519-1524.
- [18] 张骞,高明,杨乐,等.1988—2013年重庆市主城九区生态用地空间结构及其生态系统服务价值变化[J].生态学报,2017,37(2):566-575.
- [19] 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.
- [20] COSTANZA R, DARGE R, DE GROOT R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J].Nature,1997,387(6630):253-260.
- [21] 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.
- [22] 谢高地,肖玉.农田生态系统服务及其价值的研究进展[J].中国生态农业学报,2013,21(6):645-651.
- [23] 吴霜,延晓冬,张丽娟.中国森林生态系统能值与服务功能价值的关系[J].地理学报,2014,69(3):334-342.
- [24] 雷金睿,陈宗铸,陈小花,等.1980—2018年海南岛土地利用与生态系统服务价值时空变化[J].生态学报,2020,40(14):4760-4773.
- [25] 涂人猛.城市边缘区初探——以武汉市为例[J].地理学与国土研究,1990(4):35-39.
- [26] 李梦婉,沙秀艳.基于GM(1,1)灰色预测模型的改进与应用[J].计算机工程与应用,2016,52(4):24-30.
- [27] 欧阳志云,赵同谦,赵景柱,等.海南岛生态系统生态调节功能及其生态经济价值研究[J].应用生态学报,2004(8):1395-1402.
- [28] 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.
- [29] 杨开忠.习近平生态文明思想实践模式[J].城市与环境研究,2021(1):3-19.

Land ecological service in the urban fringe of Haikou, Hainan

LI Wei, HAN Shuyao, WANG Fei, ZHOU Peng

(College of Forestry, Hainan University, Haikou, Hainan 570228, China)

Abstract: In order to provide a scientific basis for the rational planning of the spatial layout of Haikou, the ecosystem service value (ESV) and its changes in the urban fringe of Haikou, Hainan was estimated in 2005, 2009, 2015 and 2020 based on the equivalent factor method. With the aid of the grey linear programming model, the land use construction was optimized with the goal of maximizing ESV, and the changes of land use and ESV before and after the optimization were discussed. The results showed that the area of construction land had increased year by year since 2005 while the arable land and wetland decreased. The total ESV increased first and then decreased, with a slight increase of 0.21%. The ESV of woodland was the highest among the lands, and the ESV of hydrological regulation was the highest among the single ecological service functions. After optimization, the total ESV value increased by 1.73%, the wetland and construction land increased, and the unused land decreased. The wetland ESV increased the most. The permanent basic farmland is protected when the demand of urban sustainable development is met.

Keywords: ecosystem service value; ecological land; grey linear programming; land space planning; sustainable development

(责任编辑:钟云芳)