

基于土地利用转型的广西边境地区 生态服务功能交叉敏感性分析

韦绍音¹, 陆汝成^{1,2}, 林晓楠¹, 庞晓菲³, 秦秋燕¹

(1. 南宁师范大学 自然资源与测绘学院, 南宁 530001;

2. 北部湾环境演变与资源利用教育部重点实验室, 南宁 530001; 3. 南宁师范大学 地理科学与规划学院, 南宁 530001)

摘要:为揭示边境地区土地利用转型对生态服务功能的影响,推动区域生态环境与社会经济高质量发展。基于广西边境地区2000年、2010年、2018年3期土地利用遥感监测数据,识别18年间土地利用转型和生态系统服务价值的动态演变过程,结合改进的交叉敏感性系数探讨了广西边境地区生态系统服务价值对土地利用转型的敏感性程度。结果表明:(1)2000—2018年广西边境地区土地转型前期平缓,后期剧烈,耕地向建设用地、水域的转移是主要的转型驱动因素;(2)2000—2018年ESV呈现出先增后减的态势,地均ESV高值主要集中于防城区、宁明县南部以及那坡县南部生态环境本底优越的一带,地均ESV低值出现在宁明县北部、龙州县、大新县以及靖西市的中心城区生态系统较为薄弱的岩溶地区;(3)耕地、林地、水域与其他地类相互转型对生态系统服务功能影响较为敏感,其中最敏感的是林地与建设用地的转型,草地、未利用地与其他地类的转型缺乏敏感性。(4)生态敏感性空间演化分异特征显著,耕地与建设用地高生态敏感性重点分布在东兴市、宁明县、龙州县、靖西市,林地与建设用地高生态敏感区主要分布在防城区和东兴市主城区、凭祥市以及靖西市北部等重要的贸易出口通道。研究结果可为优化边境国土空间格局,实现生态服务功能的提升提供科学指引。

关键词:土地利用转型;生态系统服务;改进的交叉敏感性系数;广西边境地区

中图分类号:F301.2

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2022)03-0308-09

Cross-Sensitivity Analysis of Ecological Service Function in Guangxi Border Region Based on Land Use Transition

WEI Shaoyin¹, LU Rucheng^{1,2}, LIN Xiaonan¹, PANG Xiaofei³, QIN Qiuyan¹

(1. School of Natural Resources and Surveying and Mapping, Nanning Normal University, Nanning 530001, China;

2 Key Laboratory of Environment Change and Resources Use in Beibu Gulf, ministry of Education, Nanning 530001,

China; 3 School of Geography Science and Planning, Nanning Normal University, Nanning 530001, China)

Abstract: In order to reveal the impact of land use transformation on ecological service function in border areas and promote the high-quality development of regional ecological environment and social economy, based on three periods of land use remote sensing monitoring data in border areas of Guangxi in 2000, 2010 and 2018, the dynamic evolution of land use transformation and ecosystem service values during 18 years were identified, and the degree of sensitivity of ecosystem service values to land use transformation in border areas of Guangxi was explored in combination with improved cross-sensitivity coefficients. The results show that: (1) land transformation in Guangxi border areas from 2000 to 2018 was flat in the early stage and dramatic in the late stage, and the transfer of arable land to construction land and water area was the main transformation driver; (2) the ecosystem service value showed a trend of increasing and then decreasing from 2000 to 2018, and the high values of land-average ecosystem service value mainly concentrated in Fangcheng District, southern Ningming County and the area with superior ecological background in the southern part of Napo County, while low values of land-average ecosystem service value occurred in the northern part of Ningming County, Longzhou County, Daxin County, and the central urban area of Jingxi City where the ecosystem was weaker in karst; (3) the mutual transformation of arable land, forest land, water area and

收稿日期:2021-05-11

修回日期:2021-06-05

资助项目:国家自然科学基金项目(42061043);广西研究生教育创新计划资助项目(YCSW2021262)

第一作者:韦绍音(1997—),男,广西都安人,硕士研究生,研究方向为土地利用与区域发展。E-mail:2621682099@qq.com

通信作者:陆汝成(1972—),男,广西临桂人,博士,教授,主要从事土地规划与区域发展研究。E-mail:710912213@qq.com

other land types were sensitive to the impact of ecosystem service function, among which the most sensitive was the transformation between forest land and construction land, and the transformation between grassland, unused land and other land types lacked sensitivity; (4) the spatial evolutionary differentiation of ecological sensitivity was significant; the high ecological sensitivity of arable land and construction land mainly distributed in Dongxing City, Ningming County, Longzhou County and Jingxi City, and the high ecological sensitivity of forest land and construction land mainly distributed in Fangcheng District and the main urban area of Dongxing City, Pingxiang City, and the important trade export corridors in the northern part of Jingxi City. The results can provide scientific guidance for optimizing the spatial pattern of border territory and improving the ecological service function.

Keywords: land use transformation; ecosystem services; improved cross sensitivity coefficient; Guangxi border area

土地利用转型作为现阶段区域土地利用/覆被变化综合、系统研究的新途径^[1],指伴随着经济社会的发展,与之相匹配的地表土地利用要素与结构在时间序列上发生动态推演的过程^[2],在国外,由英国学者Grainger^[3]以研究林业为基础的国家土地利用时首次提出来,土地利用转型这一概念经我国学者龙花楼等^[4]引入中国,之后便成为国内土地利用变化领域学者的研究热潮。目前,中国学者将土地利用转型与社会经济发展^[5-6]、城乡融合^[7]、景观格局^[8-9]和生态环境效应等^[10-11]相结合,开展了较为系统的研究,为生态系统如何更好的向城镇化发展构建良好的空间载体提供思路与方向。土地利用转型过程中不可避免的改变生态系统结构和功能,从而重构区域土壤更新、碳排放、水循环等系列生态过程^[12-13],引发生态系统服务功能发生转变,动摇原生态系统结构稳定性,无法引导生态系统向友好的趋势发展。在Costanza^[14]、Stephen C^[15]等对生态系统服务价值(Ecosystem service value, ESV)的概念、原理及评估方式获取关键进展后,许多学者主要运用功能价值法^[16]和当量因子法^[17]对生态系统服务价值进行深入研究。通过衡量生态系统服务价值,可以间接显现区域生态系统服务供给潜力及生态效益高低,对增进民生福祉、释放生态红利起着重大贡献^[18],定量评估区域生态系统价值^[19-21]更有助于营造优质的土地资源配置环境,提升土地利用生态效率^[22],打造多元共生的生态系统,此外,ESV评估作为分析土地利用与区域经济内在协调联动关系的重要方式,对于统筹区域城乡土地资源和提高生态环境质量具有重要意义。

在生态敏感性的研究上,已有研究多侧重于土地数量的单向转移对生态系统敏感性的影响展开剖析^[23],较少关注土地利用转型的双向效应,生态敏感性指生态系统受各种自然过程及人为因素的双重作用下呈现的敏感程度,反映区域生态系统遇到干扰时出现生态环境问题呈现自我调节与恢复能力的强弱,

传统的敏感性提出把敏感性系数作为评判当量因子系数数值的主要研究方式,难以体现出生态系统服务价值对各种地类相互转移的响应程度,生态系统服务交叉敏感性^[24-25]的提出展示了土地利用转型的双向性,更进一步明晰了土地利用转型与生态系统服务功能的内在关联,目前,以自然条件恶劣、生态环境脆弱、少数民族集聚的小尺度地区探究鲜有涉足。

在经济全球化的背景下,广西边境地区作为与东盟国家衔接的前沿阵地,是筑牢国家安全的重要屏障及对外开放合作的桥头堡^[26],依托于中国—东盟深化合作和“一带一路”建设带来的历史性机遇,以及作为国家级边境经济合作区、国家重点开发开放试验区、国家边境旅游试验区等对外开放平台,广西边境地区受益于便捷的地理优势,以大开放引领大发展,社会经济发展的同时也面临着生态环境恶化等困境,生态系统岌岌可危,亟需进一步聚焦土地利用转型与生态系统服务的交叉敏感性关系,既是推动绿色发展迈向新步伐,更是边境地区扩大开放、兴边富民的迫切需求。基于此,本文以广西边境地区2000年、2010年、2018年3个时间点的遥感监测数据作为数据源,在转移矩阵、稳定性及倾向性分析的基础上,解释土地利用转型的特征,并运用改进的交叉敏感性模型研究不同地类转型对生态系统服务价值变化起到促进或抑制作用,最后以敏感性分区的形式在空间上进行分析,以期在国土空间规划背景下为广西边境地区生态安全格局的构建及生态空间优化提供实践借鉴。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

广西边境地区位于中国广西西南边陲,位于北纬20°36′—23°34′,东经105°31′—108°36′,边境线约长1 020 km,广西边境地区下辖8个县市区(下称“研究区”),陆域土地总面积约1.8万km²,占广西面积的7.8%。研究区属南亚热带季风气候,地势西北高向

东南低逐级倾斜,呈现出四周山地环绕与平原为主的地貌格局(图 1)。2000—2018 年,研究区生产总值由 86.35 亿元增长至 908.62 亿元,建设用地年均增长 1.79%。作为祖国南疆极为重要的生态安全屏障和全国岩溶地貌分布面积最广、石漠化严重的边境地区之一,以及作为连接中国与东盟自由贸易区上具有特殊的区位优势 and 国土空间格局,广西边境地区被赋予更加艰巨的“绿色责任”,要求实现经济社会发展目标的同时,亟需统筹好土地利用空间形态,探索生态系统的内在规律和保护模式。

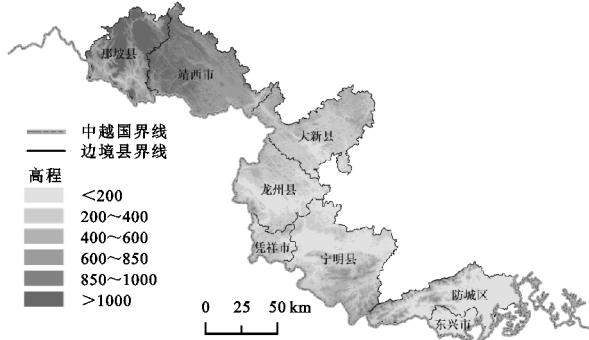


图 1 研究区位图

1.2 数据来源

本文所用的 2000 年、2010 年、2018 年的土地利用变化遥感监测数据源自于中国科学院资源环境科学数据中心 <https://www.resdc.cn/>), 空间分辨率为 30 m×30 m, 行政区矢量边界来自 2019 年广西土地利用现状更新数据库, 粮食单产数据、粮食价格数据源自于 2016 年、2017 年、2018 年、2019 年《广西统计年鉴》、《中国农产品价格调查年鉴》等统计资料, 结合研究区实际并借助 ArcGIS 10.2 平台划分为耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用地 6 种土地利用类型。

2 研究方法

2.1 土地利用转移矩阵方法

采用土地利用转移矩阵方法表征土地利用转型的数量变化, 该方法可用于定量描述系统状态的转移特征, 具有丰富的统计学意义^[27]。转移矩阵数学模型为:

$$S_{ij} = \begin{pmatrix} S_{11} & S_{12} & \cdots & S_{1n} \\ S_{21} & S_{22} & \cdots & S_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ S_{n1} & S_{n2} & \cdots & S_{nn} \end{pmatrix}$$

式中: S 为土地利用类型面积; i 和 j 分别为研究初期与末期的土地利用类型。

2.2 生态系统服务价值评估方法

谢高地基于 Costanza 提出的价值系数, 结合中国实情测算的中国生态系统单位面积生态服务价值

当量表在生态系统相关研究中得到广泛应用^[28], 考虑到广西边境地区的土地利用特点, 对谢高地的生态服务价值当量表进行修正^[29], 分别得到广西边境耕地、林地、草地、水域、未利用地的生态系统服务价值当量因子, 对广西边境地区各生态系统类型进行生态服务价值评估, 计算公式为:

$$ESV_k = \sum_k A_k \times VC_{kf}$$

$$ESV_f = \sum_f A_k \times VC_{kf}$$

$$ESV = \sum_k \sum_f A_k \times VC_{kf}$$

式中: ESV_k 为第 k 种地类的服务价值; ESV_f 为第 f 项服务价值; ESV 为区域总生态系统服务价值; A_k 为第 k 种地类的土地面积; VC_{kf} 为第 k 地类第 f 项功能单位面积生态系统服务价值。

2.3 土地利用转型倾向及稳定性分析

在土地利用转移矩阵的基础上, 计算每种土地利用类型新增量、减少量和稳定不变的数量, 以及土地利用类型的总变化量、交换变化量及净变化量。净变化量是指在土地利用转移矩阵中表示各土地利用类型在数量上的绝对变化量^[30]。计算公式为:

$$N_j = |P_{j+} - P_{j-}|$$

式中: N_j 表示土地类型 j 的净变化量; P_{j+} 为土地利用转移矩阵中 j 地类的增加量; P_{j-} 为土地利用转移矩阵中 j 地类的减少量。

2.4 改进交叉敏感性系数模型

改进的交叉敏感性系数模型(Coefficient of improved cross-sensitivity, CICS)是生态系统服务价值对两种不同土地利用类型转换时面积变化的敏感性程度^[31]。当 CICS 大于 0 时, 表示两种地类的净转型对生态系统服务功能起促进作用, 反之, 则对生态系统服务功能起抑制作用。作为敏感性的分析对象, 交叉敏感性绝对值越大, 则表示生态系统服务功能对两种转型的土地利用类型越敏感, 反之则越不敏感, 改进的交叉敏感性系数模型为:

$$P_{cicski} = \frac{(V_{ck} - V_{ci}) \Delta S_{ki}}{\Delta P_{ESV}}$$

式中: P_{cicski} 为改进后的 k 地类和 i 地类双向转型时的交叉敏感性系数; V_{ck} 为修正后 k 地类生态系统服务价值当量因子(元/hm²); V_{ci} 为修正后 i 地类生态系统服务价值当量因子(元/hm²); S_{ki} 为第 j 年和第 $j-1$ 年地类 k 与地类 i 的净转型面积(hm²)。 ΔP_{ESV} 为第 j 年和第 $j-1$ 年生态服务价值变化量(万元)。

3 结果与分析

3.1 土地利用转型分析

从整体上看, 2000—2018 年广西边境土地利用

空间格局相对稳定,土地利用类型转型并不是十分凸显。其中,研究区土地利用占比从高到低依次为林地、耕地、草地、建设用地、水域、未利用地(表 1)。林地广泛分布于广西边境各县市,且每个时段林地面积均占研究区总面积的 70%以上;耕地受地形差异、经营模式影响,重点分散于宁明县北部、龙州县中部、大新县南部以及靖西市;水域主要分布在防城区、宁明县等地;草地和未

利用地零星分布;建设用地重点分布在各市县行政中心,尤其以东兴市、防城区、宁明县建设用地集中成片最为明显。研究期间土地利用数量转型初期缓慢,末期剧烈,其中,建设用地、水域和未利用地呈现攀升趋势,耕地、林地与草地呈现减少趋势,建设用地增幅显著,近8 348.41 hm²,表明城镇空间持续扩张,土地开发建设强度提高。

表 1 广西边境地区 2000—2018 年土地利用类型转移矩阵 hm²

		2018 年					
土地利用类型		耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地
2000 年	耕地	347268.51	13436.93	954.70	1376.58	6158.51	3.07
	林地	13261.39	1229583.06	5481.71	1145.98	4572.73	29.86
	草地	1007.92	6210.18	108293.05	182.66	962.89	15.23
	水域	933.70	797.79	75.21	14589.72	147.44	1.15
	建设用地	2842.26	488.76	32.77	233.13	23601.73	0.59
	未利用地	2.47	28.40	7.28	45.37	0.88	746.36

从不同时段来看,土地利用转型存在显著差异:
(1) 2000—2010 年,广西边境地区土地利用转型速度缓慢。草地、建设用地、未利用地面积在缩减,其中草地面积减少最多,10 a 间共减少 1 795.56 hm²,持续缩减的原因主要是农用地结构调整以及草场重牧轻养,草地退化严重;其次为建设用地,减少 623.16 hm²,这与对农村空心化的宅基地复垦以及对历史遗留的部分废弃厂矿、大型工业区进行用地整治与生态修复有关;未利用地减少相对缓慢,仅减少 42.20 hm²,主要是水域与林地规模的迅速扩张对草地与未利用地的空间挤压密切相关。水域面积增幅最快,增加了 1 560.72 hm²,10 a 来各县水利事业呈现出投入力度大、建设规模广的局面,水库数量明显增加;林地面积增加速度仅次于水域,增加面积为 1 445.83 hm²,主要是因为广西边境地区“十五”期间森林资源结构趋于合理,退耕还林、速生丰产林基地建设、自然保护区建设、珠江防护林、沿海防护林等林业工程建设成效显著,城镇美化、平原丘陵绿化、绿色通道等建设力度不断加大,一定程度上保护了林地资源;耕地面积增加 431.68 hm²,主要是采取多项措施推动农村土地整治工作,增加了耕地的数量。

(2) 2010—2018 年,广西边境地区土地利用转型速度剧烈。耕地、林地、水域面积持续减少,其中耕

地面积减少最多,转移面积占研究区转移总面积的 22.88%,主要原因是农业结构调整、生态退耕、生产建设占用耕地;建设用地、草地、未利用地面积呈现出增加的态势,其中建设用地激增,新增面积占研究区新增总面积的 50.22%,表明广西边境地区土地供需矛盾进一步加剧,耕地后备资源剧烈减少。

3.2 土地利用转型的倾向及稳定性分析

采用新增变化量与稳定变化量的比值 g_p 、减少变化量与稳定变化量的比值 l_p 、净变化量与稳定变化量的比值 n_p 等 3 个评判指标,进一步分析土地利用转型稳定性及变化趋势。若 g_p 大于 1,表示土地利用类型在研究期间倾向于增加而并非保持稳定不变状态;若 l_p 接近 1 时,则表示土地利用类型在研究期间倾向于向其他地类转变而不是保持稳定状态。

由表 2 可知,研究期间,各土地利用类型的 g_p 、 l_p 的数值较小,表明土地利用转型整体上保持稳定状态。2000—2010 年,建设用地、草地、未利用地的 n_p 值均为负值,表明在这一研究期间内,建设用地、草地、未利用地是处于净减少状态,而林地、水域、耕地的 n_p 值均为正值,说明在研究期间主要是建设用地、草地、未利用地向林地、水域、耕地的转型变化,该转变过程与前述一致,验证了此类转型的走向及趋势。

表 2 土地利用类型稳定性分析

时段	指标	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地
2000—2010 年	g_p	0.0186	0.0058	0.0131	0.0944	0.0745	0.0177
	l_p	0.0174	0.0047	0.0290	0.0556	0.0997	0.0728
	n_p	0.0012	0.0011	−0.0159	0.0388	−0.0252	−0.0552
2010—2018 年	g_p	0.0427	0.0145	0.0584	0.1172	0.4270	0.1038
	l_p	0.0550	0.0185	0.0583	0.1011	0.0671	0.0535
	n_p	−0.0123	−0.0040	0.0001	0.0161	0.3600	0.0502

2010—2018 年期间,林地与耕地的 n_p 值由正值转变为负值,表明耕地与林地处于净减少状态,建设

用地、草地与未利用地的 n_p 值由负值转变为正值,表明在研究末期处于净增加状态,可能为耕地和林地向建设用地、草地及未利用地的转型,并且一定程度上在数量及空间上主要倾向于向建设用地转型变化。

3.3 生态系统服务价值时空分布特征

根据式(2—4)测算广西边境地区 8 个市县区共 85 个乡镇 2000—2018 年土地利用类型的生态系统服务价值,从 ESV 变化量及地均 ESV 两个层面来分析广西边境地区生态系统服务价值的时空异质特征(图 2)。

研究期间,广西边境地区的 ESV 总值整体上呈现出先增后减的态势,2000—2010 年,ESV 由 640.98 亿元提升至 644.95 亿元,主要原因是该时期林地面积增加 1 445.83 hm^2 ,水域面积增加 1 560.72 hm^2 ; 2010—2018 年,ESV 由 644.95 亿元降至 641.52 亿元,下降幅度较大。研究期间广西边境地区 ESV 变化量与土地利用转型趋势较为吻合,整体上增加与减

少相当,ESV 减少主要集中在东兴市、防城区、龙州县中部,凭祥市以及靖西市北部,岩溶地区表层泥土薄,生态系统相对薄弱,建设用地规模扩张导致区域生态系统服务价值减少。ESV 增加主要集中在宁明县、靖西市南部与那坡县南部一带,近年来,广西边境地区落实扬生态文明旗帜,担生态惠民责任,擦亮“山清水秀生态美”的广西金字招牌,不断加大生态环境保护和生态修复力度,2018 年,研究区森林覆盖率平均达 66.16%,祖国南疆的生态安全屏障作用日益突出。2000—2018 年地均 ESV 高值主要集中于防城区、宁明县南部以及那坡县南部一带,该区域水域面积与林地面积占比较高,生态环境优越。地均 ESV 低值出现在宁明县北部、龙州县、大新县和靖西市,其中靖西市地均 ESV 最低,主要原因为靖西市作为百色市新的增长极,建成区面积扩张速度加快,林地面积较少,森林资源优势逐渐降低。

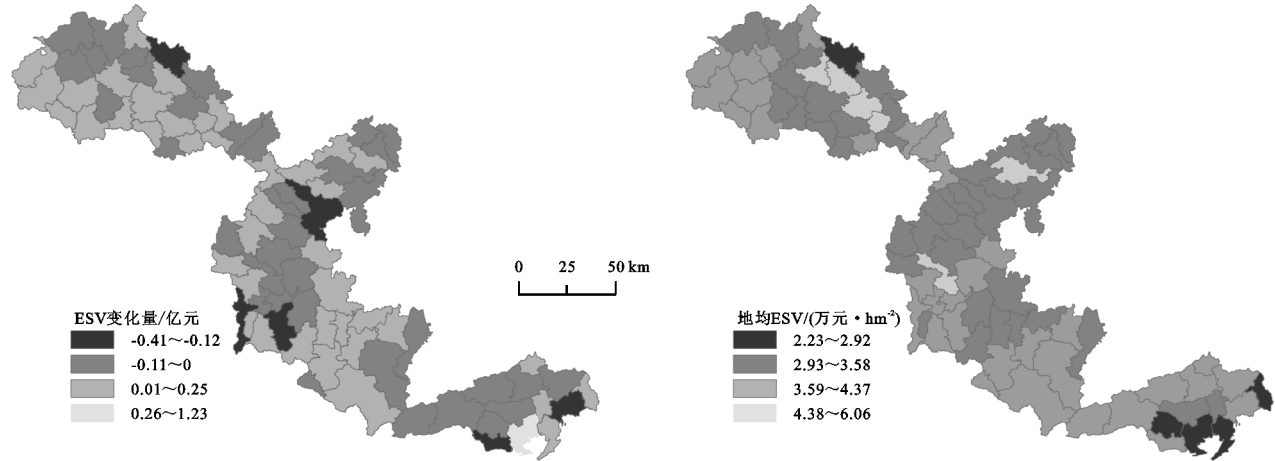


图 2 广西边境地区生态系统服务价值变化

3.4 生态系统交叉敏感性分析

图 3 为初期和末期 2 个时期 5 种地类之间 15 种转型的交叉敏感性响应系数。结果表明,研究区内耕地、林地、水域向其他地类的转型比较敏感,其中,最为敏感的为耕地与水域、建设用地;林地与水域、建设用地;水域与建设用地的转型,两两间的交叉敏感性系数均大于 0.1。此外,草地、未利用地向其他地类转型的交叉敏感性系数较低,则表明不够敏感。

(1) 耕地与其他地类转型的交叉敏感性:研究初期,耕地与林地、草地、未利用地的转型不敏感。研究末期,广西坚持生态优先理念,坚持生态惠民,大力推进生态文明建设,生态服务功能对此类转型的敏感性略有提升;其中,研究前期耕地与林地的转型呈现耕地向林地的净转入,ESV 增加,CICS 为 -0.020 2,表明两种地类转型对 ESV 的变化起抑制作用,后期为 0.001 3,两种地类的转型对 ESV 的变化起促进作用,这与广西边境地区对陡坡耕地和石漠化严重的耕

地实施退耕还林工程建设有一定的关联;耕地与建设用地的转型导致耕地减少,建设用地增加,研究期间 CICS 从 -0.018 8 提升至 0.101 1,即生态服务功能对此类转型比较敏感且敏感性逐渐提升,体现出建设用地向外延伸占用耕地,导致大量优质耕地流失,对生态系统服务价值的影响较为显著。

(2) 林地与其他地类转型的交叉敏感性:研究期间,林地与草地、未利用地的转型不敏感,CICS 均处于低值,表明生态系统服务功能对此类型的转型缺乏敏感;林地与水域的转型导致林地增加,水域减少,前期 CICS 为 -0.083 5,后期 CICS 提升为 -0.130 8,生态系统服务功能对林地与水域转型的敏感性上升;林地与建设用地的转型导致林地减少,建设用地增加,呈现林地向建设用地的净转入,两者间的转型对 ESV 变化起促进作用,其中,CICS 由前期的 0.037 8 提升到后期的 0.455 0,生态系统服务功能对此类转型敏感程度较高,表明建设占用林地形势依旧严峻,

主要表现为近年来广西边境地区为推动口岸贸易发展,凭借与越南一衣带水的区位条件,大力发展红木加工等产业,占用部分林地以推进口岸基础设施和互联互通建设,提升通关服务水平。

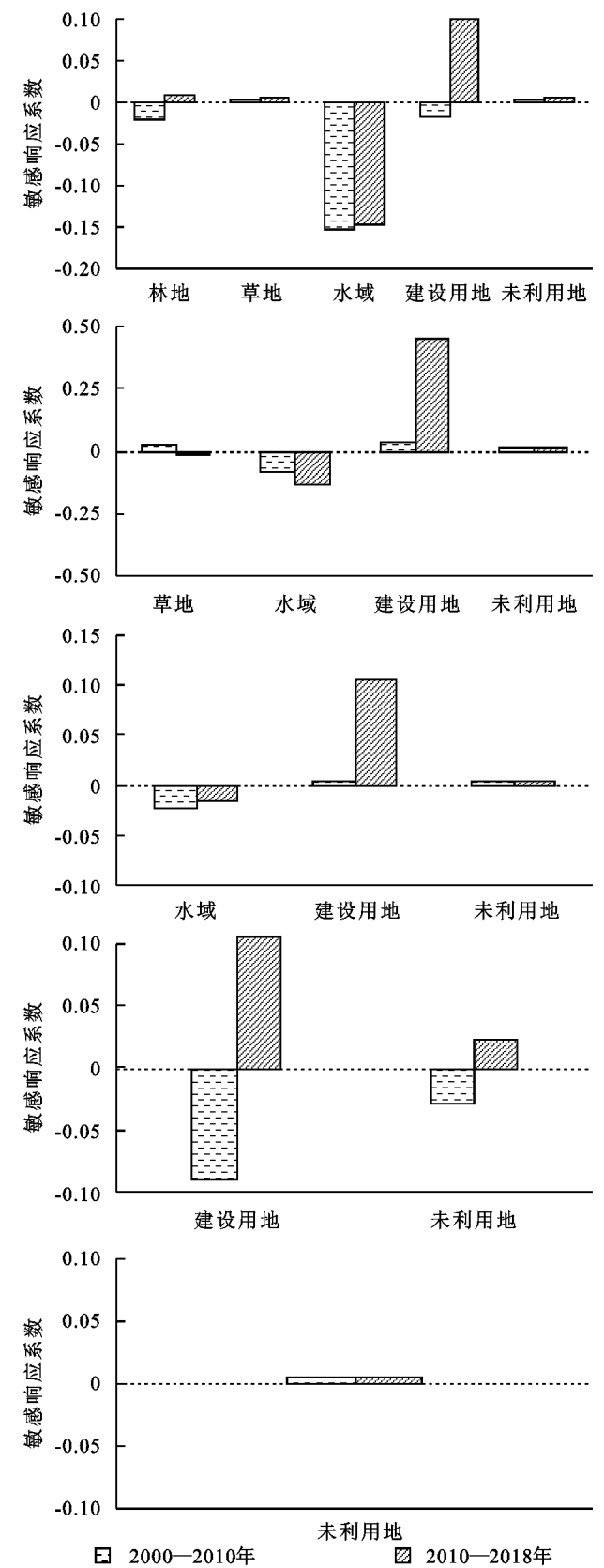


图 3 广西边境地区生态系统服务价值交叉敏感响应系数

(3) 草地与其他地类转型的交叉敏感性:草地与水域的转型引起草地减少,水域增加,ESV 增加,CICS 在前后期均为负值,分别为 $-0.023\ 7$ 和 $-0.014\ 8$,展现出草地与水域的转型对 ESV 的变化起抑制作用,且敏感性下降,说明占用水域挤占草地的面积有所减少;草地与建设用地的转型表现为草地向建设用地的净转入,ESV 减少,CICS 在前后期分别为 $0.004\ 7$, $0.106\ 6$,两地类间的转型对 ESV 的变化均起到促进作用,且后期敏感性明显提高,这与边境地区为推动旅游产业发展,占用部分草地扩大特色旅游小镇和旅游新村规模建设密切联系;草地与未利用地转型的 CICS 绝对值低于 0.005 ,表明草地与未利用地转型不敏感。

(4) 水域与其他地类转型的交叉敏感性:水域与建设用地的转型在前期表现为水域向建设用地的净流入,ESV 减少,后期表现为建设用地向水域的净流入,ESV 增加,研究期间 CICS 从 $-0.090\ 2$ 转变为 $0.106\ 6$,表明水域与建设用地的转型从抑制作用变化为促进作用,促进作用较为显著,且敏感性较高;水域和未利用地转型的 CICS 值较低,表征生态系统服务功能对上述转型缺乏敏感。

(5) 建设用地与其他地类转型的交叉敏感性:建设用地与未利用地的转型呈现建设用地向未利用地的净转入,ESV 减少,研究期间 CICS 值较小,生态系统服务功能对此类转型缺乏敏感。

3.5 生态系统交叉敏感性分区

交叉敏感性等级象征着生态系统服务功能对土地利用转型的响应程度,敏感性高低表明区域生态系统服务功能受此类土地利用转型的影响强弱。依据前文对边境地区的交叉敏感性分析,采用了 4 组交叉敏感性较高的土地利用转型类型,基于不同净转型方向的基础上,运用 ArcGIS 10.2 的自然断点法构建 4 类敏感性等级区,得到不同交叉敏感性等级分区面积统计结果(表 3)和空间全局特征(图 4)。

(1) 耕地与水域转型的非生态敏感区在整个广西边境区域范围内分布最广,占区域总面积的 37.85% ,主要分布在防城区十万山山脉、宁明县明江河谷平原、龙州县中部、大新县等地区,此类地区作为广西边境地区重要的重点生态保护区,植被生态质量高,受人为活动的干扰少。低生态敏感区和中生态敏感区主要零星分布在防城区南部、宁明县与龙州县交界处、大新县北部等地区,分别占区域总面积的 11.40% , 1.91% 。高生态敏感区主要分布在东兴市东部与大新县南部,占总面积 3.34% ,该区域受外来干扰对其自身影响剧烈,且在短期内难以自行恢复至

稳定状态,主要原因是区域水系比较发达,渔业发展及农业结构调整的需要使得水域用地的利用程度进一步加强,耕地向水域的转型导致区域水域面积的增加,受经济利益驱使,部分耕地被开挖成鱼池及坑塘,耕地数量有所减少。

(2) 耕地与建设用地转型的非生态敏感区占比最大,面积高达 43.96%,总体上占据防城区北部、宁明县南部、那坡县、大新县与靖西市交界等地区,该区域受自然地理环境因素限制,石山泥岭间杂遍布,石漠化地区建设用地较少成片,可转型的面积不多。低生态敏感区零散分布于宁明县、大新县、靖西市等区域,占区域面积的 27.15%,该地区生态系统受土地利用转型的影响程度小。中生态敏感区分布在凭祥市、靖西市、大新县、龙州县,该区域享受兴边富民、经济刺激等系列发展战略及优惠政策以来,举力培育和推进边民互市贸易点、边境产业园区及商贸物流通道建设,同时,城镇化的发展也不可避免占用耕地资源,从而迫使部分耕地向建设用地转型。高生态敏感区主要分布在东兴市、宁明县、龙州县、靖西市 4 个区域主城区,占

6.55%,主城区作为城镇化率最高,最为重要的经济发展核心及区域交通枢纽,摊饼式发展势必会挤占耕地以拓展城镇规模,侵蚀耕地以向建设用地转型。

表 3 广西边境地区土地利用转型交叉敏感性等级分区面积

地类	交叉敏感性 分区	水域		建设用地	
		面积/hm ²	比例/%	面积/hm ²	比例/%
耕地	无净转型区	812337.37	45.49	160111.64	8.97
	非生态敏感区	675950.14	37.85	784908.91	43.96
	轻度生态敏感区	203570.31	11.40	484811.44	27.15
	中度生态敏感区	34084.39	1.91	238930.09	13.38
	高度生态敏感区	59698.04	3.34	116878.18	6.55
林地	无净转型区			252262.03	14.13
	非生态敏感区			986703.12	55.26
	轻度生态敏感区			403775.7	22.61
	中度生态敏感区			95559.23	5.35
	高度生态敏感区			47340.18	2.65
水域	无净转型区			932023.18	52.20
	非生态敏感区			626464.86	35.08
	轻度生态敏感区			154350.92	8.64
	中度生态敏感区			54097.19	3.03
	高度生态敏感区			18704.11	1.05

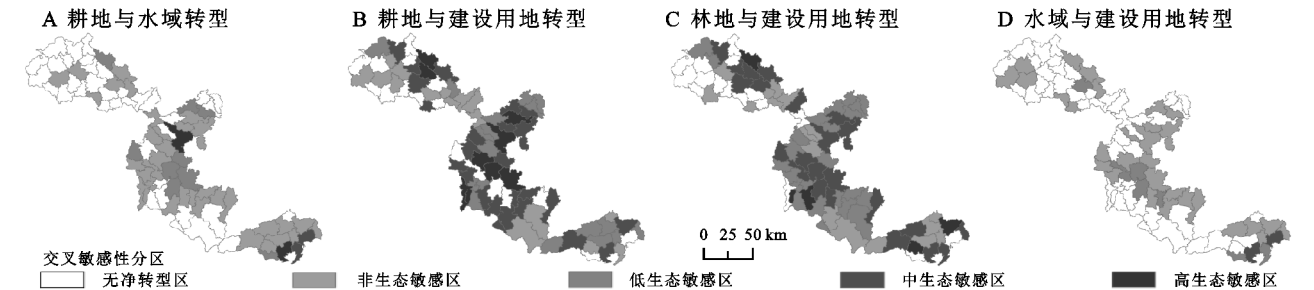


图 4 广西边境地区交叉敏感性分区

(3) 林地与建设用地的转型展现出林地向建设用地的净转型,其中,非生态敏感占区域面积的 55.26%,占比最大,重点分布于宁明县中部、龙州县、大新县以及那坡县北部等区域,究其原因,主要为该地区林地资源丰富,是广西重要的林业大县,生态林业及民生林业建设成效显著,提供了坚实的生态屏障。低生态敏感区主要分布在东兴市东部、靖西市中部、宁明县北部等地,占 22.61%。中生态敏感区和高生态敏感区占主要分布在在防城区和东兴市主城区、凭祥市以及靖西市北部,该区域作为广西边境重要的贸易出口通道,随着东盟自由贸易区建设的不断发展,经济持续增温,应严格控制森林向建设用地的转型,确保林地生态系统得到有效保护。

(4) 水域与建设用地转型的非生态敏感区零散分布与广西边境各市县,面积占比最大,为 35.08%,表明区域土地利用整体较为稳定。低生态敏感区与中生态敏感区面积较小,总体在东兴市、宁明县北部、大新县中

部等地区分布,分别占总面积的 8.64%,3.03%。高生态敏感区范围最小,占 1.05%,主要分布在防城区主城区,区域作为西南地区开展“一带一路”发展战略的重要出边通道,承担着桂南和东盟物流的枢纽作用,临近港口,河流众多,港口码头建设及吹沙填海等工程驱动水域向建设用地转型。

4 讨论与结论

4.1 讨论

土地利用转型作为驱动区域生态系统功能转变的重要根源,受人为活动、自然因素等的干扰,广西边境地区 2000—2018 年以来,各土地利用类型因人类的社会发展需要和保护政策实施而经历着深刻的相互转移过程,引起大量建设用地规模扩张占用了区域生态系统服务的主要载体耕地、林地、水域,使生态系统服务价值骤降,呈现出生态系统逐步退化的典型特点。其中,土地利用转型时空变化特征与相近案

例^[32-33]的研究成果相近,其动态演变与边境贸易因素、城市建设发展密切联系;在生态系统服务价值方面,ESV 总值先增后减的趋势与王永琪等^[34]对珠江—西江经济带广西段的研究成果暗合,与北部湾沿海地区^[35]的研究结果相比稍高,其原因与广西边境地区独特的地域性有关。另外,研究通过改进的交叉敏感性模型分析广西边境地区土地利用转型与生态服务价值,较传统的敏感性分析相比,其计算结果更能表达出弹性系数应有的现实意义,划分的生态敏感区域与周兴等^[36]对广西的划分结果相似,广西边境地区作为生态环境脆弱、少数民族集聚的重要空间和承载区域、急需致力于口岸经济、产业小镇、跨国旅游等经济发展模式,明晰耕地与水域、林地与水域、林地与建设用地、水域和建设用地等高生态敏感区,可披露广西边境地区在有着得天独厚的生态优势、复杂的生态环境及边境贸易差异较大情形下,为其他连续交界的边境地区土地利用转型与生态服务功能的同类研究提供借鉴。

由于广西边境地区属于典型的“老、少、边、山、穷”区域,土地利用转型与生态系统服务功能的研究存在具有边境特质的复杂性与不确定性,在测算生态系统服务价值时,没有将建设用地对水文调节产生一定的负面影响考虑在内,今后,将把建设用地生态系统服务价值测算作为下一步研究的重点。此外,随着兴边富民行动和新型城镇化建设的加快推进,以及在边境区域差异化的发展战略下,应加强微观尺度上的生态系统服务交叉敏感性研究,研究结果对广西边境地区在加强生态文明建设和促进地区可持续高质量发展更具指导意义。

4.2 结论

本文以广西边境地区8个县市区为研究区、基于2000年、2010年及2018年三期广西边境地区土地利用数据,利用谢高地单位面积价值当量因子的生态系统服务价值化方法、土地利用倾向及稳定性方法,分析广西边境土地利用转型及其倾向性、生态系统服务价值的时空分布特征,基于改进的交叉敏感性系数,呈现生态系统服务功能在土地利用转型下的响应程度,最后进行交叉敏感性分区。得到的研究结论如下:

(1) 广西边境地区土地利用格局总体上与区域经济发展相吻合,初期缓和,末期剧烈。2000—2010年,广西边境地区各土地利用发生转型总面积为18 867.04 hm^2 ,转型力度较为缓和,2010—2018年,各土地利用类型转型高达51 704.94 hm^2 ,较前期增长2.74倍,

转型力度剧烈。研究期间,广西边境地区耕地、林地、草地数量缩减,其中耕地面积收缩量最大,共3 655.42 hm^2 ,其次是林地,减少2 635.30 hm^2 。此外,建设用地、水域和未利用地增加,建设用地增加8 348.41 hm^2 ,连年比重逐步增高,规模不断向外扩张,在防城区、东兴市、靖西市等地表现突出,意味着城镇周边优质农用地,尤其是农业空间发展受到挤压,结合土地利用倾向与稳定性分析,发现与土地利用转型的方向及趋势一致。

(2) 研究期间,广西边境地区ESV整体上呈现先增后减的趋势。其中,初期林地与水域数量增加较多,林地面积占极大比例的那坡县、宁明县、靖西市南部对ESV增加的贡献率较高。ESV变化量较大的分布在宁明县中部、靖西市和那坡县南部,该区域受人为干扰及建成区规模扩张影响程度小。地均ESV呈现出中间低,两端高的分异格局,低值处在周边地势较为缓和的丘陵、平原区,以耕地及建设用地为主的市县,高值为广西边境两端森林覆盖率较高,处于生态本底特征较为优越的地区。

(3) 基于交叉敏感性分析可知,研究期间各土地利用类型转型中耕地、林地及水域向其他地类的转型对生态系统服务功能的敏感程度较高,其中最为敏感的是耕地与水域、建设用地;林地与建设用地;水域与建设用地的转型,两两间交叉敏感性系数均大于0.1。此外,草地、未利用地向其他地类转型的交叉敏感性系数比较低,相比不够敏感。

(4) 基于交叉敏感性分区结果显示:耕地与水域转型的高生态敏感性主要分布在水系比较发达的东兴市东部、大新县南部地区,占总面积的3.34%;耕地与建设用地转型的高生态敏感区面积最大,为总面积的6.55%,重点分布于东兴市、宁明县、龙州县、靖西市等4个作为东盟较大的商贸物流基地和跨境旅游胜地;林地与建设用地转型的高生态敏感区主要分布在防城区和东兴市主城区、凭祥市以及靖西市北部等边境贸易发展重点区域,面积占2.65%;水域与建设用地转型的高生态敏感区面积最小,占1.05%,仅在临港的防城区一带分布。总体上看,耕地与建设用地转型始终是影响区域生态系统服务功能的重要驱动力量。

参考文献:

- [1] 龙花楼.论土地利用转型与土地资源管理[J].地理研究, 2015,34(9):1607-1618.
- [2] 龙花楼.论土地利用转型与乡村转型发展[J].地理科学

- 进展,2012,31(2):131-138.
- [3] Grainger A. The forest transition: an alternative approach[J]. *Area*, 1995, 27(3): 242-251.
 - [4] 龙花楼,李秀彬.长江沿线样带土地利用格局及其影响因素分析[J].*地理学报*, 2001, 56(4): 417-425.
 - [5] 姚尧,李江风,杨媛媛.长江中游城市群城市建设用地利用社会经济功能转型与协调性评价研究[J].*地域研究与开发*, 2018, 37(5): 128-133.
 - [6] 徐梦瑶,张正峰.乡村产业振兴背景下京津冀地区乡村工业用地转型[J].*经济地理*, 2020, 40(5): 174-182.
 - [7] 龙花楼,陈坤秋.基于土地系统科学的土地利用转型与城乡融合发展[J].*地理学报*, 2021, 76(2): 295-309.
 - [8] 李明珍,李阳兵,冉彩虹.土地利用转型背景下的乡村景观格局演变响应:基于草堂流域的样带分析[J].*自然资源学报*, 2020, 35(9): 2283-2298.
 - [9] 石小伟,冯广京, YI Yang, 等.浙中城市群土地利用格局时空演变特征与生态风险评价[J].*农业机械学报*, 2020, 51(5): 242-251.
 - [10] 高星,刘泽伟,李晨曦,等.基于“三生空间”的雄安新区土地利用功能转型与生态环境效应研究[J].*生态学报*, 2020, 40(20): 7113-7122.
 - [11] 陈琼,张德锂,刘峰贵,等.黄河流域河源区土地利用变化及其影响研究综述[J].*资源科学*, 2020, 42(3): 446-459.
 - [12] 宋小青,申雅静,王雄,等.耕地利用转型中的生物灾害脆弱性研究[J].*地理学报*, 2020, 75(11): 2362-2379.
 - [13] 宋家鹏,陈松林.福建省土地利用隐性形态与土地生态安全耦合协调分析[J].*水土保持研究*, 2020, 27(4): 301-307.
 - [14] 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.
 - [15] Stephen C Farber, Robert Costanza, Matthew A Wilson. Economic and ecological concepts for valuing ecosystem services[J]. *Ecological Economics*, 2002, 41(3): 375-392.
 - [16] 王景升,李文华,任青山,等.西藏森林生态系统服务价值[J].*自然资源学报*, 2007, 22(5): 831-841.
 - [17] 孙新章,周海林,谢高地.中国农田生态系统的服务功能及其经济价值[J].*中国人口·资源与环境*, 2007, 17(4): 55-60.
 - [18] Daily G C. *Nature's services: societal dependence on natural ecosystems* [M]. Washington DC: Island Press, 1997.
 - [19] 宋洁,温璐,王凤歌,等.乌兰布和沙漠生态系统服务价值时空动态[J].*生态学报*, 2021, 41(6): 2201-2211.
 - [20] 李龙,吴大放,王芳,等.中国快速城市化区域生态系统服务价值预测及权衡研究:以佛山市为例[J].*生态学报*, 2020, 40(24): 9023-9036.
 - [21] 胡其玉,陈松林.基于生态系统服务供需的厦漳泉地区生态网络空间优化[J].*自然资源学报*, 2021, 36(2): 342-355.
 - [22] 金贵,邓祥征,赵晓东,等.2005—2014年长江经济带城市土地利用效率时空格局特征[J].*地理学报*, 2018, 73(7): 1242-1252.
 - [23] 李益敏,管成文,郭丽琴,等.基于生态敏感性分析的江川区土地利用空间格局优化配置[J].*农业工程学报*, 2018, 34(20): 267-276.
 - [24] 普拉提·莫合塔尔,海米提·依米提.土地利用变化下的生态系统服务敏感性研究:以克里雅绿洲为例[J].*自然资源学报*, 2014, 29(11): 1849-1858.
 - [25] 刘永强,龙花楼.长江中游经济带土地利用转型时空格局及其生态服务功能影响[J].*经济地理*, 2017, 37(11): 161-170.
 - [26] 黎励,毛蒋兴,陆汝成.边境地区土地利用时空格局的分形动态研究:以广西崇左市为例[J].*水土保持研究*, 2014, 21(5): 204-209.
 - [27] 张晓琳,金晓斌,范业婷,等.1995—2015年江苏省土地利用功能转型特征及其协调性分析[J].*自然资源学报*, 2019, 34(4): 689-706.
 - [28] 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.
 - [29] 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, 13(3): 10-13.
 - [30] 朱清,毛召锋.土地利用转型过程及其对区域生态质量的影响分析:以巢湖市为例[J].*测绘与空间地理信息*, 2019, 42(11): 58-62.
 - [31] 路昌,韩笑,韩会芹.山东省土地利用转型与生态服务功能交叉敏感性研究[J].*农业机械学报*, 2020, 51(10): 223-231.
 - [32] 刘少坤,林树高,王嘉佳,等.1980—2018年中越边境带广西段土地利用变化及驱动力[J].*水土保持通报*, 2021, 41(1): 290-299.
 - [33] 林树高,陆汝成,刘少坤,等.基于“三生”空间的广西边境地区土地利用格局及多功能演变[J].*农业工程学报*, 2021, 37(5): 265-274.
 - [34] 王永琪,马姜明.基于县域尺度珠江—西江经济带广西段土地利用变化对生态系统服务价值的影响研究[J].*生态学报*, 2020, 40(21): 7826-7839.
 - [35] 罗盛锋,闫文德.广西北部湾沿岸地区生态系统服务价值变化及其驱动力[J].*生态学报*, 2018, 38(9): 3248-3259.
 - [36] 周兴,童新华,华璿,等.广西生态环境敏感性综合评价及其空间分布[J].*广西师范学院学报:自然科学版*, 2006, 23(S1): 1-8.