

西部平原区生态用地时空动态特征及环境效应

蒋好雨¹, 陈荣蓉¹, 杨朝现¹, 信桂新², 杨 旭¹

(1.西南大学 资源环境学院, 重庆 400716;

2.长江师范学院 武陵山区特色资源开发与利用研究中心, 重庆 408100)

摘 要:为了探究生态用地变化特征及其对区域生态环境的影响效应,以西部平原区的四川省广汉市为例,基于土地利用转移概率矩阵和重心迁移模型分析研究区生态用地的时空演变特征,然后从承担生态风险、生态服务供给、均衡生态系统的维度运用生态系统服务价值、生态敏感性和生态协调评估分析评价了研究区生态用地演变导致的生态环境效应。结果表明:(1) 2000—2017 年,研究区生态用地流失严重,大量城镇边缘的生态用地被快速转化为建设用地。研究区生态用地总面积减少 9 769.51 hm²,耕地面积减少了 10 726.91 hm²,生态用地重心向北部迁移。(2) 生态用地格局受建设用地扩展的扰动对区域生态环境带来了压力和风险,产生了一定的负向影响。生态系统服务价值减少了 17.11%,生态极敏感和高度敏感区面积分别增加 1 629.47, 4 294.40 hm²,生态协调度下降了 10.36%。西部平原地区在快速城镇化进程中生态用地流失严重,整体生态环境承受较大压力,应加强生态用地科学管控与修复,提升国土空间环境综合治理能力。

关键词:生态用地; 生态环境效应; 土地利用转移矩阵

中图分类号:X826; Q149

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2021)02-0203-07

Characteristics of Spatiotemporal Dynamic Change in Ecological Land and Environment Effect in Western Plains

JIANG Haoyu¹, CHEN Rongrong¹, YANG Chaoxian¹, XIN Guixin², YANG Kui¹

(1.College of resource and environment, Southeast University,

Chongqing 400716, China; 2.Yangtze Normal University, Chongqing 408100, China)

Abstract: To explore the characteristics of ecological land changes and the impact on the regional ecological environment, taking Guanghan City of Sichuan Province in the western plains as an example, we analyzed the spatial and temporal evolution characteristics of ecological land in the study area based on the land use transfer probability matrix and the center of gravity migration model, and evaluated the ecological environment effect caused by the evolution of ecological land in the study area by using service value and ecological sensitivity analysis and through the dimensions of taking ecological risks, providing ecological services, and balancing ecosystem. The results show that: (1) from 2000 to 2017, due to the impact of urbanization, the loss of ecological land in Guanghan City was serious, and a large number of ecological land on the edge of cities and towns were quickly converted into construction land; the total area of ecological land in the study area decreased by 9 769.51 hm², the loss of ecological land was serious, the area of cultivated land decreased by 10 726.91 hm², and the center of ecological land moved to the north; (2) the disturbance of the ecological land pattern caused by the expansion of construction land had brought pressure and risks to the regional ecological environment, and had a certain negative impact; the value of ecosystem services decreased by 17.11%, the area of highly sensitive and highly sensitive areas increased by 1 629.47 hm² and 4 294.40 hm², respectively, and the degree of ecological coordination decreased by 10.36%. The loss of ecological land in western plain area is serious in the process of rapid urbanization, and the environment is under greater pressure. The scientific management and restoration of ecological land should be strengthened to enhance the comprehensive management of land space environment.

收稿日期:2020-05-08

修回日期:2020-05-23

资助项目:国家自然科学基金面上项目“西部平原城市与山地城市多中心开发的环境绩效比较研究——以成都和重庆为例”(41771534)

第一作者:蒋好雨(1996—),女,四川广安人,硕士研究生,研究方向为土地利用规划。E-mail:285371965@qq.com

通信作者:陈荣蓉(1974—),女,四川安岳人,博士,副教授,主要从事土地经济与政策、不动产经营与管理研究。E-mail:chenrr@swu.edu.cn

Keywords: ecological land; ecological environment effect; land use transfer matrix

随着城镇化的深入推进,土地利用方式变化导致生态用地的分布格局变化剧烈,给区域生态功能和生态安全带来了一系列的影响,从而导致区域生态环境质量下降、生态系统平衡受到严峻挑战^[1-2]。研究生态用地的演变特征及其所带来的生态环境效应,将有利于保障生态用地合理布局,弱化负面生态环境效应,恢复区域生态系统弹性。

20 世纪 90 年代,我国学者首次提出“生态用地”这一说法^[3],城市生态用地逐渐成为生态用地研究的重点^[4],学者们最初以生态用地内涵揭示和分类为主要研究内容^[5]。邓小文等^[6]根据土地的属性将城市生态用地划分为功能型和服务型两类;邓红兵等^[7]将其概括为以维护区域生态环境为主要功能的土地利用类型。后来学者们针对生态用地空间结构及演变机制^[8]、生态用地景观安全格局^[9-10]和生态用地需求量测算研究等^[11]问题进行研究。近年来,许多学者基于用地演变规律对生态空间演变及其驱动力分析进行了大量研究,主要采用转移概率矩阵等研究方法对地类转化性质和转化数量进行定性定量分析。研究区域集中在东部沿海经济发达和高度城市化的地区^[12-13],研究尺度多以大中尺度为主,较少有学者对西部平原区域展开小尺度的生态用地变化研究。

平原地区较山地丘陵地区,具有地形平坦、人口集中等特点。广汉市受到成都经济发展辐射带动作用强烈,由传统农业耕种县发展为依靠石油装备业和食品制药业为主的西部百强县市,是西部平原快速城镇化区域的典型代表,境内三星堆古蜀文化遗址和众多古树名木也对其生态环境保护提出了较高要求。本研究选取西部成都平原的四川省广汉市作为研究对象,基于土地利用转移概率矩阵和重心迁移模型分析研究区生态用地的时空演变特征,然后从承担生态风险、生态服务供给、均衡生态系统的维度分析评价研究区生态用地演变导致的生态环境效应。以期研究结果能为生态用地空间的科学保护和土地资源的优化配置提供参考。

1 研究区概况

广汉市位于成都平原东北部(104°6′—104°29′E, 30°53′—31°8′N),幅员面积 548.68 km²(图 1)。境内地貌以平原为主,丘陵地貌仅为 7.7%,总体地势西北低东南高,海拔 450~590 m,相对高差较小。因近代河流的长期切割,形成六河六埂、槽埂相间的地形。青白江、石亭江、鸭子河、绵远河等河流横贯全市,构

成通达的水系网络。土地利用以耕地为主,主要分布在平坝地区,多数土层深厚,适宜农作物生长,地势平坦,机械作业便利。森林覆盖率为 17.1%,远低于全省 43 个重点开发区县森林覆盖率平均值 41.18%,林地面积数量少。广汉地理区位优势(位于成都半小时经济圈和成德绵经济带腹地地带),社会经济发达,素有“川西明珠”之称。2017 年末广汉市总人口数为 60.1 万人,其中,城镇人口 31.4 万人、乡村人口 28.7 万人,城镇化率 52.3%。2017 年全年实现 GDP 值 400.1 亿元,三产结构比例为 9 : 51 : 40,工业十分发达。

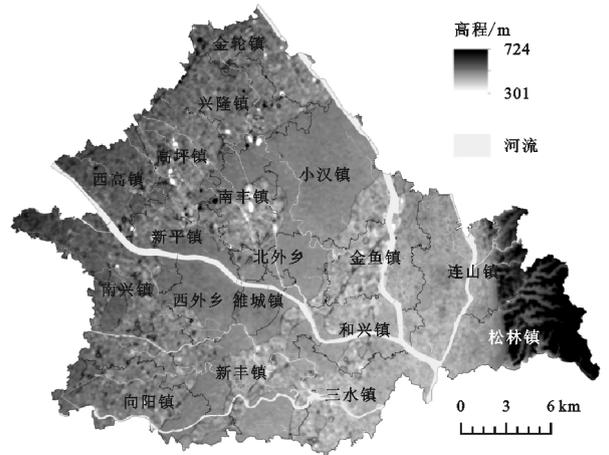


图 1 研究区高程

2 数据来源与研究方法

2.1 生态用地的定义

目前,国内外尚未形成精准的生态用地定义,学者们从土地利用主体功能^[14]、土地空间格局等^[15]角度对生态用地的内涵进行了讨论。本文选择从土地生态功能角度,将生态用地划分为具有生态服务功能或具有保护生态系统和生物生境作用的土地^[16]。受到平原地形影响,研究区的生态用地以耕地、水域、林地、草地等地类为主,其中起到主导生态服务功能和生态屏障作用主要为林地、水域等用地斑块。

2.2 数据来源

本文选取 2000—2017 年 5 期 Landsat 系列卫星作为数据源,空间分辨率为 30 m,来源于中国科学院计算机网络信息中心地理空间数据云平台,采用 ENVI 5.3 软件对影像进行几何校正、图像增强、镶嵌与裁剪等预处理工作。参照中国土地利用现状分类国家标准(GB/T21010—2007),结合研究区实际情况,采用监督分类法将土地利用类型划分为有林地、经济林地(苗圃、果园等)、河流湿地(水域、滩涂)、疏林地、草地、耕地(水田、旱地)、城镇建设用地(城镇用地、其他建设用

地)和农村居民点 8 类^[17],并结合 Google Earth 对分类结果进行精度检验,Kappa 系数均达到 0.8 以上。基于 ArcGIS 10.2 软件,参照监督分类得到的结果,进行目视解译,最终获得 2000 年、2005 年、2010 年、2015 年、2017 年 5 期土地利用分类数据。NDVI 数据由遥感影像计算得到;空间分辨率为 30 m×30 m 的 DEM 数据来自国际科学数据镜像网,通过 GIS 空间分析得到坡度、起伏度数据;距河流水体距离通过将研究区矢量数据转化为栅格数据,利用 GIS 邻域分析方法获取;社会经济数据主要来自研究区统计年鉴和乡村振兴规划编制课题组调查数据。

2.3 研究方法

2.3.1 生态用地空间特征量化

(1) 土地利用转移概率矩阵。基于 ArcGIS 10.2 平台,利用土地转移矩阵模型,分析研究区各类用地转移特征,其公式^[18]为:

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & \cdots & A_{1n} \\ A_{21} & A_{22} & \cdots & A_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ A_{n1} & A_{n2} & \cdots & A_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中: A 为土地面积; i 为研究初期土地利用类型序号; j 为研究末期的土地利用类型序号; n 为土地利用的类型数。

(2) 重心迁移模型。运用重心迁移模型,分析生态用地和建设用地全局重心动态演变特征。 t 年用地重心计算公式^[19]为:

$$X_t = \frac{\sum_{i=1}^n (A_{ti} \times X_i)}{\sum_{i=1}^n A_{ti}} \quad (2)$$

$$Y_t = \frac{\sum_{i=1}^n (A_{ti} \times Y_i)}{\sum_{i=1}^n A_{ti}} \quad (3)$$

式中: X_t, Y_t 分别为 t 年土地利用类型 i 重心的经度和纬度坐标; A_{ti} 为 t 年土地利用类型 i 的面积; X_i, Y_i 分别为土地利用类型的重心经度、纬度坐标。

2.3.2 生态环境效应评价 本文选择生态系统服务价值、生态敏感性与生态协调评估来反映生态用地演变对于研究区生态环境的供给生态服务功能、应对外界干扰、承载生态威胁等方面的影响。

(1) 生态系统服务价值。根据谢高地的改进型 ESV 价值评估方法中的标准当量因子价值量^[20-21],结合研究区现状地类面积,计算各用地类型的生态系统服务价值。计算公式为:

$$ESV = \sum_{i=1}^n (P_i + S_i) \quad (4)$$

式中:ESV 为生态系统服务价值; P_i 为生态系统价值系数; S_i 为第 i 种用地类型面积; n 为用地类型数量。

(2) 生态敏感性评价。生态敏感性能够反映生态系统对区域内自然和人类活动干扰的敏感程度^[22]。根据相关研究^[23-24]和研究区自然环境状况,选择高程、坡度、起伏度、植被覆盖指数(NDVI)、距水体距离 5 类影响因子,运用自然断点法将敏感性划分为 5 级(表 1)。

表 1 生态敏感性因子分级及权重

因子	不敏感	轻度敏感	中度敏感	高度敏感	极敏感	权重	文献来源
高程/m	301~450	450~500	500~550	550~600	600~722	0.1892	朱东国等 ^[25]
坡度/(°)	<2	2~8	8~15	15~25	>25	0.1976	史娜娜等 ^[26]
起伏度/m	0~10	10~20	20~30	30~40	>40	0.1869	翟端强等 ^[27]
植被覆盖指数 NDVI/%	>80	60~80	40~60	20~40	<20	0.2194	袁大鹏等 ^[28]
距水体距离/m	<300	300~500	500~800	800~1200	>1200	0.2069	汤峰等 ^[29]

单因子对生态环境的影响水平各异,使用层次分析法计算权重,将各单因子评价加权叠加后得到生态敏感性综合评价结果。

(3) 生态协调评估。借鉴生态足迹、生态承载力与生态协调度模型,进行生态协调定量评价。用生态足迹量化人类生存发展对自然资源的要求,用生态承载力计算区域环境的提供能力,用生态协调度来表示生态系统承受压力情况。生态协调度计算模型^[30]为:

$$D_s = \frac{EF + EC}{\sqrt{EF^2 + EC^2}} \quad (5)$$

式中: D_s 为生态协调度,取值范围为 $1 \leq D_s \leq 1.414$,其中 D_s 越小表示其生态系统压力越大,越大表示生

态需求和供给越趋于平衡,可定量揭示区域生态环境的风险程度;EF 为生态足迹($\text{hm}^2/\text{人}$);EC 为标准生态承载力($\text{hm}^2/\text{人}$)。

$$EF = \sum_{j=1}^6 (r_j \times \sum_{i=1}^n \frac{c_i}{p_i}) \quad (6)$$

式中: j 为 6 类生态生产性土地资源^[31]; i 为消费的资源或能源账户项目类别; c_i 为资源和能源的消费总量(t); p_i 为第 j 类生态生产性土地中第 i 类中产品全球平均产量; r_j 为某类土地均衡因子。

$$EC = \sum_{j=1}^6 a_j \times r_j \times y_j \quad (7)$$

式中: a_j 为实际生态生产性土地面积; y_j 为产量因子; r_j 为均衡因子。

3 结果与分析

3.1 生态用地时空动态特征

3.1.1 生态用地时空分布 2000—2017年研究区各类生态用地空间分布见附图1。由附图1可知,耕地是研究区主要的生态用地类型,环绕中心城区分布,研究期间城市建设用地由中心区域逐渐向四周扩张,大量耕地受到挤压。河流是研究区生态用地的重要组成部分,由于鸭子河湿地自然保护区的设立和金雁湖公园、房湖公园等公园的修缮,河流湿地面积保持稳定并有少量增加,主要沿研究区境内鸭子河与石亭江分布。有林地和经济林地主要分布在研究区东部浅丘区,属于龙泉山脉的丘陵一角。其他生态用地较为细碎,星罗棋布于研究区内。

2000—2017年研究区各类生态用地面积变化如表2所示。2000—2017年,研究区生态用地面积由49 410.57 hm²减至39 641.06 hm²,减少9 769.51 hm²,年均减少574.68 hm²。耕地是减少面积最多的地类,减少了10 726.91 hm²,受到快速城镇化和产业结构重心向工业倾斜的影响,大量耕地转变为其他用地。有林地和灌木林分别减少了63.01, 6.12 hm²,这两类林地面积基数小,数量变化幅度较小;经济林地在研究期间增长了596.59 hm²,这得益于松林桃花山和东部苗木基地的建设。草地面积从40.31 hm²增加至68.8 hm²,河流湿地增加了401.44 hm²。2000—2005年,研究区石油装备业和制药、食品生产等第二产业迅速发展,传统种植业受冲击,耕地面积出现一定程度的下降,各类林地面积也呈下降趋势。2005—2010年,耕地依然是减少最多的地类,人工草地、有林地和灌木林减少量较少,河流湿地和经济林地分别增加了119.61, 347.64 hm²。2010—2017年,耕地保护制度愈加严格,耕地面积减少速率放缓,而鸭子河湿地濒危候鸟保护区的恢复和改善以及金雁水苑湿地公园、马牧河湿地公园等湿地建设使得河流湿地面积出现较大增长,经济林地则因为水果种植业在东部区域的发展不断增长。

表2 2000—2017年研究区各类生态用地面积

年份	河流湿地	草地	有林地	灌木林	经济林地	耕地
2000	2734.61	40.31	373.29	49.58	762.57	45450.22
2005	2734.69	39.23	364.63	40.32	670.25	42200.22
2010	2854.30	46.75	347.89	38.65	1017.89	38015.77
2015	3124.59	53.62	311.30	42.57	1345.05	34730.75
2017	3136.05	68.80	310.28	43.46	1359.16	34723.31

3.1.2 生态用地转移特征 2000—2017年研究区土地利用转移情况见表3。2000—2005年,主要转移特

征是耕地大量转移为非生态用地,有林地、灌木林地和经济林地转出量较小,其他生态用地基本维持总量不变。生态用地中,城镇建设用地和农村居民点是耕地主要转出对象,分别占转出总量的49.24%, 45.26%;经济林地的主要转移对象为河流湿地和城镇建设用地,占转出量比重为43.01%, 28.13%;河流湿地主要转出为耕地和非生态用地,其他生态用地变化较小。非生态用地转出总面积较少,致使期末总面积出现了明显增长。2005—2010年,主要转移特征是一定数量耕地向城镇建设用地转移,经济林地和河流湿地转入量较大,其他生态用地转移量较小。生态用地中,占耕地转出量69.54%的土地转移为城镇建设用地,但耕地转出总量降低;经济林地转入量有明显增加,442.03 hm²非生态用地转移为经济林地;河流湿地也有来自非生态用地的100.49 hm²转入,整体面积增加119.61 hm²。非生态用地中,城镇建设用地有2 996.49 hm²的转入面积来自耕地,农村居民点增速放缓。2010—2015年,主要转移特征是耕地转移速率放缓,经济林地、河流湿地等生态用地转入量增加。生态用地中,仍有部分耕地向城镇建设用地转移,转入耕地大多是农村居民点用地,耕地总量减少;经济林地向河流湿地转移,转出土地578.45 hm²;有林地转出土地中的74.65%转移为经济林地;河流湿地共有745.96 hm²的转入土地量,主要来自经济林地和农村居民点;其他生态用地转移较少。非生态用地中,城镇建设用地和农村居民点分别有4 235.47, 224.17 hm²的生态用地转入。2015—2017年,主要转移特征是各地类转移速率放缓,用地结构渐趋稳定。生态用地中,经济林地有254.07 hm²转移为耕地,占转出量的80.95%;耕地转移为河流湿地和经济林地的面积为151.21, 80.23 hm²,分别占转出量的56.59%, 30.08%。非生态用地总量基本不变,农村居民点用地有部分转出。

3.1.3 土地重心转移特征 如图2所示,研究区生态用地重心处于中东部,2000—2010年生态重心向东部迁移,2010—2017年生态重心沿西北方向迁移;城镇建设用地重心处于中部,2000—2005年城镇重心向西北方向移动,2005—2010年城镇重心向西南迁移,2010—2017年城镇重心向东部迁移。2000—2010年,城镇建设用地集中于中部地区并向西南和西北方向快速扩张,挤压了生态用地空间,中部和西部的耕地面积转变为城镇建设用地,而东部经济林地面积有所增加,致使生态用地重心向东北方向移动。2010—2017年,研究区南部受到成都的辐射带动作用较强,旅游业发展迅速,位于研究区东南部的广汉

经济开发区也由省级经济开发区升级为国家高新技术产业开发区,带给生态用地强烈的扩张压力。研究

区西北区域分布着四川省重要商品粮基地,耕地面积流失较少,生态用地重心逐渐偏向西北方向移动。

表 3 2000—2017 年研究区土地利用转移矩阵

时段	土地利用类型	河流湿地	草地	有林地	灌木林	经济林地	耕地	城镇建设用地	农村居民点
T ₁	河流湿地	2436.98	1.67	0.13	0.11	0.04	195.47	48.37	51.85
	草地	1.09	20.37	0.00	0.00	0.00	0.00	18.85	0.00
	有林地	0.07	0.85	305.59	0.00	4.07	49.31	11.55	1.85
	灌木林	2.43	0.00	0.00	38.59	2.50	2.31	3.75	0.00
	经济林地	154.88	0.00	5.01	0.00	402.39	58.57	101.34	40.39
	耕地	74.30	16.34	51.16	1.62	66.43	41631.97	1880.08	1728.32
	城镇建设用地	14.63	0.00	0.96	0.00	192.07	60.42	1604.21	0.00
	农村居民点	50.31	0.00	1.78	0.00	2.76	202.17	843.74	2429.46
T ₂	河流湿地	2314.66	0.53	0.38	19.88	279.89	91.71	7.76	19.88
	草地	0.53	34.56	2.18	0.00	0.00	1.96	0.00	0.00
	有林地	0.14	0.00	328.43	3.17	0.00	30.67	1.67	0.55
	灌木林	10.78	0.14	0.00	14.29	0.00	0.25	2.00	12.87
	经济林地	349.25	5.36	0.00	0.00	279.86	0.00	27.36	8.42
	耕地	78.45	3.79	16.21	0.00	16.11	37891.18	2996.49	1197.99
	城镇建设用地	46.18	1.28	0.30	1.31	242.75	0.00	3842.78	377.28
	农村居民点	54.31	1.09	0.39	0.00	199.28	0.00	0.00	3996.79
T ₃	河流湿地	2378.63	12.34	1.70	18.04	387.13	0.22	20.54	35.70
	草地	15.32	22.34	0.00	0.00	8.72	0.37	0.00	0.00
	有林地	37.89	0.00	127.89	0.00	164.23	0.48	17.40	0.00
	灌木林	0.00	7.89	0.00	20.17	6.23	1.69	2.68	0.00
	经济林地	578.45	10.98	0.00	0.00	414.13	0.45	13.88	0.00
	耕地	35.06	0.07	38.22	0.45	41.18	33531.34	4180.97	188.47
	城镇建设用地	26.38	0.00	4.56	3.91	299.51	195.62	4631.96	1716.12
	农村居民点	52.86	0.00	138.93	0.00	23.92	1000.58	55.19	4342.30
T ₄	河流湿地	2967.16	2.78	35.71	0.00	107.16	0.00	11.78	0.00
	草地	5.01	45.67	0.00	1.96	0.00	0.00	0.98	0.00
	有林地	0.00	0.00	267.59	0.00	42.29	0.82	0.60	0.00
	灌木林	0.89	0.00	0.00	34.56	7.12	0.00	0.00	0.00
	经济林地	0.00	11.07	0.00	0.00	1031.22	254.07	38.13	10.56
	耕地	151.21	1.09	6.98	0.29	80.23	34464.04	1.02	25.89
	城镇建设用地	10.67	3.53	0.00	6.41	64.78	0.00	8739.32	98.65
	农村居民点	1.11	4.66	0.00	0.24	26.36	4.38	132.14	6113.70

注:T₁为2000—2005年,T₂为2005—2010年,T₃为2010—2015年,T₄为2015—2017年。

3.2 生态环境效应评价

3.2.1 生态系统服务与调节功能分析 2000—2017年研究区生态系统服务价值变化见表4。研究期内,生态系统服务价值由27.89亿元降至23.13亿元,减少17.07%,年均减少0.28亿元。其中,耕地景观减少量最大,生态系统服务价值占比由37.51%降至31.26%;其次为草地、林地、水域。受到研究区生态景观单一特性的限制,河流水域承担着主要的生态系统服务作用,耕地被建设用地挤占导致其对综合生态系统服务价值的贡献呈现减少趋势,而草地、林地景

观数量较小,生态系统服务功能也较弱。因此,各景观类型中,水域的服务价值最大,且其占比由59.27%增至65.05%,表明它在区域生态系统服务价值供给中的地位逐年提升并趋于主导地位;然后是耕地和林地,草地服务价值最小。广汉市作为典型西部平原城市,其生态系统恢复与调节功能长期处于较弱状态,这是由于平原地区缺乏生态屏障易受人类活动扰动。但自2010年以后,生态系统服务价值下降趋势趋于和缓,这表明广汉市近年来愈加重视生态环境保护,维持了生态系统供给服务功能的稳定。

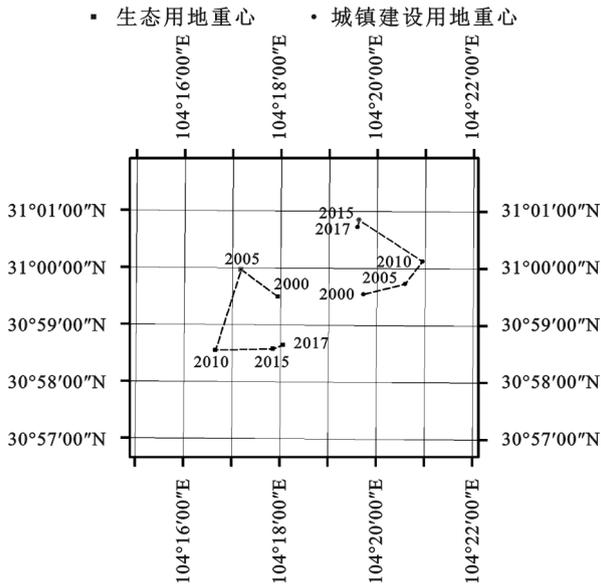


图 2 2000—2017 年研究区城镇建设用地区与生态用地重心迁移

表 4 2000—2017 年研究区生态系统服务价值

服务价值	2000 年	2005 年	2010 年	2015 年	2017 年
耕地价值	10.48	8.58	7.84	7.26	7.24
林地价值	0.81	1.00	0.95	0.79	0.79
草地价值	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03
水域价值	16.56	16.18	16.04	15.67	15.07
总体生态系统服务价值	27.89	25.80	24.86	23.75	23.13

3.2.2 生态敏感性分析 由附图 2 可知,2000—2017 年,研究区生态极敏感和高度敏感区面积分别由 1 865.61,6 900.53 hm^2 增加至 3 495.08,11 194.93 hm^2 ,主要分布在东部区域和河流沿岸;中度敏感区面积由 12 545.58 hm^2 增加为 24 371.79 hm^2 ,中部和西部许多城镇化程度较高区域由轻度敏感转变为中度敏感;轻度敏感和不敏感区面积呈现明显下降,分别由 17 614.71,15 886.66 hm^2 转变为 13 717.27,2 034.02 hm^2 。从格局上看,生态敏感性总体呈现由东到西敏感程度逐渐递减的趋势,呈现这种分布规律主要是受到地势起伏和河网密度的影响。研究区西部地势和缓、地形平坦,地表覆盖多为耕地,生态敏感性较低;东部为低山丘陵区,河网分布密集,为高度敏感和极敏感分布区域,需要更严格的生态保护。

3.2.3 生态系统协调度分析 由图 3 可知,2000—2017 年,研究区人均生态足迹从 0.894 2 增加至 1.321 3 $\text{hm}^2/\text{人}$,增加率为 23.51%;人均生态承载力从 0.654 2 $\text{hm}^2/\text{人}$ 减少至 0.494 4 $\text{hm}^2/\text{人}$;生态协调度由平衡趋向不平衡发展。研究区生态系统协调度在 2000—2005 年靠近 1.41,按照前文有关生态协调度的定义,在此期间生态系统处于较为平衡状态,生态赤字较小。2005—2010 年,生态协调度趋向于 1 发展,表明生态系统整体偏向失衡方向发展,承受着

较大的生态压力。可见,研究区人口快速增长和城镇扩展致使用地开发强度加大,生态容量逐渐减小,生态系统协调度降低。2010—2017 年期间,人均生态足迹出现缓慢下降,人均生态承载力也基本维持不变,生态协调度数值整体较低但逐步向平衡状态发展。说明此期间广汉市优化农业布局、着力发展高新技术产业、积极治理水污染等举措对减轻城市发展对自然生态带来的压力起着积极作用。

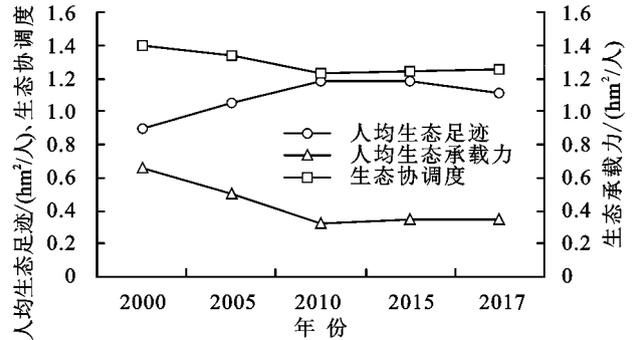


图 3 2000—2017 年研究区人均生态足迹、生态承载力与生态协调度

4 讨论与结论

(1) 2000—2017 年,受到城镇化的影响,广汉市生态用地流失严重,大量城镇边缘的生态用地被快速转化为建设用地。研究区生态用地总面积由 49 410.57 hm^2 减至 39 641.06 hm^2 ,减少了 9 769.51 hm^2 ;其中耕地减少最多,减少了 10 726.91 hm^2 ;经济林地和河流湿地面积有所增长。从生态用地转移特征来看,耕地是转出面积最多的生态用地,大部分耕地转化为城镇建设用地;经济林地的主要转入面积来自耕地和城镇建设用地;河流湿地的主要转入面积来自林地和耕地。随着生态空间格局的改变,生态用地重心先向东部迁移,再向西北部迁移。

(2) 城镇化进程对生态系统整体状态产生了一定的负向影响,区域生态环境提供服务与承载威胁能力有所减弱,但从发展趋势来看,研究区生态供给能力和恢复能力缓慢趋向稳定方向发展。研究期内,生态系统服务价值减少了 17.11%,生态极敏感和高度敏感区面积分别增加 1 629.47,4 294.40 hm^2 ,生态协调度下降了 10.36%,生态系统处于趋稳状态。

土地利用类型转移通过改变生态景观格局与生态过程对区域生态系统结构、功能与承载能力等方面造成影响,引发系列生态环境效应。本文通过转移矩阵和重心变化较为清楚地对广汉市生态用地时空演变特征进行了阐述,从多角度分析了生态用地演变带来生态系统供给能力、承载能力与平衡能力方面的变化。但本文仅探讨了生态用地的变化造成的生态环

境效应研究,不足以揭示用地变化与生态环境之间的影响机制和相互关系。

从时间上看,2000—2010 年广汉市经济快速发展,城镇建设迅速扩张,强烈扰动了生态用地格局,生态空间被严重挤压,带来负面生态环境效应,使得生态系统承受巨大压力;2010—2017 年在广汉市倾力打造水生态体系的背景下,鸭子河、湔江、石亭江等河流生态系统的保护与修复,以及多个湿地公园和经济种植果园的建设促进了生态用地面积的增加,为生态系统释放了压力,生态环境保护取得明显成效。受到地形地貌的影响,为支撑生态系统和谐稳定做出大量贡献的并不是占地面积最大的耕地,而是河流水系和林地。因此,广汉市应加大力度保护林地和河流水系这两类生态系统服务价值系数较高的生态用地,利用有限的土地资源实现合理的生态用地规划。

参考文献:

- [1] 王军,顿耀龙.土地利用变化对生态系统服务的影响研究综述[J].长江流域资源与环境,2015,24(5):798-808.
- [2] 谢高地,张彪,鲁春霞,等.北京城市扩张的资源环境效应[J].资源科学,2015,37(6):1108-1114.
- [3] 董雅文,周雯,周岚,等.城市化地区生态防护研究:以江苏省、南京市为例[J].现代城市研究,1999,14(2):6-8.
- [4] 董菁,左进,李晨,等.城市再生视野下高密度城区生态空间规划方法:以厦门本岛立体绿化专项规划为例[J].生态学报,2018,38(12):4412-4423.
- [5] 谭永忠,赵越,曹宇,等.中国区域生态用地分类的研究进展[J].中国土地科学,2016,30(9):28-36.
- [6] 邓小文,孙贻超,韩士杰.城市生态用地分类及其规划的一般原则[J].应用生态学报,2005,16(10):2003-2006.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 闫王玉,曹宇,谭永忠.基于景观安全格局的县域生态用地保护研究:以浙江省青田县为例[J].中国土地科学,2016,30(11):78-85,97.
- [10] 李晖,易娜,姚文璟,等.基于景观安全格局的香格里拉县生态用地规划[J].生态学报,2011,31(20):5928-5936.
- [11] 彭建,汪安,刘焱序,等.城市生态用地需求测算研究进展与展望[J].地理学报,2015,70(2):333-346.
- [12] 郑涛,陈爽,张童.城市滨江地区生态用地演变及驱动因素分析:以长江南京段为例[J].长江流域资源与环境,2019,28(5):1049-1058.
- [13] 李颖,冯玉,彭飞,等.基于地理探测器的天津市生态用地格局演变[J].经济地理,2017,37(12):180-189.
- [14] 韩学敏,濮励杰,朱明,等.环太湖地区有效生态用地面积的测算分析[J].中国农学通报,2010,26(22):301-305.
- [15] Nickel S, Hertel A, Pesch R, et al. Correlating concentrations of heavy metals in atmospheric deposition with respective accumulation in moss and natural surface soil for ecological land classes in Norway between 1990 and 2010[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2015, 22(11):8488-8498.
- [16] 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(2):1519-1524.
- [17] 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.
- [18] 杨清可,段学军,王磊,等.基于“三生空间”的土地利用转型与生态环境效应:以长江三角洲核心区为例[J].地理科学,2018,38(1):97-106.
- [19] 汪明灿,汪长天,张银龙,等.苏州花桥国际商务城生态用地时空动态特征[J].生态与农村环境学报,2019,35(9):1154-1162.
- [20] 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.
- [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] 欧阳志云,王效科,苗鸿.中国生态环境敏感性及其区域差异规律研究[J].生态学报,2000,20(1):10-13.
- [23] 简卿,张立强,崔海宁,等.青龙满族自治县生态敏感性评价及区划[J].中国农业资源与区划,2017,38(11):171-178.
- [24] 汤峰,张蓬涛,张贵军,等.基于生态敏感性和生态系统服务价值的昌黎县生态廊道构建[J].应用生态学报,2018,29(8):2675-2684.
- [25] 朱东国,谢炳庚,陈永林.基于生态敏感性评价的山地旅游城市旅游用地策略:以张家界市为例[J].经济地理,2015,35(6):184-189.
- [26] 史娜娜,全占军,韩煜,等.基于生态敏感性评价的乌海市土地资源承载力分析[J].水土保持研究,2017,24(1):239-243.
- [27] 翟端强,叶强,何玮琪.湖南丘陵城市土地生态敏感性评价及景观生态格局优化研究[J].中国园林,2019,35(1):133-138.
- [28] 袁大鹏,陈奇乐,石焱,等.河北典型样带土地利用生态安全格局研究[J].中国生态农业学报,2019,27(11):1767-1778.
- [29] 汤峰,张蓬涛,张贵军,等.基于生态敏感性和生态系统服务价值的昌黎县生态廊道构建[J].应用生态学报,2018,29(8):2675-2684.
- [30] 潘洪义,朱晚秋,崔绿叶,等.成都市人均生态足迹和人均生态承载力空间分布差异[J].生态学报,2017,37(19):6335-6345.
- [31] 袁祯燕,吕光辉,贡璐,等.基于生态足迹模型对新疆可持续发展的动态分析[J].生态经济,2008(6):66-69,74.