

DOI: 10.5846/stxb201808281844

吕乐婷, 张杰, 彭秋志, 任斐鹏, 江源. 东江流域景观格局演变分析及变化预测. 生态学报, 2019, 39(18): - .

Lü L T, Zhang J, Peng Q Z, Ren F P, Jiang Y. Landscape pattern analysis and prediction in the Dongjiang River Basin. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(18): - .

东江流域景观格局演变分析及变化预测

吕乐婷¹, 张杰¹, 彭秋志², 任斐鹏³, 江源^{4,5,*}

1 辽宁师范大学城市与环境学院, 大连 116029

2 昆明理工大学国土资源工程学院, 昆明 650093

3 长江科学院水利部山洪地质灾害防治工程技术研究中心, 武汉 430010

4 北京师范大学地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京 100875

5 北京师范大学地理科学学部, 北京 100875

摘要:以东江流域土地利用解译结果为基础, 采用转移矩阵、移动窗口法和景观格局指数对 1990—2016 年对东江流域的景观格局时空变化进行分析, 并结合地形因子、交通通达度因子和限制转化因子采用 FLUS(Future Land Use Simulation)模型对流域未来景观格局进行预测。结果表明: (1) 自 1990 年以来, 研究区的 7 种土地利用类型皆发生了变化, 其中建设用地由于林地和耕地的大量转入增加最明显。(2) 1990—2016 年, 流域景观破碎化呈现以河道为中心向东西两侧减小的趋势, 景观多样性呈现流域上游小, 下游大的趋势, 且高值区在经济较发达的城镇地区。园地的景观破碎程度最高、林地的优势度减弱, 城镇建设用地的集聚度增加。(3) 2016—2042 年, 流域各用地类型变化率不大, 景观破碎化和多样性程度虽有增加但增长速度相对放缓。

关键词: 景观格局; 移动窗口; FLUS 模型; 东江流域

Landscape pattern analysis and prediction in the Dongjiang River Basin

LÜ Leting¹, ZHANG Jie¹, PENG Qiuzhi², REN Feipeng³, JIANG Yuan^{4,5,*}

1 College of Urban and Environment Liaoning Normal University, Dalian 116029, China

2 Faculty of Land Resource Engineering Kunming University of Science and Technology, Kunming 650000, China

3 Research Center on Mountain Torrent & Geologic Disaster Prevention of Ministry of Water Resources, Changjiang River Scientific Research Institute, Wuhan 430010, China

4 State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology Beijing Normal University, Beijing 100875, China

5 Faculty Geographical Science Beijing Normal University, Beijing 100875, China

Abstract: Land use/cover change is one of the most direct manifestations of interaction between human activity and the natural environment, which reflects the close connection between the land use patterns and different times, locations, and human activities. In order to quantify land use/cover change, changes in the landscape pattern are the most intuitionistic demonstration. In addition, land use prediction is also one of the hotspots in this field. Frequently used models of land use prediction include the conversion of land use and its effects (CLUE) model and cellular automation. However, most models only train and estimate the transition probability of land use types, while barely expressing the competition and reciprocity of those because they ignore the connections among land use types. The future land use simulation (FLUS) model is derived and evolved from the Geographical Simulation and Optimization System. It is based on cellular automation and a self-adapting inertia and competition mechanism. The FLUS model has solved complicated issues in the transition rule of cellular automation, determined the parameters, and produced a simulation of land use under the influence of human activity and

基金项目: 国家自然科学基金项目(41701208); 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2012ZX07501002-04)

收稿日期: 2018-08-28; **网络出版日期:** 2019-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jiangy@bnu.edu.cn

natural conditions. At present, it has been applied in many cities and regions successfully. The Dongjiang River Basin, standing on the border of Guangdong, Hong Kong, and Macau, is one of three tributaries of the Zhujiang River. It enjoys abundant natural and human resources and embraces multiple landscape patterns. In recent years, the increasing local population and the comprehensive development of social economy has resulted in a rapid explosion of land use for urban construction. The extensive exploitation of primitive landscape and intervention of artificial activity on landscape is increasing. This thesis analyzes the characteristics of land use and landscape patterns in the Dongjiang River Basin in recent decades. In addition, we use the FLUS model and socioeconomic data to predict future land use patterns in this basin, to provide the scientific basis for the harmonious development of the regional economy and ecological environment. The result shows that (1) since 1990, seven types of land use in the Dongjiang River Basin have changed significantly. Among them, the increase in construction land use was the highest because of the large amount of forest and farm land being converted. (2) In recent decades, the degree of landscape fragmentation has increased while landscape space connectivity has weakened, and the variation range is relatively large in the years 2000—2009. On the whole, the degree of landscape fragmentation degree in orchards was the highest, the dominance of forest land has been subdued, and the concentration of urban construction land has increased. (3) From 2016 to 2042, the rate of change in land use in Dongjiang River Basin is relatively small. Although the degree of landscape fragmentation and diversity is still increasing, the rate of increase has slowed down.

Key Words: Landscape pattern; moving window; FLUS; Dongjiang River Basin

土地利用/覆被变化是人类活动与自然环境相互作用最直接的表现形式,反映了在不同时间、空间土地的使用方式与人类活跃程度的密切关系^[1-2]。景观格局变化是土地利用变化最直观的表现形式,目前景观格局分析方法主要有景观格局指数分析和空间统计特征分析两种^[3-4]。本文基于 FRAGSTATS 软件,采用传统景观格局指数^[5]计算方法和移动窗法^[6]对东江流域的景观格局整体特征和景观异质性空间特征进行研究。以阐明各个景观组分间的特征差异,评价流域景观破碎化程度,以提高对流域景观格局动态的把握,并对流域景观的规划与管理、资源的有效利用及环境保护具有重要意义。

土地利用预测是当前土地利用变化研究的热点之一。常用的土地利用预测模型包括 CLUE^[7-8]、元胞自动机^[9]、LCM^[10],但大部分模型常常单独训练和估计各种土地利用类型的转换概率,忽略各土地利用类型间的联系,难以体现土地类型间的竞争及相互作用。以及由黎夏^[11]等人提出的地理模拟与空间优化系统 (Geographical simulation and optimization system, Geo SOS) 由其演化与改进而来的 FLUS 模型,基于元胞自动机及“自适应惯性竞争机制”,解决了传统元胞自动机中转换规则及参数确定复杂等问题,能够很好地实现人类活动与自然条件影响下对土地利用的模拟^[12]。该模型也被广泛用于城市增长边界模拟^[13]、耕地动态模拟^[14]以及大尺度的全国土地利用模拟^[11]。目前,模型多用于城市地区研究,在流域的应用较少。流域的景观异质性较强,受到外界人为干扰尺度大,表现出的格局变化也较为明显,对于未来土地利用变化特征及发展的态势模拟对敏感脆弱的流域地区具有重要意义。

东江属于珠江三大水系之一,地处粤、港、澳三地交接处,自然及人文资源丰富,景观类型多样。本研究以东江流域为研究对象,利用土地利用变化数据分析区域景观空间格局特征,探讨东江流域 1990—2016 年的土地利用变化规律、景观格局特征分析并采用 FLUS 模型预测土地利用未来变化态势,为东江流域土地资源的可持续利用、维持景观完整性和安全性提供参考案例。

1 研究区概况与数据处理

1.1 研究区概况

东江位于珠江三角洲东北端,发源于江西省寻乌县桎髻钵山,流至广东省龙川市合河坝与安远水汇合,地

处 $113^{\circ}50' - 115^{\circ}50' E$, $22^{\circ}30' - 25^{\circ}20' N$ 。干流全长 562 km,流域总面积为 34702 km²。主要流经广东省广州市、深圳市、东莞市、惠州市、河源市及江西省赣州市安远县、寻乌县等地,是流经地区约 5000 万居民的主要引用水源。流域地形以低山丘陵为主,山地和平原分别占流域面积的 78% 和 14%,上游以林地为主、下游的山地平原多密集耕种。地势东北高、西南低(图 1)。流域位于亚热带季风气候区,年均气温为 20—22°C,年均降雨量为 1500—2400mm,主要集中于 4—9 月^[15]。近年来流域城市化发展迅速,城市化水平达到 65% 以上。

1.2 数据来源与处理

本文所用 1990、2000 和 2009 年 Landsat TM 以及 2016 年 Landsat OLI 遥感影像来源于地理空间数据云 (<http://www.gscloud.cn>),空间分辨率皆为 30m,影像轨道号/行号分别为 121/43、121/44、122/43、122/44 每期 4 景,成像时间均在 1—4 月,影像的云量均低于 2%。借助 ENVI5.1 软件对图像进行辐射定标、大气校正、影像的拼接与裁剪,并根据实际情况选择 7、5、2 波段组合

方案,同时对影像进行 2% 的拉伸以增强解译效果。本文采用最大似然法,参照中国科学院资源环境数据中心的土地分类系统结合东江流域土地利用实际情况,将东江流域的土地利用划分为 7 个一级分类,并结合 Google Earth 建立混淆矩阵对结果进行精度验证。验证结果显示,所解译的 2 个时段土地利用类型图 Kappa 系数均在 0.8 以上,达到了中分辨率遥感影像精度使用要求^[16-17]。本文所用 DEM 数据来源于地理空间数据云 ASTER GDEM(V1) 数据集,空间分辨率为 30m;市级 GDP 数据来源于广东省和江西省统计年鉴;主要公路、主要铁路、地级和县级城市驻地数据来源于国家基础地理信息中心。

2 研究方法

2.1 土地利用转移分析

本文通过转移矩阵对不同类型土地利用的转移方向及转移数量进行分析。土地利用转移矩阵通用形式为^[18]:

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

式中, S 代表面积; n 代表土地利用类型数; $i, j (i, j = 1, 2, \dots, n)$ 分别代表转移前与转移后的土地利用类型; S_{ij} 表示转移前的 i 类土地利用转移成 j 类土地利用的面积。

2.2 景观格局指数分析法

为了既全面反映流域景观格局特征,并减少信息冗余度,本文选择斑块个数(NP)、最大斑块指数(LPI)、分离度(DIVISION)、Shannon 多样性指数(SHDI)和集聚度指数(AI),基于 FRAGSTATS 软件,采用移动窗口法,并根据东江流域的实际情况及前人研究成果^[19-21],利用 3500m 大小的移动窗口,分析东江流域景观格局破碎化及多样性特征。窗口从研究区左上角开始移动,每次移动 1 个栅格,计算当前窗口内上述的景观格局

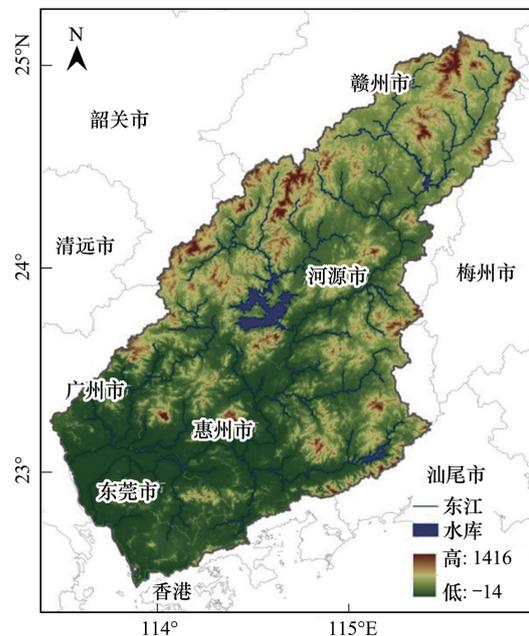


图 1 东江流域概况

Fig.1 Location of the Dongjiang River Basin

指数并赋予其中心栅格,最终获得各景观指数的空间分布特征图^[22-23]。选择斑块个数(NP)、斑块密度(PD)、最大斑块指数(LPI)、斑块平均大小(AREA-MN)、分维数(FRAC)和散布并列指数(IJI),采用传统景观指数计算方法,对东江流域景观斑块水平进行了分析。具体景观格局指数的计算方法和生态学含义见相关参考文献^[24]。

2.3 FLUS 模型

FLUS 模型由基于神经网络的适宜性概率计算模块(BP-ANN)和基于自适应惯性机制的元胞自动机模块(CA)组成^[25-26]。BP-ANN 模块需输入土地利用变化驱动因子,本文根据流域的实际情况和数据的可获取性,选取了地形因子:地形条件是决定土地利用类型的关键因素之一,其中高程和坡度是决定土地利用的主要因素^[27],所以采用 30m 分辨率的 DEM 数据。交通通达度因子:交通条件及城镇发展对土地利用具有重要吸引作用^[28],所以选择到一般公路的距离、到高速公路的距离、到区中心距离和到镇中心距离作为通达性因子,这些因子通过 ArcGIS 的欧氏距离工具分析得到。设置神经网络训练采样比例(本文设置为 2%),并选用随机采样模式进行各类用地的训练样本采样(本文训练隐藏层数设置为 12),实现神经网络训练。结合标准化处理后各驱动因子分布状况,最终计算得到土地利用类型在各像元上的适宜性概率图。

基于自适应惯性机制的元胞自动机模块以多类别或双类别空间土地利用数据为初始输入数据,需预设各土地利用类型变化数量的目标,(本文采用马尔科夫预测模型得到预设的各土地利用类型的变化的数量)^[29]。然后根据经验确定不同土地类型间的相互转换难易度(0—1,0 表示不允许转换,1 表示可自由转换),最后设置土地利用类型相互转换的限制发生区域(依据水源保护的基本政策,本文将流域水库及宽阔水面设为东江流域土地利用变化限制发生区)。模型参数设定上,将模拟迭代目标次数设置为 500,领域大小设置为 3×3,最终实现东江流域土地利用变化模拟。

3 结果与分析

3.1 流域土地利用变化分析

3.1.1 土地利用结构变化分析

东江流域 1990—2016 年土地利用状况如图(2)和表(1)所示。林地是东江流域的主要用地类型。在研究时段内,流域耕地、林地和草地面积减少;园地、水域、未利用地和城镇建设用地面积增加。其中,林地面积减少最多,减少量为 2538 km²,所占比例从 78.34%减少至 71.03%;城镇建设用地面积增加最多,增加量为 2884 km²,所占比例从 1.41%增长至 9.72%;园地、水域和未利用地所占比例分别由 4.06%、3.37%和 0.09%增长至 6.11%、3.85%和 0.45%;耕地和草地所占比例分别由 10.62%和 2.11%减少至 8.27%和 0.57%。

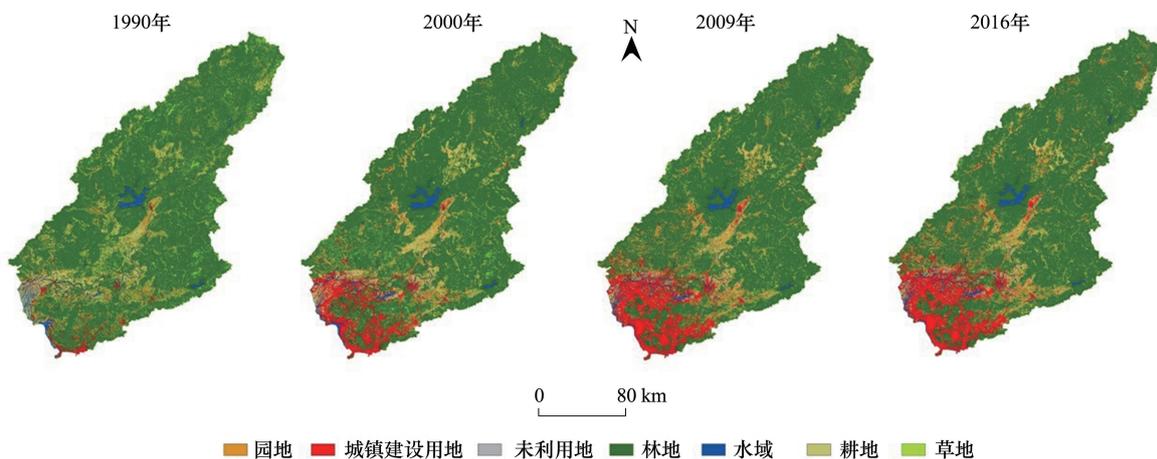


图2 东江流域 1990—2016 年土地利用类型图

Fig.2 Land use types of Dongjiang River Basin from 1990 to 2016

表 1 东江流域 1990 年—2016 年土地利用结构表

Table 1 Land use structure in Dongjiang River Basin from 1990 to 2016

时期 Period	项目 Item	耕地 Plough	园地 Orchard land	林地 Woodland	草地 Grassland	水域 Water area	未利用地 Unused land	城镇建设用地 Construction
1990	面积/km ²	3686	1408	27187	732	1169	31	489
	比例/%	10.62	4.06	78.34	2.11	3.37	0.09	1.41
2000	面积/km ²	3216	1595	25708	398	2192	1316	272
	比例/%	9.27	4.60	74.08	1.15	6.32	3.79	0.78
2009	面积/km ²	2928	1922	24880	240	3207	1330	190
	比例/%	8.44	5.54	71.69	0.69	9.24	3.83	0.55
2016	面积/km ²	2869	2120	24649	197	1337	157	3373
	比例/%	8.27	6.11	71.03	0.57	3.85	0.45	9.72

3.1.2 土地利用转化过程分析

1990—2016 年东江流域土地利用转移矩阵见表(2)所示。在 1990—2016 年间,东江流域城镇建设用地转入量最大,其面积增加来源于林地、耕地、园地和水域;园地转入量其次,其面积增加来源于林地、耕地、草地和水域;林地、耕地和草地的转入面积小于转出面积,造成其面积有所减少。其他用地类型也产生了不同程度的转化。

表 2 东江流域 1990 年—2016 年土地利用转移矩阵

Table 2 Land Use Transfer Matrix of Dongjiang River Basin from 1990 to 2016

土地利用类型 Land use type		1990 年各类土地利用类型面积 All types of land in 1990/km ²						
		耕地 Plough	园地 Orchard land	林地 Woodland	草地 Grassland	水域 Water area	未利用地 Unused land	城镇建 设用地 Construction
2016 年各类土地	耕地	1428	239	1125	23	52	0	1
利用类型面积/km ²	园地	529	317	1192	33	47	1	2
All types of land in 2016	林地	775	457	22663	633	66	26	28
	草地	7	7	168	14	0	1	1
	水域	166	69	325	3	756	2	16
	未利用地	19	8	104	24	1	1	0
	城镇建设用地	760	312	1609	3	247	0	441

3.2 景观格局分析

3.2.1 景观破碎化分析

东江流域 1990—2016 年景观破碎化空间分布如图(3)所示。可见,最大斑块指数 LPI 和斑块个数 NP 空间分布趋势相反,有很强的负相关性,而景观分离度指数 DIVISION 与斑块个数 NP 分布趋势相似,且更能体现流域的破碎度。流域在 1990—2009 年 LPI 指数减少、NP 指数增加,景观破碎化过程明显;但在 2016 年 LPI 指数相对上升,NP 指数相对有下降趋势,说明流域景观破碎化过程减弱,趋向整合。从空间上看,流域景观破碎度呈现以河道为中心向东西两侧减小的趋势,流域上游最大斑块指数高、斑块个数少、景观分离度小;原因在于流域上游及流域东西两侧地形均以山地为主,海拔较高,人为活动干扰小,景观以林地和园地为主,景观格局较完整,破碎度低。流域中下游地区,特别是东莞、惠州和河源市等地景观破碎度较高。此区域城市建设起步早、发展快,地势低平,大面积开垦耕地,导致斑块个数少、最大斑块指数小、破碎度高。1990—2016 年,流域景观破碎度高值区有扩散的趋势,增城区、博罗县和惠东县附近的景观破碎程度大幅增加,而东莞市的景观破碎程度降低;这是由于增城、博罗和惠东位于东江下游,自然条件优越,且紧邻东莞和惠州,是两地市城市扩张发展的主要承接地,近年来由于城市扩张,景观破碎度增加;东莞市城市建设高速发展,经济主要以高新

技术产业为主,城镇建设用地集中连片分布,农业、水产养殖业向外迁移,景观破碎度降低。

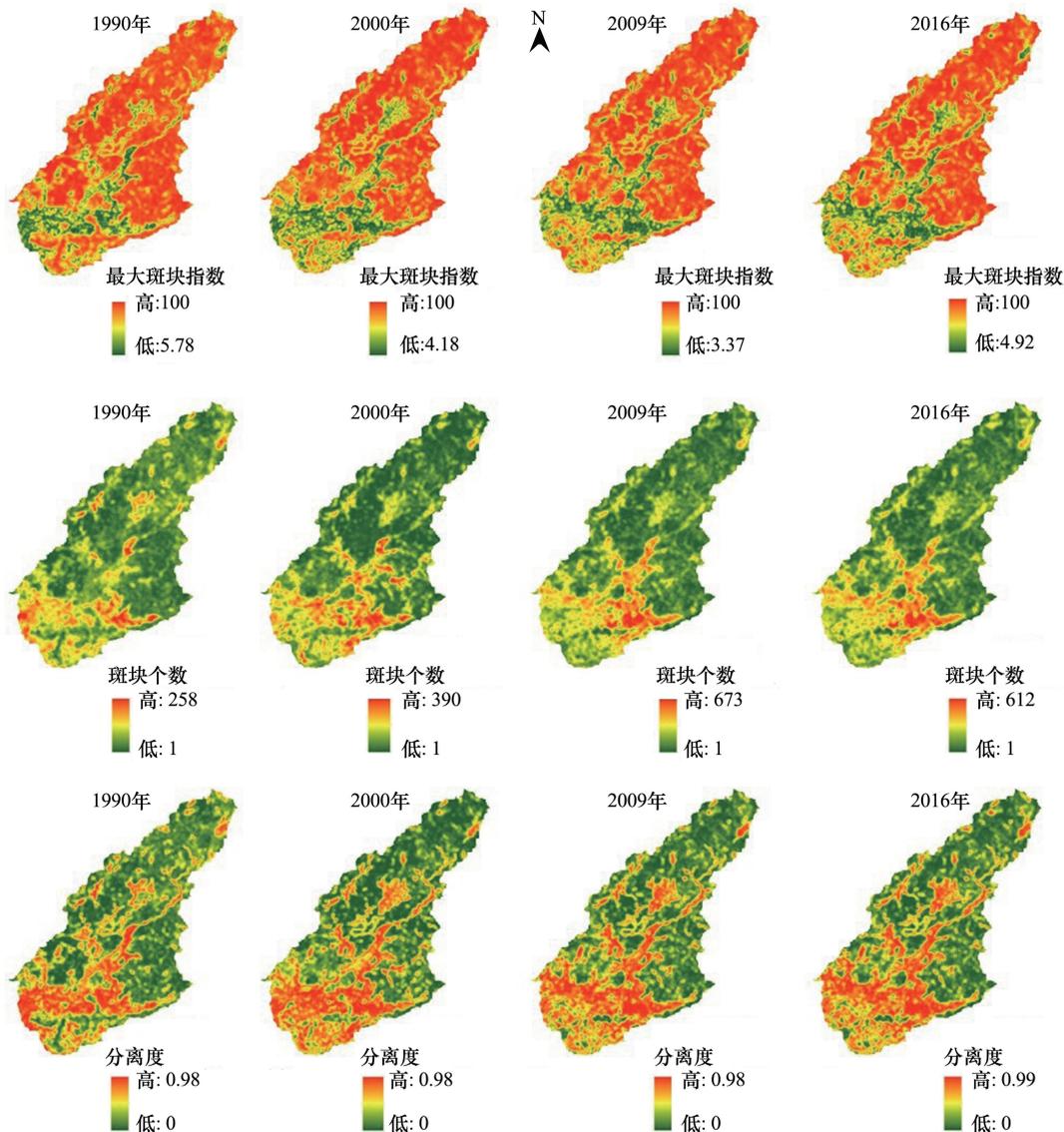


图3 东江流域1990年—2016年景观破碎化空间分布图

Fig.3 Spatial distribution of landscape fragmentation of Dongjiang River Basin from 1990 to 2016

3.2.2 景观多样性分析

东江流域1990—2016年景观多样性空间分布如图(4)所示。可见,从空间上看,流域景观多样性呈现中上游多样性较小、下游多样性较大的特点,且有明显的扩散趋势。河源、东莞和惠州市景观多样性较高;河源市凭借东江流域最大的新丰江水库大力发展水产养殖、开垦耕地,山区大面积种植果树,发展经济加快城市化建设,景观类型多样;东莞市、惠州市位于河流下游,农业和渔业发展的自然条件好,社会经济条件优越,在经济发展和资源开发的过程中造成用地类型及景观类型的多样化特征。

3.2.3 景观类型指数分析

根据景观类型指数表,表(3)可知,斑块个数不仅反映了景观的异质性,而且其值的大小与破碎度也有一定的正相关性;流域园地的斑块数远远高于其他类别,说明园地斑块的景观破碎度较高。林地所占面积最大而斑块数量不是最大,说明其组成斑块较大且其中存在着大量的优势斑块,即存在面积较大的完整林地,也比较符合流域的实际情况;同时,林地的最大斑块指数值高,达到60%以上,以绝对优势影响着景观格局的组

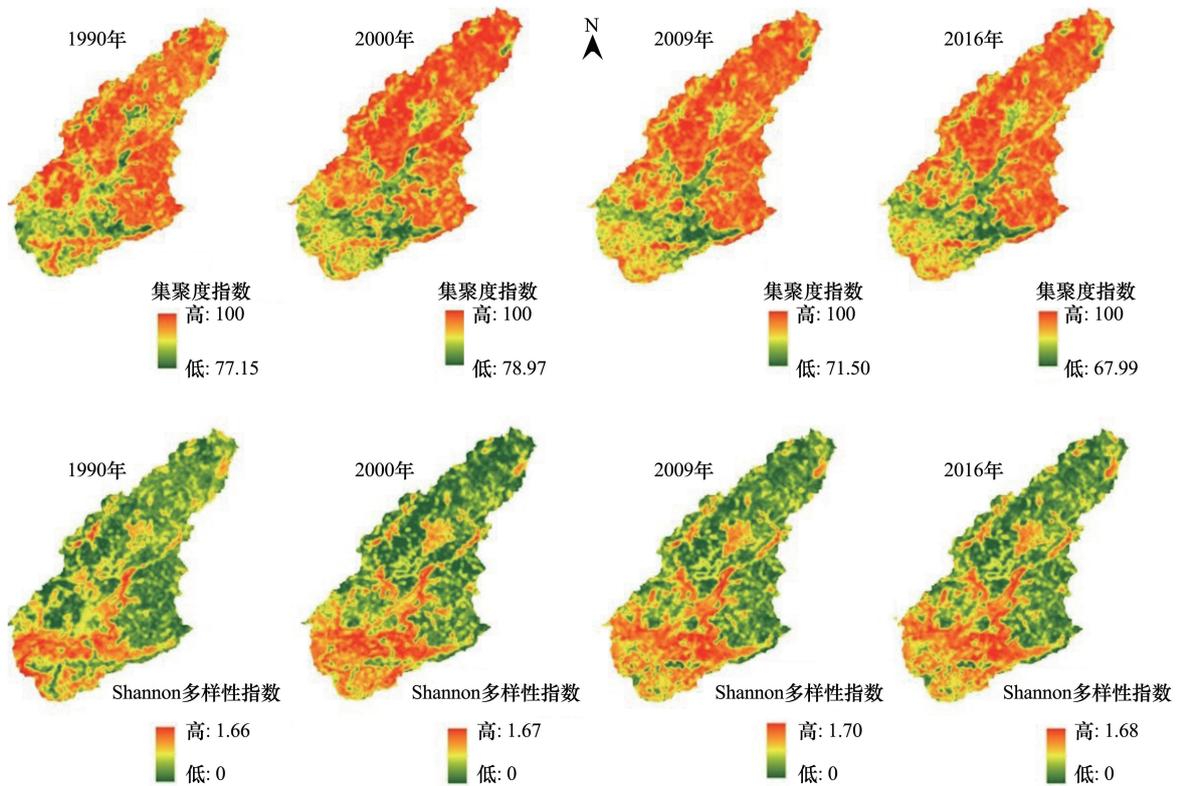


图 4 东江流域 1990 年—2016 年景观多样性空间分布图

Fig.4 Spatial distribution of landscape diversity index of Dongjiang River Basin from 1990 to 2016

成;林地的平均斑块面积从 2000 年的 125.54 下降到 2009 年的 44.90,说明随着人类活动的加强,较大的自然景观斑块被改造为一些较小的斑块,同时随着道路、引水渠等条状基础设施的修建,也将大斑块的景观分割为许多大小不同的小斑块,增加了景观的破碎度。城镇建设用地的斑块个数和斑块密度都在缓慢增加,表明了城镇建设用地趋于集中化的变化趋势,这也符合东江流域沿河两岸发展和居住的特点。在 1990—2016 年,流域各景观类型的散布并列指数都有所增加,表明各类型间相邻的类型有增大的趋势,接壤的景观类型丰富度有所增加。1990—2016 年,流域其他类型景观格局状况基本处于稳定状态。

表 3 东江流域 1990 年—2016 年景观类型指数表

Table 3 Landscape types index of the Dongjiang River Basin from 1990 to 2016

年份 Period	景观类型 Landscape types	NP	PD	LPI	AREA_MN	FRAC	IJI
1990	耕地 Plough	38279	1.10	0.53	9.66	1.07	41.86
	园地 Orchard land	43347	1.25	0.08	3.29	1.07	54.65
	林地 Woodland	13304	0.38	75.55	204.04	1.08	76.30
	草地 Grassland	14425	0.42	0.03	5.14	1.07	16.71
	城镇建设用地 Construction	6970	0.20	0.19	7.03	1.07	62.75
	水域 Water area	7640	0.22	0.75	15.30	1.07	67.02
	未利用地 Unused land	859	0.02	0.01	3.69	1.07	45.55
2000	耕地 Plough	45217	1.30	0.70	7.10	1.07	63.97
	园地 Orchard land	96161	2.77	0.06	1.70	1.06	63.12
	林地 Woodland	20449	0.59	65.51	125.54	1.06	86.79
	草地 Grassland	13723	0.40	0.01	2.97	1.07	24.57
	城镇建设用地 Construction	11792	0.34	3.34	18.57	1.07	77.17

续表

年份 Period	景观类型 Landscape types	NP	PD	LPI	AREA_MN	FRAC	IJI
2009	水域 Water area	8907	0.26	0.90	14.79	1.07	74.99
	未利用地 Unused land	3245	0.09	0.02	8.44	1.07	49.37
	耕地	83295	2.40	0.55	3.52	1.06	69.52
	园地	144147	4.15	0.03	1.37	1.06	67.05
	林地 Woodland	55272	1.59	63.51	44.90	1.05	83.91
	草地 Grassland	19586	0.56	0.01	1.28	1.07	40.84
	城镇建设用地 Construction	34662	1.00	5.76	9.23	1.07	77.36
2016	水域 Water area	22374	0.64	0.85	5.97	1.06	76.23
	未利用地 Unused land	14505	0.42	0.01	1.34	1.05	73.14
	耕地 Plough	81879	2.36	0.54	3.51	1.06	69.21
	园地 Orchard land	147068	4.24	0.04	1.48	1.06	66.09
	林地 Woodland	54650	1.57	62.65	44.98	1.05	81.85
	草地 Grassland	18154	0.52	0.01	1.14	1.07	42.20
	城镇建设用地 Construction	36165	1.04	5.87	9.30	1.07	77.74
	水域 Water area	22392	0.65	0.85	5.99	1.06	75.80
	未利用地 Unused land	13325	0.38	0.01	1.21	1.05	71.76

3.3 基于 FLUS 模型的东江流域土地利用预测

本文以 1990 年的土地利用类型数据为基础,借助 DEM 数据及社会经济数据得到的土地利用适宜性转移图层,对 2016 年土地利用类型进行了预测(图 5),并用 2016 年实际土地利用类型对预测结果进行精度验证。结果表明当迭代次数在 350 次时 Kappa 系数达到 0.85,满足本研究的要求。在此基础上用 2016 年的土地利用类型数据对 2042 年土地利用类型进行了预测,结果如图 5 所示。2042 年,东江流域城镇建设用地增加显著,未利用地减少,城市化过程明显,主要集中在流域中下游地区。耕地、园地、水域和城镇建设用地面积有所增加;林地、草地和未利用地面积则减少。根据东江流域 2016—2042 年土地利用类型变化图(图 6)可知,城镇建设用地增加幅度最大,增加了 14.3%,其次是水域,增加了 7.53%,耕地和园地分别增加了 0.24%和 0.16%;未利用地减少幅度最大,减少了 3.33%,其次为草地和林地,分别减少了 10.53%和 2.25%。

3.4 未来景观破碎化和多样性变化分析

根据 2042 年东江流域景观破碎化空间分布图和景观多样性空间分布图,如图(7)、图(8)所示,东江流域的景观破碎化增加,最大斑块指数最小值降低到 4.46,斑块个数的最大值增加到 707 个,景观多样性成增加趋势,聚集度指数最小值减小到 60.67,多样性指数增加到 1.72。从空间分布上看,流域的破碎化趋势仍然呈现中下游地区破碎化严重,以河道为中心向两侧破碎化减弱。2009—2016 年流域景观虽趋向整合,但是 2042 年流域的破碎化又呈现增加趋势,所以应加强对流域景观生态的保护,特别是流域中下游地区和河道两岸。

4 结论与讨论

东江流域景观格局特征既包括河流、水源地的脆弱度和敏感性,也兼具经济发达的城市化地区的人地矛盾问题。1990—2016 年,东江流域 7 种土地利用类型都

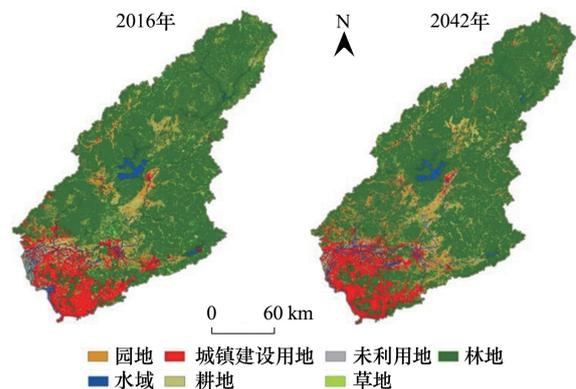


图 5 FLUS 模拟东江流域 2016、2042 年土地利用图

Fig.5 Simulation result of land use types in 2016 and 2042 based on the FLUS model

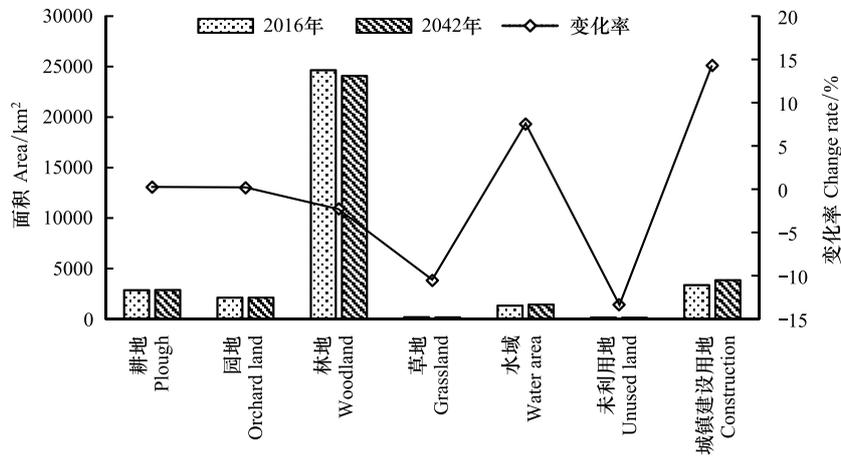


图 6 东江流域 2016—2042 年土地利用类型变化图

Fig.6 Land use change of Dongjiang River Basin from 2016 to 2042

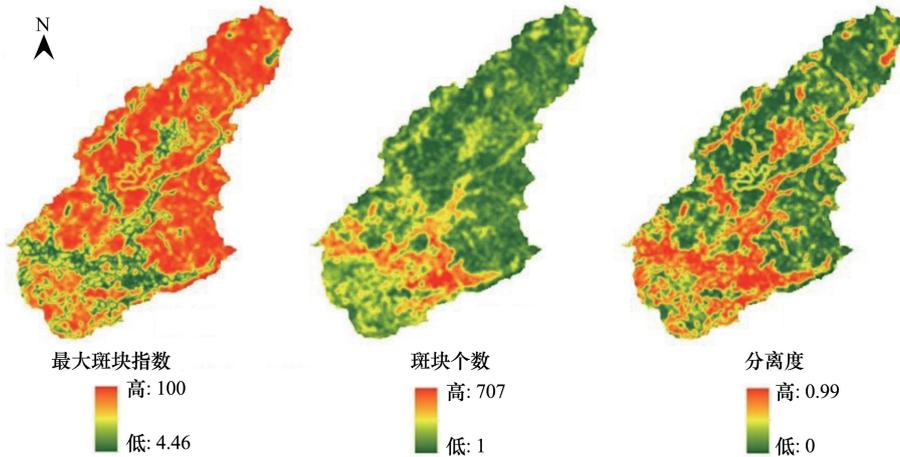


图 7 东江流域 2042 年景观破碎化空间分布图

Fig.7 Spatial distribution of landscape fragmentation of Dongjiang River Basin in 2042

发生了变化,其中耕地、林地和草地面积减少;园地、水域、未利用地和城镇建设用地面积增加。林地虽是流域的优势景观类型,但平均斑块面积在 2000—2009 年急剧下降,说明随着人类活动的加强,对流域自然景观的干扰和破坏程度增加,如何既保持经济发展又保护自然环境是当前急需解决的问题。

对东江流域景观格局分析表明:1990—2009 年流域景观破碎度呈上升趋势,但是随着劳动力的向外输出和种植业、养殖业的发展,人类活动对东江流域景观的干扰程度降低,在 2009—2016 年间流域的景观破碎趋势变缓。园地的斑块个数和斑块破碎度较大,受人为干扰强。今后,流域在发展林果种植的同时要注意对原始景观的保护,尽量大面积、成规模发展,这样既有利于林果产业化发展,也有利于对流域景观环境的保护。

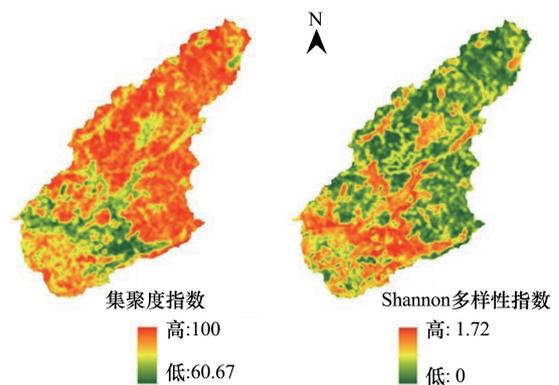


图 8 东江流域 2042 年景观多样性空间分布图

Fig. 8 Spatial distribution of landscape diversity index of Dongjiang River Basin in 2042

利用 FLUS 模型预测的东江流域 2042 年景观与 2016 年相比在流域的中下游地区,城镇建设用地增加显著,未利用地减少,城市化过程明显。这是经济高速发展的成果,与此同时,林地进一步减少,不利于流域的生态环境保护。所以在今后的发展中,流域必须要充分利用已建立的人工区,以降低对自然植被的破坏。

由于本研究仅考虑了土地利用类型转化因素、地形因素和交通通达度因素,针对水源保护区设置了禁止宽阔水面转化的限制转化因素,利用 FLUS 模型对流域未来土地利用进行模拟,没有设置不同情景,模拟没有与其他模型进行对比,所以并不具有绝对性。针对本研究,建议东江流域充分利用已建成的城镇建设用地,开发未利用地,减少对其他生态景观的破坏。在当前景观结构的基础上,优化资源配置,保护水源地,确保流域景观向更稳定的方向发展。受研究者知识、经验和主观因素的限制,对于东江流域景观破碎度和多样性变化的驱动力解释还不够完善,对此进行深入探索并进而提出可行有效的流域生态管理建议是本研究今后努力的方向。

参考文献 (References):

- [1] Mooney H A, Duraipapp A, Larigauderie A. Evolution of natural and social science interactions in global change research programs. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2013, 110(S1): 3665-3672.
- [2] 刘纪远, 匡文慧, 张增祥, 徐新良, 秦元伟, 宁佳, 周万村, 张树文, 李仁东. 20 世纪 80 年代以来中国土地利用变化的基本特征与空间格局. *地理学报: 英文版*, 2014, 24(2): 195-210.
- [3] 彭建, 党威雄, 刘焱序, 宗敏丽, 胡晓旭. 景观生态风险评价研究进展与展望. *地理学报*, 2015, 70(4): 664-677.
- [4] 陈利顶, 李秀珍, 傅伯杰, 肖笃宁, 赵文武. 中国景观生态学发展历程与未来研究重点. *生态学报*, 2014, 34(12): 3129-3141.
- [5] 董玉红, 刘世梁, 安南南, 尹艺洁, 王军, 邱扬. 基于景观指数和空间自相关的吉林大安市景观格局动态研究. *自然资源学报*, 2015, 30(11): 1860-1871.
- [6] Whittaker R H. *Vegetation of the Siskiyou Mountains, Oregon and California*. *Ecological Monographs*, 1960, 30(4): 407-407.
- [7] Jiang W G, Deng Y, Tang Z H, Lei X, Chen Z. Modelling the potential impacts of urban ecosystem changes on carbon storage under different scenarios by linking the CLUE-S and the InVEST models. *Ecological Modelling*, 2017, 345: 30-40.
- [8] 潘影, 刘云慧, 王静, 宇振荣. 基于 CLUE-S 模型的密云县面源污染控制景观安全格局分析. *生态学报*, 2011, 31(2): 529-537.
- [9] 詹云军, 朱捷缘, 严岩. 基于元胞自动机的城市空间动态模拟. *生态学报*, 2017, 37(14): 4864-4872.
- [10] 刘世梁, 安南南, 尹艺洁, 成方妍, 董世魁. 广西滨海区域景观格局分析及土地利用变化预测. *生态学报*, 2017, 37(18): 5915-5923.
- [11] Li X, Chen G Z, Liu X P, Liang X, Wang S J, Chen Y M, Pei F S, Xu X C. A new global land-use and land-cover change product at a 1-km resolution for 2010 to 2100 based on human-environment interactions. *Annals of the American Association of Geographers*, 2017, 107(5): 1040-1059.
- [12] 刘小平, 黎夏, 艾彬, 陶海燕, 伍少坤, 刘涛. 基于多智能体的土地利用模拟与规划模型. *地理学报*, 2006, 61(10): 1101-1112.
- [13] 朱寿红, 舒帮荣, 马晓冬, 梁迅, 姚青. 基于“反规划”理念及 FLUS 模型的城镇用地增长边界划定研究——以徐州市贾汪区为例. *地理与地理信息科学*, 2017, 33(5): 80-86.
- [14] 陈逸敏, 黎夏, 刘小平, 李少英. 基于耦合地理模拟优化系统 GeoSOS 的农田保护区预警. *地理学报*, 2010, 65(9): 1137-1145.
- [15] 吕乐婷, 彭秋志, 廖剑宇, 江源, 康慕宣. 近 50 年东江流域降雨径流变化趋势研究. *资源科学*, 2013, 35(3): 514-520.
- [16] Janssen L L F, van der Wel F J M. Accuracy assessment of satellite derived land cover data: a review. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1994, 60(4): 419-426.
- [17] 赵英时. *遥感应用分析原理与方法(第二版)*. 北京: 科学出版社, 2013.
- [18] 白根川, 夏建国, 王昌全, 陈文宽, 杨娟. 基于地类空间转化趋势模型的眉山市东坡区土地利用转化分析. *资源科学*, 2009, 31(10): 1793-1799.
- [19] 张宏锋, 袁素芬. 东江流域森林水源涵养功能空间格局评价. *生态学报*, 2016, 36(24): 8120-8127.
- [20] 王兆印, 程东升, 段学花, 李行伟. 东江河流生态评价及其修复方略. *水利学报*, 2007, 38(10): 1228-1235.
- [21] 任斐鹏, 江源, 熊兴, 董满宇, 王博. 东江流域近 20 年土地利用变化的时空差异特征分析. *资源科学*, 2011, 33(1): 143-152.
- [22] 李栋科, 丁彦彦, 梁国付, 赵清贺, 汤茜, 孔令华. 基于移动窗口法的豫西山地丘陵地区景观异质性分析. *生态学报*, 2014, 34(12): 3414-3424.
- [23] 张玲玲, 赵永华, 殷莎, 房舒, 刘晓静, 蒲苗苗. 基于移动窗口法的岷江干旱河谷景观格局梯度分析. *生态学报*, 2014, 34(12): 3276-3284.
- [24] 傅伯杰. *景观生态学原理及应用(第二版)*. 北京: 科学出版社, 2011.
- [25] Liu X P, Liang X, Li X, Xu X C, Ou J P, Chen Y M, Li S Y, Wang S J, Pei F S. A future land use simulation model (FLUS) for simulating multiple land use scenarios by coupling human and natural effects. *Landscape and Urban Planning*, 2017, 168: 94-116.
- [26] 黎夏, 李丹, 刘小平. 地理模拟优化系统(GeoSOS)及其在地理国情分析中的应用. *测绘学报*, 2017, 46(10): 1598-1608.
- [27] 龚健, 陈耀霖, 张志. 基于多分类 Logistic 回归模型的区域土地利用变化及驱动因素研究. *湖北农业科学*, 2016, 55(17): 4545-4550.
- [28] 舒帮荣, 李永乐, 曲艺, 梅艳, 雍新琴. 不同经济发展阶段城镇用地扩张特征及其动力——以太仓市为例. *经济地理*, 2013, 33(7): 155-162.
- [29] 卞子浩, 马小雪, 龚来存, 赵静, 曾春芬, 王腊春. 不同非空间模拟方法下 CLUE-S 模型土地利用预测——以秦淮河流域为例. *地理科学*, 2017, 37(2): 252-258.