

漓江流域土地利用时空变化动态监测与分析

● 左天惠^{1,2}, 陆飞扬², 黄 好¹

(1. 广西自然资源调查监测院, 广西 南宁 531002; 2. 梧州市自然资源局, 广西 梧州 543002)

[摘 要] 漓江流域属于典型的喀斯特地貌地区, 为生态脆弱区, 流域土地利用时空变化与区域生态安全格局密切相关, 值得重点关注。文章以漓江流域 1980—2020 年共 8 期土地利用数据为基础, 综合利用“3S”技术, 研究分析了漓江流域历年土地利用变化的时空分异特征及主要驱动因素, 对漓江生态环境修复、土地利用结构调整及社会经济可持续发展提出建议。

[关键词] 漓江流域; 土地利用; “3S”技术; 时空变化; 动态监测

随着漓江流域内经济活动规模的不断扩大, 流域内生态环境有逐步失衡的趋势^[1]。为全面了解漓江流域土地利用时空的变化, 研究小组利用“3S”技术进行动态监测, 通过提取 1980—2020 年间共 8 期各类土地利用时空变化数据后, 运用土地利用动态和转移矩阵方法, 分析漓江流域土地利用时空变化的特征及驱动力。研究结果表明: (1) 流域最主要的土地利用类型为林地, 多年平均占比为 62.21%, 其次为耕地、草地、建设用地和水域; (2) 1980—2020 年以来, 流域各土地利用类型整体变化幅度不大, 主要表现为耕地、林地和草地面积减小, 建设用地和水域面积增加; (3) 1980—2020 年期间流域内各土地利用类型均发生

不同程度变化, 林地面积先减后增再减, 整体变化不大。耕地面积先减少后增加, 再急剧减少。水域面积先增加后减少再增加。草地面积先增加后减少。建设用地面积持续增加, 且增加趋势明显。

1 流域概况及数据处理

1.1 流域概况

漓江流域位于广西东北部、南岭山系西南端, 是珠江水系西江(珠江上游干流)的支流桂江上游河段的通称, 发源于广西兴安县华江乡(四百里越城岭山脉的最高峰)猫儿山东北面海拔 1.732 km (黄海基面)的老山界南侧, 流域范围主要包括象山、七星、叠彩、秀峰、雁山、临桂

[作者简介] 左天惠(1982—), 男, 2010 年毕业于南京大学, 地图学与地理信息系统专业, 研究生, 主要从事测绘应急及测绘地理信息化相关工作, 工程师。

[基金项目] 教育部人文社会科学类规划基金——基于大数据的建设用地空间碳排放效应及多层次土地优化利用研究(19YJAZH00); 广西科技基地和人才专项(桂科 AD20238044)。

等6个区以及灵川县、兴安县、阳朔县、平乐县部分区域,第七次全国人口普查数据及《2021广西统计年鉴》数据显示,2020年,该流域范围内总人口为306.97万,生产总值为1454.78亿元,流域总面积为6352.78 km²,干流全长214 km。整体地势北高南低,以漓江为中轴线,呈南北向狭长带状分布,北部为碎屑岩中低山地貌,中南部主要为低山、丘陵、岩溶地貌,具有典型的喀斯特地貌特征。漓江流域属于南亚热带湿润季风气候区,年平均气温在20℃左右,年降雨量超过1000 mm,降雨空间分布特征为由北向南递减^[2]。

1.2 流域基础数据来源

(1) 流域的基础数据主要来源于漓江流域SRTM_V4 DEM 90 m、ASTER GDEM 30 m、ALOS DEM 12.5 m分辨率数字高程模型(来源自USGS、NASA和JAXA),交通、水系、居民点、行政驻地、行政区划界限和注记等。其中,交通数据包括铁路、高速路、国道、县道;水系包括主要的河流、水库、湿地和湖泊;居民点包括农村居民点和城镇居民点;行政区划分到乡级并标有行政驻地的位置和注记等。

(2) 选取1980年(1980年末期)、1990年、1995年、2000年、2005年、2010年、2015年和2020年共8期流域的土地利用数据,其中前7期数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心,研究小组以Landsat TM/ETM和Landsat 8为主要信息源解译以上数据,分辨率为30 m。该流域2020年的土地利用数据是通过Landsat 8影像数据人工解译获得的。研究小组将该流域的1980—2020年的土地利用分类系统分为2级,一是5个一级土地利用类型,分别为耕地、林地、草地、水域及建设用地,二是14个二级土地利用类型。

(3) 漓江流域内的高分辨率卫星遥感影像数据、DEM数据、社会经济统计数据以及相关的规划资料等,主要有《漓江流域生态保护条例》、

桂林市1:5万地形图、2009年桂林市1:1万土地利用现状图、2020年桂林市行政区划图、《桂林市志(1991—2005年)》《桂林市社会经济统计年鉴(1973—2020年)》《桂林市国民经济和社会发展统计公报(2013年)》《桂林市土地利用总体规划(2006—2020年)》《桂林旅游发展总体规划(2001—2020年)》《桂林市城市总体规划(2010—2020年)》以及《桂林市重点旅游片区规划(2014—2020年)》等。

1.3 数据预处理

为保证漓江流域边界及河网提取准确性,研究小组利用90 m、30 m和12.5 m多种分辨率DEM数据,加入流域高分辨率影像数据自行矢量化的主河道数据,然后利用ArcSWAT软件中Burn-in功能、Pre-defined功能实现对原始DEM及流域边界等进行修正后提取^[3]。最后,提取流域范围对所有地理信息数据进行裁剪、重投影、重分类等预处理,将投影统一定义为CSGS2000-49N。

1.4 2020年漓江流域土地利用数据解译关键技术

1.4.1 影像数据预处理

利用ENVI软件,以流域高程数据和历年影像数据为地理参考,在流域四周选择易识别地物处20个作为地面控制点,通过多项式变换模型,对2020年遥感影像进行几何精校正,采用回归分析去除大气辐射后,利用正射校正降低山体阴影对影像的影响。首先,对校正后的影像进行波段计算,使用Band Math工具分别计算获得NDVI、NDWI、WET、NDBSI、LST、NDBI、LCI等遥感指数图层;其次,对流域DEM数据进行坡度、坡向等常用地形参数计算;再次利用Gram-schmidt Pan Sharpening(GS)工具融合以上所有图层;最后利用提取的流域矢量边界进行裁剪,获得漓江流域遥感影像数据。

1.4.2 遥感影像解译

研究小组基于大数据思维,结合流域实际情况以及已有的成果数据,利用自主研发的随机森林影像分类软件对流域影像进行土地利用类型识别与分类,包括训练样本制作、模型训练及参数调试、地物分类提取等步骤。研究小组制作训练样本时主要参考了2015年土地利用类型数据及流域高分辨率影像,分别针对5类土地利用类型制作了100个样本;然后利用该样本数据进行模型训练和参数调试;最后利用优化后的训练模型及其参数对2020年漓江流域影像进行土地利用数据。

1.4.3 分类后处理

研究小组利用聚类分析(Clump)和去除分析(Eliminate)工具将<4个像元的破碎小图斑进行地类归并,然后结合土地利用现状图、高分辨率遥感影像等资料对分类后的影像进行目视人工修正和检验,应注意调整山体阴影和水体的错分,并利用已有水系、交通矢量数据对分类结果进行修正,以提高解译结果的精度。

1.4.4 精度评价

研究小组采用随机抽样方式,在影像分类结果中随机抽取约300个随机点,结合土地利用现状图、流域高分辨率遥感影像数据等资料,分别把随机点与其实地类型进行比对,输入各随机点的实际类别,生成分类精度报告,经精度评估的总体分类精度为89.73%,达到研究需求。

2 研究方法

2.1 土地利用变化特征

研究小组主要选取单一土地利用动态度(K)和综合土地利用动态度(LC)2个指标,表示土地利用变化的速率与程度,从类型水平和整体来定量评估土地利用变化动态特征。单一土地利用动态度(K)用于表示某种土地利用类型在具体研究

时段的变化速率,综合土地利用动态度(LC)则用于表征某一时段内研究区土地利用类型转化的剧烈程度, LC 的数值越大,说明土地利用变化越剧烈,反之则较弱,计算公式如下^[4]:

$$K = \frac{100 \times (U_b - U_a)}{U_a \times T} \times 100\% \quad (1)$$

$$LC = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta LU_{i-j}}{2LU} \times \frac{1}{T} \times 100\%$$

式(1)中, U_a 和 U_b 分别表示研究期初、期末某种土地利用类型的面积; LU 表示土地利用类型的年际动态变化率; ΔLU_{i-j} 为研究时段 T 内 i 类型土地转为 j 类型土地的面积; T 为监测时长。

2.2 土地利用转移矩阵分析

研究小组基于GDAL库进行二次开发,开发了两期土地利用转移矩阵快速计算工具,对漓江流域1980—2020年以来的8个时段土地利用数据进行转移矩阵分析,之后统计各土地利用类型转移的趋向、面积及变化率,分析各研究阶段土地利用转移特征。

2.3 土地利用变化驱动力分析

研究小组采用定量分析与定性描述相结合的方法,分析不同时段土地利用变化的驱动力。通过对比不同时期土地利用转移特征、三次产业比例、人口数、城市人口数等社会经济指标变化特征,查阅相应时段漓江流域内出台的政策措施等,分析不同时段土地利用变化的主要驱动力。

3 流域土地利用变化情况分析

过去40年中,伴随着城镇化进程的加快、旅游活动的增加,特别是桂林国际旅游胜地建设的持续推进,漓江流域的土地利用发生显著变化。

3.1 流域土地利用总体变化

从土地利用类型构成特征来看(见表1),1980—2020年间漓江流域各土地利用类型均发生了不同程度的变化,到2020年该流域的林地、

表 1 1980—2020 年漓江流域土地利用结构特征表

时间 (年)	统计参数	耕地	林地	草地	水域	建设用地
1980	面积 (km ²)	1 520.71	3 969.10	594.82	89.14	179.01
	比重 (%)	23.94	62.48	9.36	1.40	2.82
1990	面积 (km ²)	1 496.28	3 960.44	601.10	89.34	205.62
	比重 (%)	23.55	62.34	9.46	1.41	3.24
1995	面积 (km ²)	1 489.69	3 927.48	638.46	91.24	205.91
	比重 (%)	23.45	61.82	10.05	1.44	3.24
2000	面积 (km ²)	1 493.92	3 960.63	601.10	90.62	206.51
	比重 (%)	23.52	62.34	9.46	1.43	3.25
2005	面积 (km ²)	1 487.68	3 960.34	600.21	90.97	213.58
	比重 (%)	23.42	62.34	9.45	1.43	3.36
2010	面积 (km ²)	1 482.54	3 961.65	597.70	94.74	216.16
	比重 (%)	23.34	62.36	9.41	1.49	3.40
2015	面积 (km ²)	1 439.35	3 938.72	590.17	98.69	285.86
	比重 (%)	22.66	62.00	9.29	1.55	4.50
2020	面积 (km ²)	1 426.03	3 937.00	576.63	107.58	305.54
	比重 (%)	22.45	61.97	9.08	1.69	4.81
1980—2020	变化量 (km ²)	-94.68	-32.1	-18.19	18.44	126.53
	变化率 (%)	-1.49	-0.51	-0.28	0.29	1.99

耕地和草地面积减少，水域和建设用地面积增加，其中，耕地和建设用地面积变幅最大。林地一直为漓江流域的主要土地利用类型，占总面积的 62% 左右，主要分布在流域的北部猫儿山、越城岭和东部的都庞岭、海洋山等大型山脉，由 1980 年前的 3 969.10 km² 减少到 2020 年的 3 937.00 km²，净减 32.1 km²。耕地作为流域第二大土地利用类型，主要分布在漓江河谷地势平缓地带，为城镇化建设主要区域，因种植结构调整以及建设用地的侵占致使面积持续减少，由 1980 年的 1 520.71 km² 减少到 2020 年的 1 426.03 km²，净减 94.68 km²；草地面积减少了 18.19 km²；水域面积增加了 18.44 km²；建设用地占比不大，约 3%~5%，主要分布在流域内的桂林市区，兴安、灵川、阳朔等县城及周边乡镇等，特别是临桂新区和灵川县等地的建设用地面积，呈快速增加之势，面积由 1980 年的 179.01 km² 快速增加到 2020

年的 305.54 km²，净增 126.53 km²，增长幅度达到 70.7%。这主要是由流域内城镇扩张、工业用地以及旅游景区开发等因素驱动的。

3.2 流域土地利用动态变化分析

1980—2020 年间漓江流域各土地利用类型均发生不同程度变化，林地面积先减后增再减，幅度不大。耕地面积先减少再增加，之后急剧减少，2010—2015 年间减幅最大，净减值为 43.19 km²，约占 1980—2020 年总减少量的 45.6%，近年来桂林市持续进行“旱改水”耕地提质改造项目和“先补后占”“占优补优”的耕地占补平衡等措施使得耕地锐减趋势得到有效控制。草地面积先增加后减少。水域面积先增加后减少，而后持续增加，且增幅较大。建设用地随着灵川县、临桂新区建设和桂林市其他区、兴安县、阳朔县、平乐县等城镇化建设的持续进行而增加，2010—2015 年间增幅最大，5 年内净增 69.7 km²，约占 1980—2020 年

总增加量的 55.1%，增长趋势较为明显。

3.3 流域土地利用转移特征分析

综上所述，研究小组对 1980—2020 年漓江流域的土地利用类型进行分析，得到以下结论：

(1) 漓江流域的耕地、林地、草地、水域和建设用地在 1980—2020 年间的转化率分别为：1.49、0.51、0.28、0.29、1.99，转化率大小排列依次是建设用地>耕地>林地>水域>草地（见表 1）。

(2) 漓江流域林地主要转化为至建设用地。早期主要转化为耕地，主要由开荒种粮、种菜等引起；后期则主要转化为建设用地，主要由流域内城镇化建设而导致的；而后，退耕还林和石漠化治理等措施使林地面积得到一定补充，减缓林地流出趋势。

(3) 耕地的变更范围比较广泛，与其他各类要素间均有转换发生，40 年间转出变化率最高，达到 1.49%（见表 1），主要转出流向建设用地、林地和水域，耕地转出建设用地过程也印证了流域内 2 次城镇化建设高潮，即 1980—1990 年改革开放后城市快速发展和 2010—2015 年间桂林主城区发展及灵川县、临桂新区建设，同时也反映出流域内土地利用结构发生了改变，从农业逐步调整为工业、旅游产业等。

(4) 流域内水域面积增加主要来源于耕地和林地。早期主要来源于耕地，是因为鱼类的养殖效益高，导致大量耕地被用于挖塘养鱼；2000 年后水域面积逐年增加，也主要来源于耕地和林地，且增加趋势较为明显。2011 年后漓江流域持续进行的生态环境修复，建成斧子口、小榕江、川江等多座漓江补水枢纽工程以及建设漓江蓄水坝等的建设，增加流域的水域面积。

(5) 草地的变更较为单一，变化幅度也最小。1980—1995 年间草地面积增加主要来源于林地，而后 2010—2020 年间因经济发展，大量农民进城务工，开荒种粮种果树减少，且部分耕作条件差

的农田被撂荒变为草地，所以草地面积大量增加；草地面积减少主要是由于转为林地、建设用地和耕地等，反映出当地退耕还林和生态修复的效果，有效改善了流域内生态环境，同时也保障了经济发展用地需求。

4 结 语

研究小组以漓江流域为研究对象，基于 1980—2020 年以来 8 期土地利用数据，运用“3S”技术和相关分析方法，综合分析 1980—2020 年间漓江流域土地利用时空变化及驱动力，得到以下结论：

(1) 1980—2020 年漓江流域最主要土地利用类型为林地，多年平均占比为 62.20%，其次为耕地、草地、建设用地和水域，多年平均占比分别为 23.29%、9.45%、3.58%、1.48%。林地分布广泛，耕地和草地分布较为分散，建设用地主要沿河分布，集中在流域中部河谷盆地。

(2) 1980—2020 年以来，漓江流域各土地利用类型整体变化幅度不大，主要表现为耕地、林地和草地面积减小，建设用地和水域面积增加。在此期间，经济进一步发展加快城镇化、工业化和旅游产业化步伐，使得社会经济用地大量侵占生态环境用地，社会经济用地骤增。

(3) 1980—1990 年间流域内各土地利用类型转移的主要去向为建设用地和草地，此阶段由于改革开放发展，城镇化建设迅速起步，建设用地大量增加；1990—2000 年间各土地利用类型转移的主要去向为林地、耕地和水域，此阶段流域内的主要活动为农业生产，各类型土地间的转移主要受农林种植结构调整、挖塘养鱼和占用草地用于农林开发等因素驱动；2000—2010 年后，耕地、建设用地、林地和水域成为流入的主要土地利用类型，耕地和林地则是土地利用转出的主要类型，造成这一时期土地利用变化的主要驱动力是城镇

（下转第 31 页）

地提取出耕地、水体、居民地和林地等重点地物,可以实现较准确的土地利用分类识别,可大大提高影像判读和数据采集的作业效率。这一方法对解决广西地区由于地物复杂、图斑破碎等因素导致的自然资源要素自动提取困难有很好的借鉴意义。■

[参考文献]

- [1] 刘大伟, 韩玲, 韩晓勇. 基于深度学习的高分辨率遥感影像分类研究 [J]. 光学学报, 2016, 36 (4) : 298-306.
- [2] 石林山, 黄河, 史杨, 等. 基于 U-net 的多时相高分

遥感影像耕地语义分割研究 [J]. 仪表技术, 2019 (9) : 23-27.

- [3] 王硕. 基于 U-net 提取 GF-2 遥感影像县域水体的研究 [D]. 廊坊: 北华航天工业学院, 2020.
- [4] 李全红, 李雷, 李纯斌, 等. 基于残差 U-Net 的遥感影像土地覆盖类型自动分割 [J]. 中国土地科学, 2021, 35 (1) : 98-106.
- [5] 许慧敏. 基于深度学习 U-Net 模型的高分辨率遥感影像分类方法研究 [D]. 成都: 西南交通大学, 2018.

(上接第 26 页)

化进程加速、产业结构调整、果业种植等因素; 2010—2020 年间林地、耕地和建设用地是土地利用的主要流入类型, 城镇快速扩张、工业化、旅游业快速发展、农业种植结构调整以及林业、生态建设是此阶段土地利用变化的主要驱动因素。

研究小组分析了漓江流域 1980—2020 年间 8 期土地利用变化的时空特征以及驱动因素, 受遥感影像数据和分辨率等因素限制, 所提取的土地利用类型仅为一级大类, 包括耕地、林地、草地、水域和建设用地, 仅能宏观分析流域的土地利用时空变化情况及趋势, 很难满足流域内土地利用精细化的监管要求。利用“空—天—地”立体化自然资源调查监测手段可提高流域内影像数据获取频次和分辨率, 实现流域自然资源利用精细化时空变化监测及模拟预测。

综上所述, 研究小组为漓江流域的经济与生态环境保护的协调发展提出以下 3 点建议: (1) 严格落实耕地保护政策, 持续进行“旱改水”耕地提质改造项目和“先补后占”“占优补优”的耕地占补平衡等措施, 有效解决流域耕地减少问题; (2) 合理确定规模布局, 强化节约集约用地, 严格控制建设用地中交通、商业、工业用地的规模,

并按照总体规划的布局, 引导向控制协调区集中。

(3) 持续开展流域生态环境修复, 增加流域林地及水域面积。特别是在流域源头核心区域, 要按照生态系统演替的规律和方向, 结合生态环境保护政策, 处理好开发与保护的关系、人与自然的的关系, 按自然资源保护规划“分级保”“分区护”的要求, 合理、科学地进行退耕还林、退园还林, 加强封山育林, 合理利用现有草地规模, 转为灌木林地、乔木林地等林地, 增大林地的范围, 提高森林覆盖率。■

[参考文献]

- [1] 胡金龙. 漓江流域土地利用及生态效应研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2016.
- [2] 林增学. 1985—2014 年漓江流域景观格局动态变化研究 [J]. 中国岩溶, 2019, 38 (3) : 466-471.
- [3] 何文, 卢远, 余玲. 基于 ArcSWAT 的漓江流域河网水系自动提取对比研究 [J]. 地理空间信息, 2015, 13 (6) : 148-149.
- [4] 郑忠明, 李华, 周志翔, 等. 城市化背景下近 30 年武汉市湿地的景观变化 [J]. 生态学杂志, 2009, 28 (8) : 1619-1623.