

# 中国天眼工程周边地区土地利用时空演变与生态环境效应

刘金环<sup>1,3</sup>, 李威<sup>2</sup>, 吴建峰<sup>3,4</sup>

(1. 南宁师范大学 地理科学与规划学院, 广西 南宁 530001; 2. 贵州科学院 贵州省山地资源研究所, 贵州 贵阳 550001; 3. 贵州师范学院 地理与资源学院, 贵州 贵阳 550001; 4. 贵州师范学院 贵州省流域地理国情监测重点实验室, 贵州 贵阳 550018)

**摘要:** [目的] 分析 FAST(中国天眼)工程周边的贵州省平塘县、惠水县、罗甸县的土地利用类型和空间变化,探讨土地利用变化与生态环境的关系,为 FAST 工程周边的生态环境保护 and 改善提供科学参考。[方法] 以 2000,2005,2010,2013 和 2017 年 5 期 TM 遥感影像数据为基础,运用 RS 和 GIS 技术解译遥感影像数据获取惠水县、罗甸县、平塘县“三生”空间的土地利用数据,计算区域生态环境质量指数及其生态贡献率,分析研究区近 20 a 土地利用功能演变特征及区域生态环境响应状况。[结果] ①FAST 周边林地面积比例最大,但呈减少的趋势。研究区土地利用面积表现为:生态用地>生产用地>生活用地,但生活和生产用地面积增加,分别由 1 661.74 和 12.84 km<sup>2</sup> 增加到 1 674.07 和 25.66 km<sup>2</sup>,生态用地面积则由 6 610.55 km<sup>2</sup> 减少到 6 590.86 km<sup>2</sup>。②FAST 工程建设加速土地利用类型的转变,促使 FAST 周边林地生态用地、草地生态用地、农业生产用地、水域生态用地相互转换,其中林地生态用地的转出面积最大,占转出面积的 46.14%。③FAST 周边的生态环境质量指数由 0.471 0 下降到 0.468 1,生态环境呈现下降的趋势,FAST 周边的发展促使高生态环境土地利用转向低生态环境土地利用类型。[结论] FAST 周边的生态环境与土地利用变化存在耦合关系,生态环境质量随生态用地向生产、生活用地转变呈现下降趋势。提高 FAST 周边生态用地质量,有助于 FAST 工程的安全运行。

**关键词:** 三生空间; 土地利用变化; 生态环境效应; 中国天眼(FAST)

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-288X(2021)06-0327-09

**中图分类号:** F301.2, X171.1

**文献参数:** 刘金环, 李威, 吴建峰.中国天眼工程周边地区土地利用时空演变与生态环境效应[J].水土保持通报,2021,41(6):327-335.DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2021.06.042; Liu Jinhuan, Li Wei, Wu Jianfeng. Spatiotemporal land use change and its effects on ecco-environment in area surrounding five-hundred-meter aperture spherical radio telescope [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2021,41(6):327-335.

## Spatiotemporal Land Use Change and Its Effects on Ecco-environment in Area Surrounding Five-Hundred-Meter Aperture Spherical Radio Telescope

Liu Jinhuan<sup>1,3</sup>, Li Wei<sup>2</sup>, Wu Jianfeng<sup>3,4</sup>

(1. School of Geography and Planning, Nanning Normal University, Nanning, Guangxi 530001, China;

2. Guizhou Academy of Sciences, Institute of Mountain Resource of Guizhou Province, Guiyang, Guizhou 550001, China;

3. School of Geography and Resources, Guizhou Education University, Guiyang, Guizhou 550001, China; 4. Guizhou Provincial Key Laboratory of Geographic State Monitoring of Watershed, Guizhou Education University, Guiyang, Guizhou 550018, China)

**Abstract:** [Objective] The spatiotemporal changes in land use types in Pingtang, Huishui, and Luodian counties surrounding the FAST (five-hundred-meter aperture spherical radio telescope) were analyzed, and the relation between land use changes and the ecological environment was explored, in order to provide reference suggestions for the environmental protection and improvement of the ecological environment around the FAST. [Methods] Based on the TM remote sensing image data of 2000, 2005, 2010, 2013 and 2017, RS and GIS technology were used to interpret the remote sensing image data to obtain the productive-living-ecological

收稿日期:2021-05-17

修回日期:2021-07-16

资助项目:贵州省自然科学基金项目“红枫湖流域山水林田湖草生命共同体健康演变过程及驱动机制”(黔科合基础[2020]1Y410号);贵州科学院专项“喀斯特山区生态安全监测与生态修复创新平台建设”(黔科院专合字[2021]03号);贵州科学院专项([2019]08号)

第一作者:刘金环(1999—),女(汉族),广西壮族自治区钦州市人,硕士研究生,研究方向为资源环境遥感与GIS应用。Email:liujinhuanup@163.com。

通讯作者:李威(1986—),男(汉族),贵州省遵义市人,硕士,副研究员,主要从事资源环境遥感与GIS应用方面的工作。Email:liwei\_N70@126.com。

space of Huishui County, Luodian County and Pingtang County of Guizhou Province surrounding FAST. With these land use data, the regional ecological environment quality index and its ecological contribution rate were calculated, and the evolution characteristics of land use function and the response status of regional ecological environment in the past 20 years were analyzed. [Results] ① The forest land around FAST occupied the largest proportion, but showed a decreasing trend. The land use area of productive-living-ecological space was as follows: ecological area > productive area > living area. The area of living and production land increased from 1 671.74, 12.84 km<sup>2</sup> to 1 674.07, 25.66 km<sup>2</sup>, respectively, the ecological land area decreased from 6 610.55 km<sup>2</sup> to 6 590.86 km<sup>2</sup>. ② The construction of the FAST project accelerated the transformation of land use types and promoted the mutual conversion of forest ecological land, grassland ecological land, agricultural production land, and water ecological land around FAST. Among them, forest ecological land had the largest transfer area, accounting for 46.14% of the transferred area. ③ The eco-environmental quality index around FAST dropped from 0.471 0 to 0.468 1, and the eco-environment showed a downward trend. The development around FAST promoted the conversion of land use with high ecological environment to land use with low ecological environment. [Conclusion] There is a coupling relation between the ecological environment and land use changes around FAST. The quality of the ecological environment shows a downward trend as the ecological land changes to production and living land. Improving the ecological land around FAST is beneficial to safe operation of FAST project.

**Keywords: productive-living-ecological space; land use change; eco-environmental effect; FAST**

土地利用/覆被变化(LUCC)是人类活动和自然要素共同作用的结果<sup>[1]</sup>。探索土地利用结构及其功能的演变过程、趋势可以反映区域生态环境变化的方向和速度,进而可对生态环境质量状况进行评估<sup>[2-5]</sup>。

随着全球生态环境问题的日益突出,以及当前社会经济发展对生态环境的重视程度日益增强,土地利用转型与生态环境之间的联系越来越受到关注,已成为当前地理学、生态学和经济学等众多学科研究的热点领域之一<sup>[6]</sup>。“三生”空间是对生态、生产、生活三类空间的总称,相关学者将“三生”空间根据土地在人类生活中所发挥的功能,将其划分为生产用地、生态用地、生活用地<sup>[7-8]</sup>。从“三生”空间研究土地利用转型成为当前国内学者研究的重要研究视角。

在研究的内容上,“三生”空间研究方面国内学者按照不同的区域地理空间尺度进行分析,取得了一系列的成果。黄娟、李阳兵、徐倩等<sup>[9]</sup>以村域为研究对象,运用计量地理模型分析区域三生用地在结构和空间分布特征。杨清可等<sup>[10]</sup>以长江三角洲为例,从三生用地的角度探讨区域生态环境质量恶化的主要原因。焦露等<sup>[11]</sup>从省级行政区的角度分析三生空间转型的生态环境效应,结果显示当前生态环境质量在下降,农业生产及生态用地减少。高星等<sup>[12]</sup>以雄安新区为例,定量分析雄安新区“三生”空间的时空演变及生态环境效应,结果表明生态环境恶化趋势大于生态环境改善趋势。赵旭等<sup>[13]</sup>以县级行政单位为例,运用 CLUE-S 模型预测未来生产、生活和生态空间的动态演变趋势,结果显示生态空间未来将面临严重威

胁。研究过程和内容从尺度、方法上不断丰富拓展,但大多数针对宏观尺度、北方平原、河流流域以及城市等区域,对自然环境较为脆弱复杂的西南山地区域以及国家重大科技工程周边研究相对较少。

FAST 是中国建成的世界上最大射电天文望远镜,也是国家确定的九大科技基础实施之一,周边生态环境在 FAST 运行过程中扮演着极其重要的角色,FAST 周边属于典型的喀斯特峰丛洼地,也是贵州省喀斯特地貌发育的典型区域,独特的地质环境造成生态脆弱性大和敏感性高。《黔南布依族苗族自治州 500 m 口径球面射电望远镜电磁波宁静区环境保护条例》规定 FAST 周边的核心区为禁止开发区,中间区为限制开发区,边远区为适度开发区。FAST 的核心区禁止从事破坏生态环境的活动,当前贵州省生态脆弱区的生态环境衰退,生态修复主要有退耕还林还草,小流域治理<sup>[14]</sup>,发展生态经济<sup>[15]</sup>等。FAST 周边区域有学者研究其乡村振兴<sup>[16]</sup>及其旅游经济效应<sup>[17-18]</sup>,鲜有从“三生”空间角度揭示土地利用和生态环境效应变化的相关研究。

本文以 FAST 周边地区为研究对象,基于“三生”空间视角研究 FAST 周边发展对土地利用的影响和生态环境变化,并对其生态环境效应进行评估,有利于揭示 FAST 周边人类生活—生产活动对生态环境的影响,从整体上掌握 FAST 周围的生态环境变化趋势,为 FAST 的运行和发展提供生态环境保护的建议,促进 FAST 地区土地利用转型与生态环境的协调发展和可持续发展。

## 1 研究区域概况

2013年出台的《贵州省500 m口径球面射电望远镜电磁波宁静区保护办法》中,以FAST台址为中心将FAST周围按照距离的远近进行区域划分,划分结果分为核心区(半径5 km以内)、中间区(半径5~10 km以内)、边远区(半径10~30 km以内),是FAST的安全运行保护方案。FAST的核心区、中间区、边远区分别占据贵州省的平塘县、罗甸县、惠水县,因此本研究选取的研究区域为FAST周边的3个县:平塘县、惠水县、罗甸县。500 m口径球面射电望远镜(FAST)位于贵州省南部的黔南布依族苗族自治州平塘县的克度镇(25°39′10″N,106°51′20″E)喀斯特洼地中。

FAST周边属贵州云贵高原东南坡向广西丘陵过渡地带,地势东南低西北高,地貌的形态主要为溶蚀洼地、落水洞、竖井、天坑。海拔在225~1 690 m之间,属于典型的喀斯特地貌,分布广泛的峰丛洼地。年平均降雨量1 150~1 350 mm之间,4—10月为降雨集中时段,占全年降水的90%左右,降雨分配不均,空间差异大。年均温在15~18℃之间,年平均湿度在75%~79%之间,气候类型属于中亚热带湿润季风气候。

## 2 数据来源与研究方法

### 2.1 数据来源

本研究使用2000,2005,2010,2013和2017年共5期FAST周边平塘县、惠水县、罗甸县1:10万的TM遥感影像数据。遥感数据来源于地理国情监测云平台(<http://www.dsac.cn/>),空间分辨率为30m,利用ENVI和ArcGIS等软件分别对遥感影像进行

几何校正等预处理,几何校正误差在1个像元之内,建立解译标志将5期TM遥感影像数据划分为林地、耕地、建设用地、草地、水域、城乡工矿居民用地与未利用地6大类以及25个二级分类,并参照相关学者对“三生”空间土地利用分类结果<sup>[7-8]</sup>,将FAST周边平塘县、惠水县、罗甸县的土地利用数据分为3个一级类和8个二级类。其他辅助数据如研究区1:5万DEM、行政区划等,所有数据利用研究区矢量边界对其进行裁剪,均统一转换为WGS84/Albers Equal Area Conic投影参与空间计算。

### 2.2 研究方法

2.2.1 土地利用类型转移矩阵 土地利用转移矩阵是对土地利用类型转换的描述,可以反映土地利用类型在一定时间段内的转移数量和转移方向<sup>[19]</sup>,其表达式为:

$$S_{ij} = \begin{pmatrix} S_{11} & \cdots & S_{1n} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ S_{n1} & \cdots & S_{nm} \end{pmatrix} \quad (1)$$

式中: $S_{ij}$ 为研究时段内土地利用类型*i*转换为土地利用类型*j*的面积;*n*为土地利用类型的数量。

2.2.2 生态环境效应 本研究选用模糊赋值的方法对生态环境质量指数进行赋值,主要借鉴不同学者对“三生”空间的生态环境质量指数赋值的研究成果<sup>[20-22]</sup>,结合FAST周边地区的自然地理环境特征情况,对FAST周边的惠水县、罗甸县、平塘县的“三生空间”土地利用类型的生态环境质量指数进行[0,1]之间的模糊赋值,赋值结果详见表1。

通过生态环境质量指数、土地利用转型的生态贡献率来分析FAST周边惠水县、罗甸县、平塘县的土地利用时空转型和生态环境效应。

表1 FAST周边地区“三生”空间土地利用分类与生态环境质量指数

一级土地利用类型	二级土地利用类型	二级分类说明	生态环境质量指数赋值
生产用地	1 农业生产用地	水田、旱地	0.250
	2 工矿生产用地	其他建设用地	0.015
	3 林地生态用地	林地、灌木林地、疏林地、其他林地	0.585
生态用地	4 草地生态用地	高覆盖度草地、中覆盖度草地、低覆盖度草地	0.325
	5 水域生态用地	河渠、湖泊、水库和坑塘、冰川和永久积雪地、海涂、滩地	0.650
	6 其他生态用地	沼泽地、裸土地、裸岩石质地	0.015
生活用地	7 城镇生活用地	城镇用地	0.080
	8 农村生活用地	农村居民点	0.080

①区域生态环境质量指数。区域生态环境质量指数(EV)是描述各区域整体的生态环境质量状况,计算区域内生态用地、生产用地、生活用地不同的生态质量水平和面积比例<sup>[23]</sup>,其表达式为:

$$EV_t = \sum_{i=1}^n \frac{C_{ki}}{C_k} R_i \quad (2)$$

式中:EV<sub>t</sub>为t时期的生态环境质量指数;n为土地利用类型的数量;C<sub>ki</sub>为第k个生态单元内用地类型i的面积;C<sub>k</sub>为第k个生态单元的面积;R<sub>i</sub>为第i种土地利用类型的生态环境质量指数。

②土地利用类型转换的生态贡献率。土地利用转型的生态贡献率是用于描述出土地类型转型所影响的区域生态质量变化,分析造成区域生态环境变化的主导因素<sup>[24]</sup>,其表达式为:

$$LEI = (LE_{t+1} - LE_t) LA / TA \quad (3)$$

式中:LEI为土地利用类型转换的生态贡献率;t为时间;LA为该变化类型的面积;TA为总面积;LE<sub>t</sub>为初期的土地利用变化所赋予的生态环境质量指数;LE<sub>t+1</sub>为末期的土地利用变化所赋予的生态环境质量指数。

## 3 结果与分析

### 3.1 土地利用动态变化

FAST 周边平塘县、罗甸县、惠水县 2000—2017 年 5 期的土地利用如图 1 所示。FAST 周边的土地利用类型主要以林地为主,林地生态用地占总用地面积约 59.36%,惠水县、罗甸县、平塘县的林地覆盖度都很高。其次为草地生态用地、农业生产用地,占比分别大约为 19.92%,20.00%。在 2000—2005 年的土地利用结构中,水域生态用地分布面积较小。到 2010 年之后,水域生态用地面积扩大且主要集中分布在罗甸县。2010 年之后,FAST 周边地区的北部及惠水县北部地区,草地生态用地面积有着明显的变化,主要为生态用地转变为草地生态用地。城镇生活用地的集中分布于县政府驻地的分布相关,农业生产用地呈条状分布在 FAST 周边西北部的惠水县地区,由于惠水县西北部与贵阳市接壤,农业生产用地和城镇居住用地分布较平塘县、惠水县多。其他土地利用类型分布面积较小,且为零散分布在平塘县、惠水县、罗甸县。

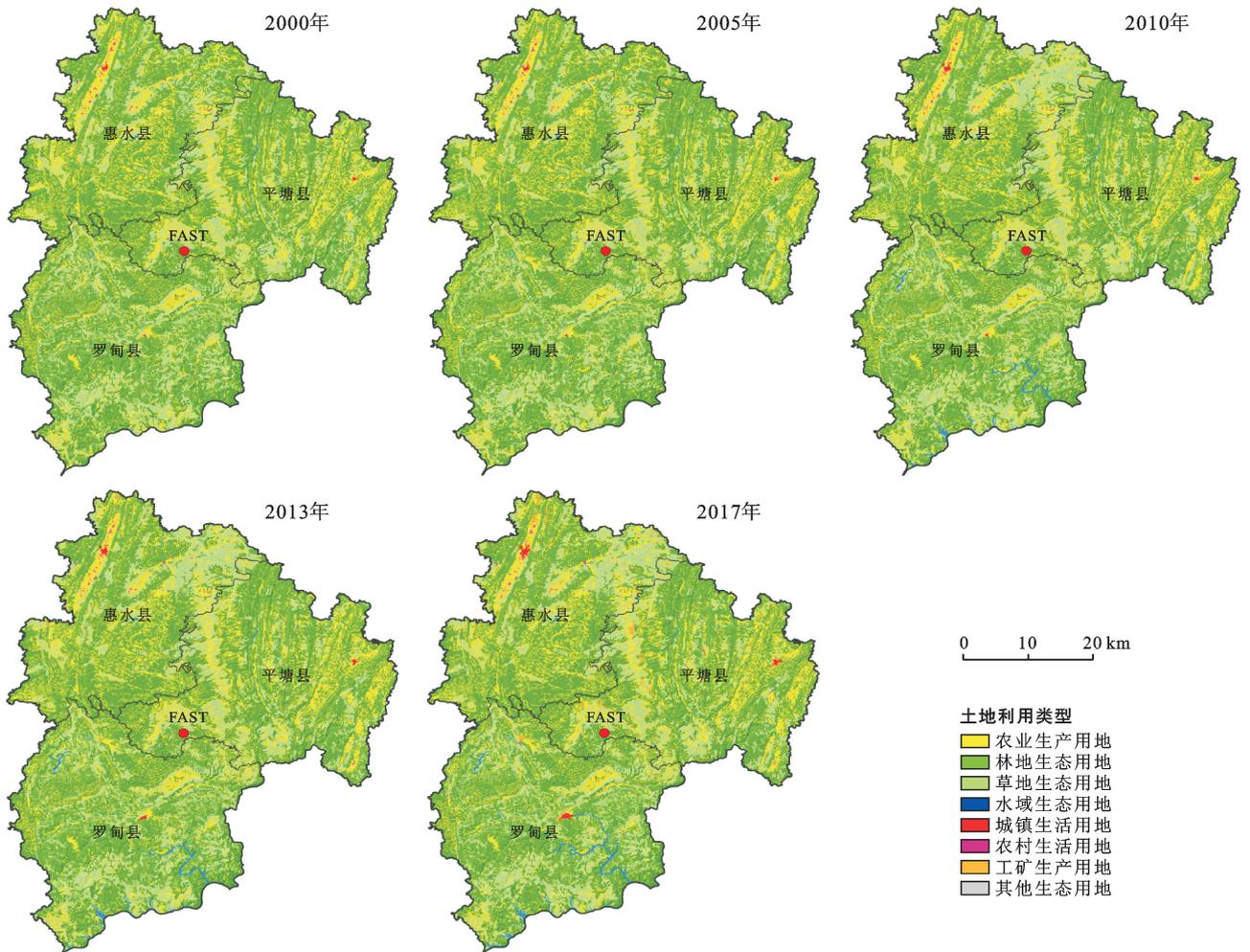


图 1 惠水县、罗甸县、平塘县 2000—2017 年土地利用类型

从 2000—2017 年土地利用变化表(表 2)和“三生”空间变化表(表 3)可以看出,FAST 周边平塘县、惠水县、罗甸县的土地利用面积由大到小顺序为:生态用地>生产用地>生活用地,FAST 周边的林地生态用地、农业生产用地、草地生态用地结构类型占比最大。2000—2017 年 FAST 周边生产用地面积呈现增长的趋势,共增加 12.34 km<sup>2</sup>,农业生产面积减少,工矿生产面积增加。平塘县为生产面积增加主要的地区,2005—2017 年平塘县工矿用地面积共增长 14.82 km<sup>2</sup>,惠水县、罗甸县的生产用地面积基本保持不变或略有减少。在 2005 年之前,FAST 周边土地的生产类型以农业为主,无较大的工业开展。2008 年 FAST 工程项目在平塘县克度镇启动,也带动周边的发展,使建设活动增加,在 2010 年工矿用地的面积增加,主要为平塘县的工矿用地面积变化。2000—2017 年

FAST 周边生态用地面积呈减小的趋势,共减少 19.69 km<sup>2</sup>,主要为平塘县、惠水县生态面积减少,罗甸县的生态面积变化不大。平塘县 2016 年 FAST 工程建设完成,同年平塘县克度镇利用 FAST 的影响力优势发展旅游业,将克度镇打造成为天文小镇,因此 2000—2017 年平塘县的生产用地面积迅速增加,生态用地面积呈现逐年下降的趋势。2000—2017 年 FAST 周边生活用地面积呈现增长的趋势,共增加 12.83 km<sup>2</sup>。总体上 3 个县的生活用地所占的面积比例不大,但农村生活用地和城镇生活用地面积都在持续增长。随着城市化进程的快速发展,城镇生活用地的增长速率大于农村生活用地的增长速率。总之,FAST 周边城市建设,修建公路、发展旅游业等带动经济的发展,也是生态用地面积减少,生产、生活用地面积增加的重要因素。

表 2 FAST 周边地区 2000—2017 年土地利用变化

km<sup>2</sup>

年份	生态用地面积				生产用地面积		生活用地面积	
	林地生态用地	水域生态用地	草地生态用地	其他生态用地	农业生产用地	工矿生产用地	农村生活用地	城镇生活用地
2000	4 962.38	9.12	1 639.05	0.003	1 661.55	0.19	9.20	3.64
2005	5 040.97	8.47	1 546.49	0.004	1 677.05	0.19	9.44	3.64
2010	4 870.42	42.61	1 694.28	0.004	1 661.24	3.16	9.28	5.27
2013	4 871.50	42.92	1 692.53	0.004	1 653.76	9.64	9.77	7.04
2017	4 848.72	61.80	1 680.34	0.004	1 634.01	40.06	13.02	12.64
2000—2005	78.60	-0.65	-92.56	—	15.50	—	0.24	—
2005—2010	-170.55	34.15	147.79	—	-15.81	2.98	-0.16	1.63
2010—2013	1.08	0.31	-1.74	—	-7.49	6.48	0.49	1.78
2013—2017	-22.78	18.88	-12.19	—	-19.75	30.42	3.25	5.59
2000—2017	-113.66	52.68	41.29	—	-27.54	39.88	3.83	9.00

表 3 惠水县、罗甸县、平塘县 2000—2017 年“三生”用地面积变化

地区	“三生”用地	用地面积/km <sup>2</sup>				
		2000 年	2005 年	2010 年	2013 年	2017 年
平塘县	生态用地	2 167.75	2 153.06	2 155.14	2 155.60	2 150.73
	生产用地	632.69	646.93	644.58	644.41	649.33
	生活用地	1.61	1.65	1.92	2.60	4.74
罗甸县	生态用地	2 586.25	2 577.57	2 587.18	2 589.63	2 587.54
	生产用地	423.82	432.57	422.99	420.01	418.80
	生活用地	1.14	1.15	1.13	2.13	5.92
惠水县	生态用地	1 856.55	1 863.07	1 862.75	1 860.18	1 850.14
	生产用地	605.23	597.48	596.59	598.81	605.70
	生活用地	10.07	10.28	11.50	12.08	15.00

### 3.2 土地利用转移矩阵

运用 ArcGIS 空间分析功能,结合公式(1)计算出 FAST 周边地区 2000 和 2017 年的土地利用转移矩阵,描述 FAST 周边 2000—2017 年的土地利用转换数量和方向。

根据 2000—2017 年平塘县、惠水县、罗甸县土地利用转移矩阵表(表 4)和 2000—2017 年 FAST 周边土地利用转移情况(图 2),2000—2017 年的土地利用变化方向主要在林地生态用地、草地生态用地、农业生产用地、水域生态用地之间相互转换。①FAST 周

边土地利用转移空间。2000—2017 年林地生态用地转变为草地生态用地明显的区域位于研究区的北部。水域生态用地的变化主要位于罗甸县,水域面积增大是在原河流的基础上占用周围的林地、农业用地、农村生活用地河流进行拓宽。工矿生产用地的变化主要位于平塘县 FAST 项目及周边地区,FAST 项目对土地利用的转移产生影响。城镇生活用地增加主要是以县中心向周围扩大增加,县中心优越的交通、经济等条件有利于城镇化的发展,但总体上变化的面积不大。FAST 周边其他的“三生”用地类型未发生明显的变化。② FAST 周边土地利用转移方向。2000—2017 年林地生态用地的转出面积最大。

FAST 周边的林地 8.76% 转变为水域生态用地,53.51% 转变为草地,33.47% 转变为农业生产用地。草地 60.42% 转变为林地,30.02% 转变为农业生产用地。农业生产用地 57.58% 转变为林地,4.56% 转变为水域,24.91% 转变为草地。2000—2017 年,其他生态用地面积几乎保持不变,工矿生产用地、农村生活用地、城镇生活用地的面积转换速率都很小,面积并无较大的变化。2000—2017 年,林地生态用地、草地生态用地、农业生产用地的土地利用产生很大的改变。工矿业的发展、城镇的发展、旅游业的发展等生产、生活功能都主要是占用生态用地进行发展,导致生态用地向生产用地、生活用地转型。

表 4 惠水县、罗甸县、平塘县 2000—2017 年土地利用转移矩阵

km<sup>2</sup>

土地利用类型	2017 年面积								总计
	林地生态用地	水域生态用地	草地生态用地	其他生态用地	农业生产用地	工矿生产用地	农村生活用地	城镇生活用地	
林地生态用地	4 586.73	32.77	200.16	0.001	125.17	14.80	0.40	0.73	4 960.76
水域生态用地	0.50	8.20	0.14	—	0.15	—	—	0.00	8.99
草地生态用地	129.39	8.97	1 424.48	—	64.28	10.36	0.44	0.70	1 638.63
其他生态用地	0.00	—	—	0.002	—	—	—	—	0.00
农业生产用地	126.20	10.72	54.60	—	1 442.12	14.69	5.34	7.62	1 661.29
工矿生产用地	—	—	0.02	—	—	0.16	—	—	0.18
农村生活用地	0.12	0.19	0.04	—	1.94	0.03	6.84	0.04	9.20
城镇生活用地	0.01	—	0.01	—	0.07	0.01	—	3.54	3.64
总计	4 842.94	60.85	1 679.45	0.003	1 633.73	40.06	13.02	12.64	8 282.69

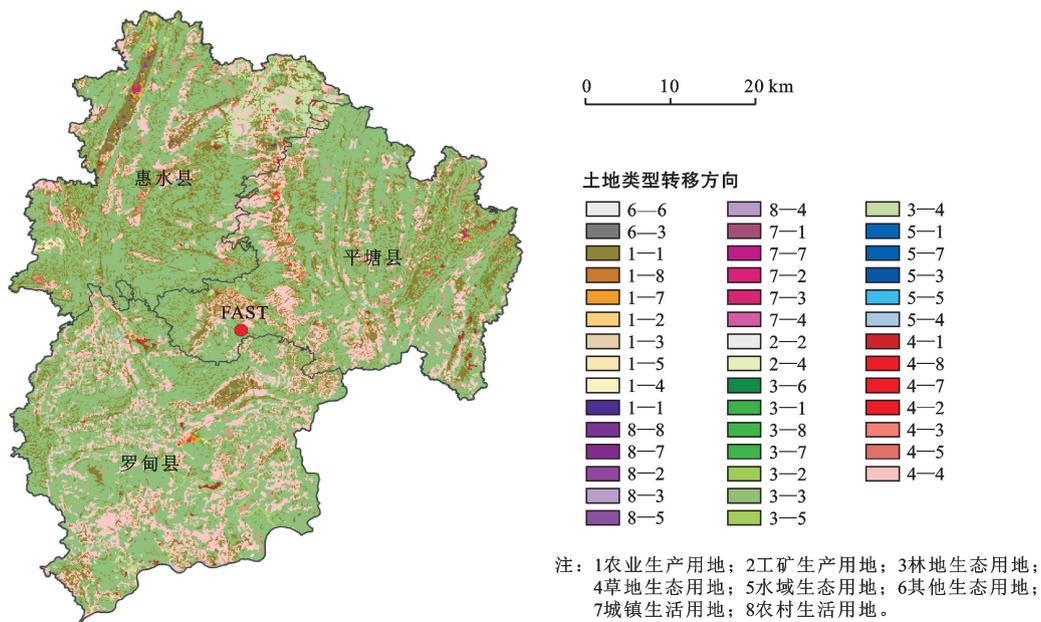


图 2 FAST 周边 2000—2017 年土地利用类型转移情况

### 3.3 生态环境效应

根据公式(2),计算得出 2000,2010 和 2017 年 FAST 周边惠水县、罗甸县、平塘县“三生”空间的生

态环境质量指数。得出 2000 年的生态环境质量指数为 0.471 0,2010 年的生态环境质量指数为 0.469 5,2017 年的生态环境质量指数为 0.468 1。在 2000—

2010年,生态环境质量指数下降0.0015;在2010—2017年间,生态环境质量指数下降0.0014。结果表明,FAST周围惠水县、罗甸县、平塘县的生态环境质量指数总体呈略微下降的趋势,虽下降的幅度不大,但仍表明生态环境质量下降的趋势,生态环境总体呈现衰退。其中在2000—2010年间的生态环境质量下降程度较2010—2017年的大,2010—2017年间的生态环境下降状况较为缓慢。

对研究区2000,2010,2017年3期土地利用采用900 m<sup>2</sup>网格大小将土地利用类型划分为10 673个网格单元,运用公式(2)计算每个网格单元的生态环境质量指数,计算得到的生态环境质量指数赋给划分网格单元的中心点,对中心点进行空间差值,得到三期生态环境质量空间分布图,并用自然断点法(ArcGIS

该分类方法是利用统计学上的Jenks最优化法得出分界点,能够使划分各级之间的内部方差之和达到最小)划分为5类,依次划为差、较差、一般、较好和好5类(如图3所示)。研究区生态环境质量大部分地区属于较好、好水平,在空间上呈现南部优于北部的状态,高值区域主要分布在惠水县南部、平塘县北部以及罗甸县中部区域,差值区域主要分布在县域和镇域周边,范围逐渐扩大,主要是由于研究时段城市建成区域扩张速度加快,其中惠水县生态环境质量空间变化最为明显,2010年在惠水县北部生态环境质量呈现明显下降,由高质量区转变为较差、差质量区,主要原因是惠水北部长田工业园区建设扩张导致,罗甸县的生态环境质量保持在中、高质量水平,变化相对较小。

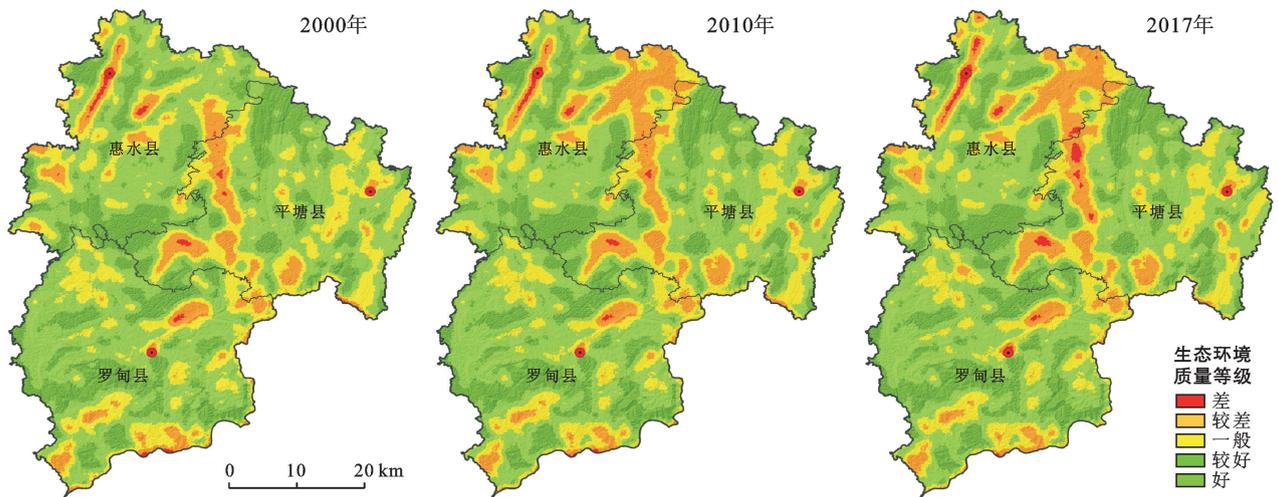


图3 FAST周边地区生态环境质量空间分布

根据公式(3)分别计算出2000—2010年和2010—2017年导致FAST周边生态环境变化的主导土地利用变化类型和生态环境贡献比重(表5)。由表5可知,土地利用类型之间的相互转化会产生正面的生态环境效应,也会产生负面的生态环境效应<sup>[25]</sup>。生态环境改善的同时也会存在生态环境衰退,使得生态环境变化的幅度不大<sup>[26]</sup>,生态环境改善的幅度大于衰退的幅度,则生态环境为改善的趋势,反之则为衰退的趋势。2000—2010年,FAST周边的生态环境变化幅度较大。农业生产用地、草地生态用地转变为林地生态用地,为FAST周边的生态环境的改善分别提供56.66%和36.44%的贡献率。林地生态用地转变为农业生产用地、草地生态用地导致FAST周边生态环境的衰退的占比分别为46.05%,45.66%。2010—2017年,FAST周边生态环境变化幅度较小。农业生产用地、草地生态用地转变为林地生态用地为

FAST周边的生态环境的改善分别提供55.40%和17.84%的贡献率。林地生态用地转变为农业生产用地、工矿生产用地导致FAST周边生态环境衰退的占比分别为35.94%,26.09%。2010—2017年与2000—2010年相比,影响FAST周边生态环境衰退的主要土地利用类型发生改变,由林地生态用地—草地生态用地变为林地生态用地—工矿生产用地,因此可知工矿生产用地的增加为2000—2017年导致生态环境衰退的重要原因。

综上所述,FAST周边的生态环境整体呈现下降的趋势。在2000—2010年生态环境变化较大主要是由于2008年FAST项目启动需要工程开发,新修公路,促使生态环境变化幅度较大。总体来看,2008—2016年间,FAST工程建设、生态移民、城镇化、旅游业的发展,加速周边土地利用的转换,从而使FAST周边的高生态指数土地利用转向低生态指数的土地

利用,导致生态环境衰退。同时,考虑 FAST 周边旅游业的发展,未来的发展中会占用更多的生态用地,并转变为生产用地、生活用地,FAST 周边的生态环

境还会产生下降的趋势。因此在 FAST 周边的未来发展中,要注重生态用地的保护和建设,对生态用地进行调整和优化,以防止生态环境质量的恶化。

表 5 FAST 周围生态环境变化的主导土地利用变化类型及贡献率

类型	2000—2010 年			2010—2017 年		
	主要土地利用 转型类型	指数变化	贡献的 比重/%	主要土地利用 转型类型	指数变化	贡献的 比重/%
导致生态环境改善	农业生产用地—林地生态用地	0.006 08	56.66	农业生产用地—林地生态用地	0.001 18	55.40
	草地生态用地—林地生态用地	0.003 91	36.44	草地生态用地—林地生态用地	0.000 38	17.84
	农业生产用地—水域生态用地	0.000 35	3.26	农业生态用地—水域生态用地	0.000 20	9.39
	草地生态用地—水域生态用地	0.000 20	1.86	农业生态用地—草地生态用地	0.000 15	7.04
	林地生态用地—水域生态用地	0.000 17	1.58	草地生态用地—水域生态用地	0.000 12	5.63
	农村生活用地—农业生产用地	0.000 02	0.19	林地生态系统—水域生态系统	0.000 10	4.70
	合计	0.010 73	99.99		0.002 13	100
导致生态环境衰退	林地生态用地—农业生产用地	0.006 00	46.05	林地生态用地—农业生产用地	0.001 24	35.94
	林地生态用地—草地生态用地	0.005 95	45.66	林地生态用地—工矿生产用地	0.000 90	26.09
	草地生态用地—农业生产用地	0.000 92	7.06	农业生态用地—工矿生产用地	0.000 42	12.17
	林地生态用地—工矿生产用地	0.000 10	0.77	草地生态用地—工矿生产用地	0.000 40	11.59
	农业生产用地—城镇生活用地	0.000 03	0.23	林地生态用地—草地生态用地	0.000 35	10.15
	农业生产用地—农村生活用地	0.000 03	0.23	草地生态用地—农业生产用地	0.000 14	4.06
	合计	0.013 03	100		0.003 45	100

## 4 结论

(1) 2000—2017 年 FAST 周边平塘县、惠水县、罗甸县的“三生”空间土地利用类型表现为:生态用地>生产用地>生活用地,以林地分布为主,FAST 周边的林地覆盖度都很高,林地生态用地的占总用地面积约为 59.36%,其次为草地生态用地、农业生产用地。2000—2017 年,FAST 周边的生态占地面积呈现减小变化,而生活、生产占地面积呈现增长变化。

(2) 2000—2017 年 FAST 周边平塘县、惠水县、罗甸县土地利用转变类型中,转出面积最大的为林地生态用地,占转出面积的 46.14%,转入面积最大的为草地生态用地和农业生产用地。FAST 工程建设加速土地利用类型的转变,促使 FAST 周边林地生态用地、草地生态用地、农业生产用地、水域生态用地的相互转换,并加快转换速度。

(3) 2000—2017 年 FAST 周边的生态环境质量指数由 0.471 0 下降到 0.468 1,生态环境呈现下降的趋势,但整体的下降幅度不大。生态环境呈现下降的趋势主要是 FAST 周边的发展占用生态功能的土地利用类型,促使高生态环境质量指数的生态用地转向低生态环境质量指数的生产用地和生活用地,导致生态环境质量指数下降,生态环境衰退。

FAST 项目以及天文小镇的建成将带动周边旅游业的发展,FAST 周边乡村旅游是当前政府主要的

发展方向,对促进农村经济和农民致富起到积极作用,本研究基于“三生”空间对 FAST 周边土地利用进行定量化研究,从土地利用变化分析生态环境效应,结果显示 FAST 周边区域生态环境质量略有下降。FAST 为中国重大工程科技项目,周边的生态环境对其安全运行有着重要的意义,为保障 FAST 项目的安全运行以及地方经济的发展,建议加大 FAST 周边生态环境保护宣传,提高周边居民的生态环境保护意识;增加生态用地规划发展,发展生态农业和生态旅游,扩大生态用地面积,提高 FAST 周边的生态环境质量;制定和完善生态环境保护法律法规,严格执行生态保护红线,在发展 FAST 周边的同时注重经济与生态环境协调发展。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 马恩朴,蔡建明,林静,等.远程耦合视角下的土地利用/覆被变化解释[J].地理学报,2019,74(3):421-431.
- [2] 王晓东,蒙古军.土地利用变化的环境生态效应研究进展[J].北京大学学报(自然科学版),2014,50(6):1133-1140.
- [3] 李婧,马莉.盐池县土地利用变化与生态环境的耦合关系[J].中国水土保持科学,2020,18(2):19-25.
- [4] 何青泽.重庆北碚土地利用转型及生态效应研究[D].重庆:西南大学,2019.
- [5] Wang Hong, Liu Xingming, Zhao Chuanyan, et al. Spatial-temporal pattern analysis of landscape ecological risk assessment based on land use/land cover change in

- Baishuijiang National Nature Reserve in Gansu Province, China [J]. *Ecological Indicators*, 2021, 124(1):1-11.
- [6] Chen Longgao, Yang Xiaoyan, Chen Longqian, et al. Impact assessment of land use planning driving forces on environment [J]. *Environmental Impact Assessment Review*, 2015, 55(6):126-135.
- [7] 张红旗, 许尔琪, 朱会义. 中国“三生用地”分类及其空间格局[J]. *资源科学*, 2015, 37(7):1332-1338.
- [8] 刘继来, 刘彦随, 李裕瑞. 中国“三生空间”分类评价与时空格局分析[J]. *地理学报*, 2017, 72(7):1290-1304.
- [9] 黄娟, 李阳兵, 徐倩. 印江县村域“三生用地”的利用结构与空间格局[J]. *西南农业学报*, 2019, 32(2):395-402.
- [10] 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.
- [11] 焦露, 薛哲进, 尹剑, 等. “三生空间”视角下喀斯特地区土地利用转型的生态环境效应:以贵州省为例[J]. *生态经济*, 2020, 36(4):206-212.
- [12] 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.
- [13] 赵旭, 汤峰, 张蓬涛, 等. 基于 CLUE-S 模型的县域生产—生活—生态空间冲突动态模拟及特征分析[J]. *生态学报*, 2019, 39(16):5897-5908.
- [14] 苏孝良. 贵州喀斯特石漠化与生态环境治理[J]. *地球与环境*, 2005(4):24-32.
- [15] 苏维词, 潘真真, 郭晓娜, 等. 黔南 FAST 周边典型喀斯特峰丛洼地石漠化生态修复模式研究:以平塘县克度镇刘家湾周边为例[J]. *中国岩溶*, 2016, 35(5):503-512.
- [16] 许玉凤, 陈洪升, 王廷勇. FAST 工程带动周边乡村振兴发展探讨[J]. *合作经济与科技*, 2018(9):36-38.
- [17] 王海. “中国天眼”旅游景区运营研究[D]. 贵州 贵阳: 贵州大学, 2018.
- [18] 陈小静. 新时期平塘县甲茶景区旅游营销提升研究[J]. *农村经济与科技*, 2019, 30(18):160-161.
- [19] 谢叶伟, 刘兆刚, 赵军, 等. 基于 RS 与 GIS 的典型黑土区土地利用变化分析:以海伦市为例[J]. *地理科学*, 2010, 30(3):428-434.
- [20] 李晓文, 方创琳, 黄金川, 等. 西北干旱区城市土地利用变化及其区域生态环境效应:以甘肃河西地区为例[J]. *第四纪研究*, 2003(3):280-290, 348-349.
- [21] 秦泗刚. 城市边缘区土地利用变化及其生态环境效应[D]. 陕西 西安: 西北大学, 2005.
- [22] 冯涛, 石培基, 张学斌, 等. 河谷型城市“三生”空间竞争与生态环境效应:以兰州市为例[J]. *水土保持研究*, 2021, 28(3):229-234, 241.
- [23] 路昌, 张傲. 东北地区土地利用转型及其生态环境效应[J]. *中国农业大学学报*, 2020, 25(4):123-133.
- [24] 罗刚, 廖和平, 李强, 等. 基于“三生空间”的土地利用主导功能转型及其生态环境响应:以重庆市巴南区为例[J]. *西南大学学报(自然科学版)*, 2018, 40(4):105-113.
- [25] 何青泽, 谢德体, 王三, 等. 重庆市北碚区土地利用转型及生态环境效应[J]. *水土保持研究*, 2019, 26(2):290-296.
- [26] 张杨, 刘艳芳, 顾渐萍, 等. 武汉市土地利用覆被变化与生态环境效应研究[J]. *地理科学*, 2011, 31(10):1280-1285.

(上接第 326 页)

- [21] 巩杰, 赵彩霞, 谢余初, 等. 基于景观格局的甘肃白龙江流域生态风险评价与管理[J]. *应用生态学报*, 2014, 25(7):2041-2048.
- [22] 肖琳, 田光进. 天津市土地利用生态风险评价[J]. *生态学杂志*, 2014, 33(2):469-476.
- [23] 侯蕊, 李红波, 高艳丽. 基于景观格局的武汉市江夏区土地利用生态风险评价[J]. *水土保持研究*, 2021, 28(1):323-330, 403.
- [24] 白立敏, 修春亮, 冯兴华, 等. 基于土地利用变化的长春市生态风险评价[J]. *生态科学*, 2019, 38(3):26-35.
- [25] 陈心怡, 谢跟踪, 张金萍. 海口市海岸带近 30 年土地利用变化的景观生态风险评价[J]. *生态学报*, 2021, 41(3):975-986.
- [26] 卢燕. 乌鲁木齐城市生活空间研究[D]. 湖北 武汉: 华中师范大学, 2018.
- [27] 李宗阳. “三生空间”视角下西北干旱区城市综合承载力研究[D]. 新疆 石河子: 石河子大学, 2019.
- [28] 张月, 张飞, 周梅, 等. 干旱区内陆艾比湖区域景观生态风险评价及时空分异[J]. *应用生态学报*, 2016, 27(1):233-242.
- [29] 潘竟虎, 刘晓. 疏勒河流域景观生态风险评价与生态安全格局优化构建[J]. *生态学杂志*, 2016, 35(3):791-799.