

基于 FLUS 模型的喀斯特地区生态用地 时空变化及多情景预测

——以湖南省宁远县为例

林彤¹, 冯兆华², 吴大放¹, 杨木壮¹, 马佩芳¹

(1.广州大学 地理科学与遥感学院, 广东 广州 510006; 2.湖南省第二测绘院, 湖南 长沙 410000)

摘要: [目的] 分析近 2000—2020 年喀斯特地区生态用地数量分布特征, 预测未来多情景下生态用地变化情况, 寻求协调生态保护与发展建设的最优情景, 为研究区未来国土空间开发保护, 生态空间管控以及区域生态经济可持续发展提供科学参考。[方法] 采用土地利用转移矩阵和动态度分析湖南省宁远县土地利用变化特点, 基于 FLUS 模型, 模拟预测 2030 年不同情景下生态用地数量及分布。[结果] ①耕地主要集中在宁远县中部区域, 林地、草地原生态用地主要分布在南北两端和西部。2020 年, 原生态用地中, 林地所占比例为 56.69%, 草地所占比例为 12.85%, 水域为 0.60%, 半人工生态用地即耕地所占比例为 27.80%。②多情景模拟结果显示: 生态优先情景下, 宁远县原生态用地中林地、草地、水域分别较 2020 年增加了 15.12, 37.35, 23.67 hm²。③政策对喀斯特地区生态用地变化有着极大的导向作用, 社会经济发展对水域的增加有显著影响。[结论] 宁远县原生态用地所占比例高达 70.14%。生态保护优先情景能够最大程度保障生态用地不被非生态用地侵占。在以建设森林城市为目标导向的情况下, 宁远县及同类地区适宜采用该情景进行城市发展。

关键词: 土地利用变化; 生态用地; FLUS 模型; 多情景模拟; 喀斯特地区; 宁远县

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2022)02-0219-09

中图分类号: X171.1

文献参数: 林彤, 冯兆华, 吴大放, 等. 基于 FLUS 模型的喀斯特地区生态用地时空变化及多情景预测[J]. 水土保持通报, 2022, 42(2): 219-227. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2022.02.030; Lin Tong, Feng Zhaohua, Wu Dafang, et al. Spatial-temporal changes and multi-scenario prediction of ecological land in karst area based on FLUS model [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2022, 42(2): 219-227.

Spatial-temporal Changes and Multi-scenario Prediction of Ecological Land in Karst Area Based on FLUS Model

—A Case Study in Ningyuan County, Hunan Province

Lin Tong¹, Feng Zhaohua², Wu Dafang¹, Yang Muzhuang¹, Ma Peifang¹

(1. College of Geography and Remote Sensing, Guangzhou University, Guangzhou, Guangdong

510006, China; 2. The Second Surveying and Mapping Institute of Hunan Province, Changsha, Hunan 410000, China)

Abstract: [Objective] The quantity and distribution characteristics of ecological land in the karst area during 2000—2020 were analyzed and the changes in ecological land based on multi-scenario decisions in the future were predicted to seek the optimal scenario and coordinate ecological protection and development, in order to provide a theoretical foundation for the future land space development and protection, ecological space management and regional eco-economic sustainable development of the study area. [Methods] The land use transfer matrix and dynamic degree model was used to analyze the land-use change characteristics at Ningyuan County, Hunan Province. The FLUS (future land use simulation) model was used to simulate and

收稿日期: 2021-10-11

修回日期: 2021-11-15

资助项目: 广东省哲学社会科学“十三五”规划 2020 年度学科共建项目“粤港澳大湾区高产出耕地的生态风险识别、评价与防控研究”(GD20XYJ32); 广东省教育科学“十三五”规划 2020 年度研究项目(2020GXJK199); 2020 年广东省研究生教育创新计划项目(2020JGXM085); 2020 年度广东省高等教育教学改革项目(462); 广州大学 2021 年校内科研项目(研究类)(YJ2021007)

第一作者: 林彤(1998—), 女(汉族), 广东省韶关市人, 硕士研究生, 研究方向为土地利用规划。Email: 843633402@qq.com。

通讯作者: 吴大放(1981—), 男(汉族), 湖南省岳阳市人, 博士, 副教授, 主要从事土地资源开发利用与保护方面的研究。Email: wudaf2004@163.com。

predict the quantity and distribution of ecological land under different scenario decisions in 2030. [Results]

① Cultivated land was mainly concentrated in the central area of Ningyuan County, and the original ecological land of forest land and grassland was mainly distributed in the north, south, and west. Among the natural ecological land in 2020, forest land accounted for 56.69%, grassland for 12.85%, and water area for 0.60%, and semi-artificial ecological land of cultivated land, accounted for 27.80%. ② Under the ecological protection priority scenario, the forest land, grassland, and water area increased by 15.12, 37.35, and 23.67 hm², respectively, compared with those in 2020. ③ The policy had a significant regulating effect on the change of ecological land in the karst area, and socioeconomic development had a significant impact on water area increase. [Conclusion] The proportion of original ecological land in Ningyuan County is as high as 70.14%. The priority scenario of ecological protection ensures that ecological land is not occupied by non-ecological land at the maximum extent. This scenario is suitable for the urban development of Ningyuan County or the similar areas under the goal of building a forest city.

Keywords: land use change; ecological land; FLUS model; multi-scenario simulation; karst area; Ningyuan County of Hunan Province

生态用地是以提供环境调节、生物支持等生态系统服务和生态产品为主体功能的土地利用类型^[1],是衡量区域国土生态环境质量优劣的“晴雨表”^[2]。随着工业化、城镇化和农业现代化同步发展,农业和生态用地空间受到挤压,国土空间格局矛盾加剧。《全国国土规划纲要(2016—2030年)》指出,中国资源约束加剧,生态环境压力加大,耕地土壤环境质量堪忧,生态系统功能不断退化,部分地区森林破坏、水土流失、湿地萎缩、草原退化等问题突出^[3]。随着生态文明建设战略地位提升,中国对统筹推进国土开发、利用、保护和整治提出了明确要求,要严格水土资源保护,提高自然生态系统功能,构建安全和谐的生态环境保护格局。

国外对于生态用地没有明确的定义与划分,通常在对土地系统分类时考虑生态系统功能^[4-7],或将土地利用变化与生态环境安全^[8-9]进行综合分析。中国对生态用地的研究还处于起步阶段,主要在生态用地的分类、格局评价、优化模拟和保护利用 4 个方面进行探讨^[1]。目前中国对于生态用地的划分标准还未完全统一^[10-11],争议焦点是兼具生产生态功能的耕地是否应当划入生态用地^[12-14]。除此之外,还围绕生态用地时空变化^[15]和驱动因素^[16]进行探讨,近年来还逐渐重视对生态环境效应的影响^[17-20]。随着 FLUS 模型的提出以及广泛运用,越来越多研究开始对未来土地利用进行模拟预测^[21-23]。近年来也有研究对生态用地进行多情景模拟预测^[24-25],以确定保护生态用地的最佳发展模式。喀斯特地区生态系统较为脆弱,水土流失和石漠化等问题较严重,平地少,山地多,在有限可利用土地资源上要解决“吃饭、建设和生态”三者的问题^[26]。随着喀斯特地区城镇迅速发展,脆弱的生态系统面临着开发建设带来的一系列生态环境

问题。国内外目前对于喀斯特地区生态用地研究主要集中在时空变化^[27-28]、生态环境效应^[29]、生态红线划定^[30]、生态安全格局^[31-32]、“双评价”^[33]、驱动力分析等^[34-35]方面,少有模拟预测未来时点不同情景下喀斯特地区生态用地变化情况,已有研究多将所有地类进行统一考量^[36],没有重点关注到生态用地的变化^[37-38],或是未考虑到不同情景下的土地利用模式^[39]。如何划分喀斯特地区的生态用地类型?喀斯特地区生态用地有何特点,呈现何种变化趋势?何种情景能够处理喀斯特地区保障发展和保护生态的关系?这些科学问题尚未有答案,亟待解决。基于此,本研究以湖南省宁远县为例,在获取宁远县 2000,2010 和 2020 年土地利用覆被数据的基础上,先划分生态用地类别,然后分析生态用地数量结构时空变化特征,最后用 FLUS 模型,综合自然地理因素、社会经济因素和生态环境因素 3 大层面共 10 个影响因素,预测 2030 年在自然发展情景、生态优先情景和快速发展情景下宁远县生态用地空间分布状况,选出最优发展情景,为宁远县或同类地区未来国土空间开发保护、生态空间管控以及区域生态经济可持续发展提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

宁远县位于湖南省永州市南部,地理坐标为东经 110°42′—112°27′,北纬 25°11′—26°08′,辖 16 个乡镇(其中少数民族乡 4 个),4 个街道办事处,4 个国有林场,土地总面积 2 510 km²。截至 2020 年初,全县户籍总户数 26.58 万户,户籍总人口 89.24 万人。年末全县常住人口 71.43 万人,常住人口中的城镇人口为 33.09 万人,城镇化率为 46.33%。宁远县境内喀斯

特地貌广布,森林覆盖率较高,有得天独厚的生态环境,是湖南省用材林基地县之一,具有重要的生态战略地位。宁远县属中亚热带季风湿润区,气候温暖,雨量丰沛,水系发育,素有“天然温室”之称。宁远县山地面积广,是典型的喀斯特地区,山丘面积占全县面积的 63%。地貌类型多样,山地、丘陵、岗地、平原、水面之比大体为 47:15:16:20:2。2020 年,全县实现地区生产总值 2 323 706 万元,同比增长 4.1%^[40]。

1.2 数据来源

土地利用覆被数据源于 GlobeLand30 全球公共地理信息平台 (<http://www.globallandcover.com/>),该平台是中国研制的 30 m 空间分辨率全球地表覆盖数据。GlobeLand30V2010 数据的总体精度为 83.50%,kappa 系数 0.78。GlobeLand30V2020 数据的总体精度为 85.72%,kappa 系数为 0.82。GlobeLand30 数据共包括 10 个 1 级类型,分别是:耕地、林地、草地、灌木地、湿地、水体、苔原、人造地表、

裸地、冰川和永久积雪。在获取中国共 53 个分幅原始数据的基础上,基于 ArcGIS 平台,经投影变换、拼接、裁剪等处理,得到中国区域地表覆被数据,数据为 30 m 分辨率,坐标系统为 Albers 等积投影。然后根据宁远县行政边界矢量数据裁剪出宁远县 2000、2010 年和 2020 年土地利用覆被数据。

自然地理数据如 DEM 数据来源于 SRTM 90 m 数据集。社会经济数据源于《宁远县国民经济和社会发展统计公报(2000—2020 年)》《宁远县统计年鉴(2000—2020 年)》。

1.3 研究方法

1.3.1 喀斯特地区生态用地划定 根据龙花楼等^[13]对生态用地的概念涵义及分类表,基于研究区土地利用覆被数据特征,对生态用地进行定性的范围界定和分级分类(表 1),主要划分出两大类生态用地,分别是半人工生态用地(耕地)和原生态用地(林地、草地、水域、湿地),其余为非生态用地(建设用地)。

表 1 基于土地利用类型特征的生态用地分级分类

一级类		二级类		分类标准
代码	类别	代码	类别	
1	半人工生态用地	11	耕地	用于种植农作物的土地,包括水田、灌溉旱地、雨养旱地、菜地、牧草种植地、大棚用地、以种植农作物为主间有果树及其他经济乔木的土地,以及茶园、咖啡园等灌木类经济作物种植地
		21	林地	乔木覆盖且树冠盖度超过 30% 的土地,包括落叶阔叶林、常绿阔叶林、落叶针叶林、常绿针叶林、混交林,以及树冠盖度为 10%~30% 的疏林地
2	原生态用地	22	草地	天然草本植被覆盖,且盖度大于 10% 的土地,包括草原、草甸、稀树草原、荒漠草原,以及城市人工草地等
		23	水域	陆地范围液态水覆盖的区域,包括江河、湖泊、水库、坑塘等
		24	湿地	位于陆地和水域的交界带,有浅层积水或土壤过湿的土地,多生长有沼生或湿生植物。包括内陆沼泽、湖泊沼泽、河流洪泛湿地、森林/灌木湿地、泥炭沼泽、红树林、盐沼等

1.3.2 FLUS 模型 FLUS 模型是一种通过耦合人类活动和自然效应来模拟多类型土地利用情景的集成模型,由刘小平等^[41]学者提出。FLUS 模型的自适应惯性和竞争机制能够解决不同土地利用类型之间的竞争和相互作用。FLUS 模型中具体运用的数据以及参数如下:

(1) 适宜性概率。根据宁远县区域特征,共选取自然地理因素、社会经济因素和生态环境因素共 10 个土地利用变化驱动因子(表 2),运用 FLUS 模型 ANN 板块计算土地利用适宜性概率。

(2) 多情景预测。《宁远县土地利用总体规划(2006—2020 年)》和《永州市农业产业发展“十三五”规划》均要求宁远县进一步加强规划统筹引导,落实最严格的耕地保护制度和集约节约用地制度,优化生产空间、生活空间、生态空间布局。为探究何种国土空间开发利用模式能够同时达到规划目的和保障发展建设,从现实需求出发,模拟预测 2030 年自然发展

情景、生态优先情景和快速发展情景下宁远县生态用地的数量结构特征和分布状况。

表 2 宁远县土地利用覆被变化影响因素

影响因素	因子	数据来源
自然地理因素	高程	所有数据均来源于中国科学院资源环境科学数据中心(https://www.resdc.cn/),距离均采用欧氏距离;坡度、坡向基于高程数据分析得到
	坡度	
	坡向	
社会经济因素	距高速公路距离	所有数据均来源于中国科学院资源环境科学数据中心(https://www.resdc.cn/),距离均采用欧氏距离;坡度、坡向基于高程数据分析得到
	距公路距离	
	距河流距离	
	人口密度公里网	
生态环境因素	GDP 公里网	所有数据均来源于中国科学院资源环境科学数据中心(https://www.resdc.cn/),距离均采用欧氏距离;坡度、坡向基于高程数据分析得到
	土壤侵蚀程度	
	生态系统服务价值	

(3) 邻域影响权重。邻域影响权重是指某种土地利用类型的扩张能力,范围在 $[0,1]$,越接近 1 表示该土地利用类型的扩张能力越强。该项参数参考前

人^[24-25]设置,设定耕地 0.2,林地 0.01,草地 0.3,水域 0.4,建设用地 1。

(4) 成本矩阵设定。成本矩阵中,1 代表地类能

发生转换,0 代表不能发生转换,以此构建土地利用转移成本矩阵,a,b,c,d,e 分表代表耕地、林地、草地、水域和建设用地(表 3)。

表 3 多情景模式下成本矩阵参数设定

项目	自然发展情景					生态优先情景					快速发展情景				
	a	b	c	d	e	a	b	c	d	e	a	b	c	d	e
a	1	1	1	1	1	a	1	1	1	1	a	1	1	1	1
b	1	1	1	1	1	b	0	1	0	0	b	1	1	1	1
c	1	1	1	1	1	c	0	1	1	1	c	1	1	1	1
d	0	0	0	1	0	d	0	0	0	1	d	1	1	1	1
e	1	1	1	1	1	e	1	1	1	1	e	1	1	1	1

注:1 代表地类能发生转换,0 代表不能发生转换;a,b,c,d,e 分表代表耕地、林地、草地、水域和建设用地

2 结果与分析

2.1 喀斯特地区生态用地现状与变化特点

2.1.1 喀斯特地区生态用地数量结构及空间分布

2000—2020 年宁远县生态用地数量结构表(表 4)显示,20 a 来,半人工生态用地面积减少了 1 369.42 hm²,所占比例从 28.35%下降至 27.80%。原生态用地共减少了 730.35 hm²,其中林地面积减少了 1 211.28 hm²,所占比例从 57.18%下降为 56.59%。草地占比先稍有增加后轻微减少,但最终处于增加的状态,增加了 64.05 hm²。湿地面积极少,水域经历了先减后增的过程。总体而言,宁远县 2000—2020 年生态用地占了绝大多数的面积,到 2020 年,原生态用地面积所占比例高达 70.14%,半人工生态用地所占比例为

27.80%,只有 2.05%的建设用地。各类生态用地面积所占比例从大到小排序为:林地>耕地>草地>水域>湿地。林地和耕地是宁远县的主要土地利用类型,这一土地利用特性使得宁远县具有重要的农业生产种植和林业发展地位。

土地利用空间分布图(图 1)显示,宁远县地势南北高、中部低,西部高、东部低,耕地主要集中在宁远县中部,向南北两端延伸;生态用地中,林地集中在宁远县的北部的五龙山瑶族乡、南部的九嶷瑶族乡、西部的中和镇和棉花坪瑶族乡;草地分布较为零散,多在宁远县的中部和南部。非生态用地建设用地集中连片区处于宁远县中部文庙街道、东溪街道、桐山街道和舜陵街道 4 个街道的交界处,各乡镇地势低平处有零散分布。

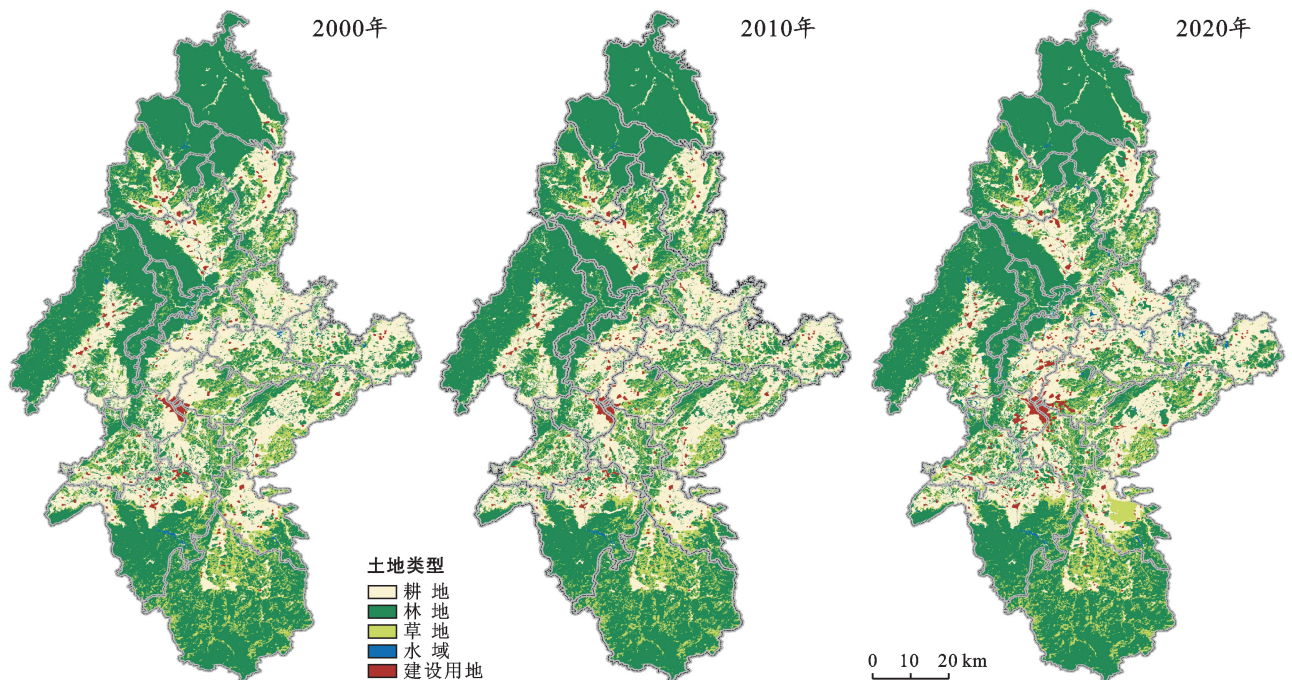


图 1 宁远县 2000,2010 和 2020 年土地利用类型

表 4 宁远县生态用地数量结构

土地利用类型	2000 年		2010 年		2020 年		
	面积/hm ²	比例/%	面积/hm ²	比例/%	面积/hm ²	比例/%	
半人工生态用地	耕地	70 907.22	28.35	70 315.47	28.12	69 537.80	27.80
	林地	142 999.29	57.18	143 224.65	57.27	141 788.01	56.69
原生态用地	草地	32 072.85	12.82	32 225.22	12.89	32 136.90	12.85
	湿地	0.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	水域	1 083.51	0.43	709.83	0.28	1 500.75	0.60
非生态用地	建设用地	3 028.59	1.21	3 616.65	1.45	5 127.93	2.05
合计		250 091.82	100.00	250 091.82	100.00	250 091.38	100.00

2.1.2 喀斯特地区生态用地转移趋势 宁远县生态用地转移矩阵显示(表 5—6),2000—2010 年,半人工生态用地即耕地主要转出为水域和建设用地,土地利用动态度为-0.08%,到下一时段动态度为-0.11%,处于缓慢减少的状态。原生态用地中,林地和草地未转换成其他用地类型,面积均有轻微增加。湿地全部转出为林地和水域,水域动态度为-3.45%,面积减少得最快。2010—2020 年,耕地持续转出,面积减少幅度不大。原生态用地中,林地和草地轻微减少,水域面积的上升趋势极为明显,动态度为 11.14%,处于剧烈增加的状态。将 2000—2020 年的土地利用转移可视化(图 2),结果表明,耕地、林地和草地这三大生态用地的总体形态没有较大改变,还是维持在 2000 年时的分布情况。部分区域有较明显变化的是各类生态用地之间的转化,如耕地—林地、耕地—草地、林地—草地等,同时还存在非生态用地和生态用地之间的相互转换。耕地—林地的区域主要位于高程较高的南部、北部和西部,较明显的区域为鲤溪镇、保安镇、冷水镇和中和镇等地。耕地—草地的区域主要位于九巛瑶族乡和湾井镇。

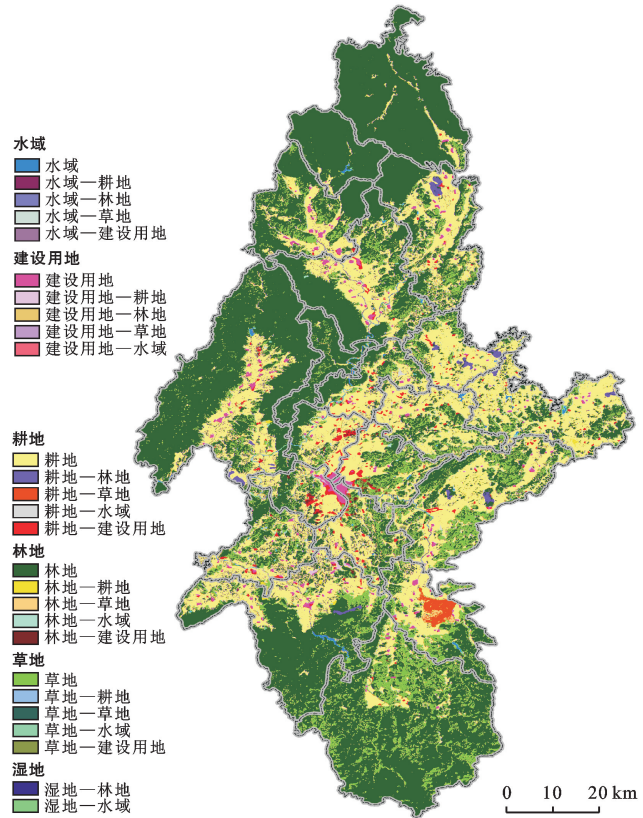


图 2 宁远县 2000—2020 年土地利用转移格局

表 5 宁远县 2000—2010 年生态用地转移矩阵

土地利用类型	2010 年						
	耕地	林地	草地	水域	建设用地	面积(hm ²)	
半人工生态用地	耕地	69 539.30	0.00	0.00	184.50	1 183.41	70 907.21
	林地	0.00	142 999.00	0.00	0.00	0.00	142 999.00
原生态用地	草地	0.00	0.00	32 072.80	0.00	0.00	32 072.80
	湿地	0.00	0.09	0.00	0.27	0.00	0.36
	水域	314.10	143.91	110.07	513.45	1.98	1 083.51
非生态用地	建设用地	462.06	81.36	42.30	11.61	2 431.26	3 028.59
合计		70 315.46	143 224.36	32 225.17	709.83	3 616.65	250 091.47
动态度/%		-0.08	0.02	0.05	-3.45	1.94	

2.1.3 喀斯特地区生态用地变化因素 《湖南省国土空间总体规划(2021—2035 年)》中提到,要严格生态保护红线管控,确保生态功能不弱化,面积不减少,性

质不改变,为区域生态安全提供有力保障。宁远县有大量林场,主要集中分布在地势较高的南部、北部和西部区域。这些区域林场受到重点管理与保护,不会

轻易发生土地利用类型的变化。同时《永州市土地利用总体规划(2006—2020年)》(下称《规划》)^[42]指出,宁远县在规划期要新建玉琯湖水库、金钩挂水库和九嶷山调节水库,还进行了河涌水道整治工程。《规划》还强调,要完善水资源配置格局,加强河湖生态保护,加快中、小型水库等重点水源工程建设,开展江(库)一库连通、水库挖潜调度及雨洪资源利用,以形成蓄丰补枯的供水格局。这是 2010—2020 年宁远县水域面积快速增加的原因。耕地面积下降、建设用地面积不断增加的原因主要是宁远县扩建和续建的几

条省国道公路用地侵占了耕地,新建宁远通用航空机场、文庙旅游区旅游公路、九嶷山舜帝陵景区旅游公路共占用了耕地 19.29 hm²;新建的污水处理厂、污水管网、工业园区工业污水集中处理设施也占据了一定的建设规模。在南部湾井镇和九嶷瑶族乡交界处的舜帝陵景区,有大量耕地退耕转换为草地。宁远县九嶷瑶族乡有九嶷山国家森林公园和九嶷山县级自然保护区,还有舜帝陵景区,为了保护景区自然景观,退耕还草是必然之举。由此可知,宁远县生态用地极大地受到社会经济发展需求的牵制。

表 6 宁远县 2010—2020 年生态用地转移矩阵

hm²

土地利用类型	2020 年						
	耕地	林地	草地	水域	建设用地	合计	
2010 年	半人工生态用地 耕地	59 557.40	5 935.95	2 823.48	492.03	1 506.60	70 315.46
	林地	5 565.51	126 545.00	10 342.80	334.17	436.68	143 224.16
	原生态用地 草地	3 699.81	9 081.27	18 872.30	230.49	341.37	32 225.24
	水域	84.33	114.48	65.34	439.29	6.39	709.83
	非生态用地 建设用地	630.72	111.24	33.03	4.77	2 836.89	3 616.65
合计	69 537.77	141 787.94	32 136.95	1 500.75	5 127.93	250 091.34	
动态度/%	-0.11	-0.10	-0.03	11.14	4.18		

2.2 喀斯特地区生态用地多情景模拟结果

2.2.1 FLUS 模型精度 将 2010 年宁远县土地利用数据和 10 个影响因素放入 FLUS 模型中,得到 2020 年土地利用适宜性概率和土地利用模拟预测结果。用 2020 年真实土地利用覆被数据对 2020 年模拟结果进行精度检验,结果表明 kappa 系数为 0.78,总精度为 89.40%,该精度可用于模拟预测 2030 年土地利用情况。

2.2.2 多情景纵向对比 2030 年宁远县多情景模拟数量结构显示(表 7),在 2030 年自然发展情景、生态优先情景和快速发展情景下,半人工生态用地的占比

分别为 27.66%,27.66%和 27.63%,较 2020 年分别下降了 0.15%,0.15%和 0.18%,面积稍有减少。原生态用地的所占比例分别为 69.86%,70.18%和 69.65%,比例变化为 -0.29%,0.03%和 -0.50%。原生态用地中,林地在 3 个情景下的面积分别较 2020 年减少了 732.69 hm²,增加了 15.12 hm²和减少了 982.35 hm²。草地则分别减少了 10.08 hm²,增加了 37.35,176.13 hm²。只有在快速发展情景下,水域面积减少了 69.03 hm²。非生态用地在 3 个情景中,较 2020 年分别增加了 1 076.22,297.45,1 669.69 hm²。

表 7 宁远县 2020 年与 2030 年多情景土地利用面积对比

项目	半人工生态用地		原生态用地				非生态用地		
	耕地/hm ²	比例/%	林地/hm ²	草地/hm ²	水域/hm ²	小计	比例/%	建设用地/hm ²	比例/%
2020 年	69 537.78	27.81	141 788.43	32 136.93	1 500.75	175 426.11	70.15	5 127.93	2.05
2030 年(自然发展情景)	69 170.67	27.66	141 055.74	32 126.85	1 534.41	174 717.00	69.86	6 204.15	2.48
2030 年(生态优先情景)	69 164.19	27.66	141 803.55	32 174.28	1 524.42	175 502.25	70.18	5 425.38	2.17
2030 年(快速发展情景)	69 095.70	27.63	140 806.08	31 960.80	1 431.72	174 198.60	69.65	6 797.52	2.72

相比 2020 年,半人工生态用地面积在 3 个情景中的减幅大致相同。原生态用地的面积在自然发展情景中略有减少,在生态优先情景中能够保障数量略有增加,在快速发展情景下迅速减少。非生态用地面积在各情景下都有所增加,在快速发展情景下增幅最大。可见,生态优先情景能够有效基本保持半人工生态用地数量不剧变、保障原生态用地数量不减少、减

缓非生态用地快增速的发展态势。

2.2.3 多情景横向对比

(1) 自然发展情景(图 3a)。该情景下土地利用变化趋势视当地自然和社会经济发展状况而定,注重土地利用类型的自然转换,受人为理念和政策的干预最少。自然发展状态下非生态用地向生态用地进行了一定程度的扩张,是生态用地数量下降的主要原因

因,也是社会经济发展和对建设用地需求逐渐增加的必然趋势。

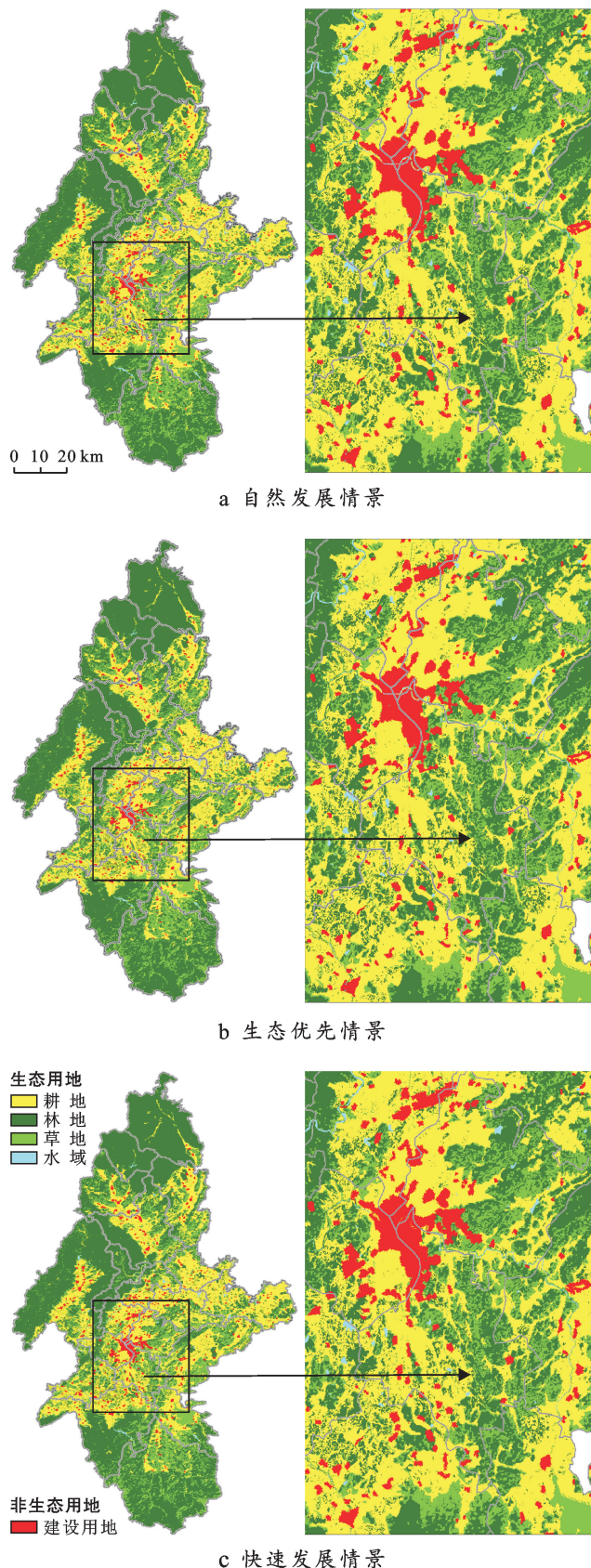


图 3 宁远县 2030 年多情景模式下土地利用空间分布

(2) 生态优先情景(图 3b)。生态优先情景以保护生态用地数量面积为目标前提,要求控制建设用地的扩张幅度,不对生态用地进行过多侵占。以自然发展情景为基础情景进行比较,生态优先情景下半人工生态用地面积较其减少了 6.48 hm^2 ,原生态用地面积较其增加了 785.25 hm^2 ,其中林地、草地、水域的面积变化分别为 $747.81, 47.34$ 和 -9.99 hm^2 。该情景能够最大程度保证原生态用地数量不减少,尤其保障了宁远县林地的数量和分布情况。

(3) 快速发展情景(图 3c)。快速发展情景是以建设用地等生产生活用地扩张为主的发展情景。在该决策下建设用地扩张迅猛,不能有效保护生态用地。以自然发展情景为基础情景进行比较,原生态用地面积共减少了 518.40 hm^2 ,其中林地、草地和水域面积分别减少 $249.66, 166.05, 102.69 \text{ hm}^2$ 。建设用地在原有基础上向周围的生态用地进行扩张,分布区域主要集中在地势低平的宁远县中部,具体表现为占用中部的耕地、草地、水域和部分林地,尤其是对耕地、草地还有水域的扩张。可见建设用地的快速扩张对半人工生态和原生态用地的侵占极其显著。

宁远县有关规划计划资料显示,宁远县土地利用规划有着极强的生态保护目标导向。宁远县人民政府先后颁发了《宁远县创建湖南省森林城市实施方案》和《湖南省宁远县省级森林城市总体规划(2018—2027年)》,规划显示,宁远县是位居国家南岭生态功能区腹地的人口大县,近年来紧紧围绕“生态立县”战略,以建设绿色宁远为主线,大力推进造林绿化,创新造林绿化方式,在 2018 年宁远县成功跻身全国首批生态文明先行示范区、重点生态功能区、生态文明示范工程试点县,为创建湖南省森林城市打下了坚实的基础^[43]。目前,宁远县还在为创建国家级森林城市做准备,划定了中长期目标,创建国家级森林城市的建设期为 2018—2020 年、巩固期为 2021—2023 年、加强期为 2024—2027 年。《湖南省国土空间总体规划(2021—2035 年)》“三高四新”战略更要求各县贯彻“高水平保护,高质量发展,高品质生活,高效能治理”理念,落实“生态优先的绿色发展策略”和“安全有效的资源保障策略”。因此,在宁远县以创建森林城市为目标导向的前提下,到 2030 年生态优先情景无疑是最优发展情景,该情景既能满足生产发展对建设用地的需求,使建设用地处于有序有度扩张的状态,又能保证林地等生态用地的数量,维持其生态服务功能,衔接落实县市省各级的规划计划,达成宁远县森林城市的长期愿景,为建设现代化新湖南夯实生态根基。

3 讨论与结论

3.1 讨论

(1) 研究考虑到规划和政策的影响,经过多次调试参数后,将耕地、林地的邻域因子数值设置较小,水域的邻域因子数值设置较大。未来还应深入探究加入耕地质量等级、自然保护区、水土流失程度等驱动因素共同影响下的生态用地变化。

(2) 现有对于喀斯特地区生态用地的分类系统还没有显示出较强的喀斯特区域特点,是因为分类多是基于土地利用现状分类表大类进行的。由于土地利用覆被数据自身特点,对于生态用地二级类没有再进行更细致的划分,未来还需细化喀斯特地区生态用地类别。

(3) 研究不足之处是尚未对生态用地的质量进行估算,除数量需求之外,还应当考虑到生态用地的质量空间分布对于规划与决策的影响。未来将通过计算各地类的生态服务价值、耦合 InVEST 模型计算生境质量或者构建指标体系等方法,进一步对生态用地质量需求进行模拟。

3.2 结论

(1) 生态用地变化结果表明,2000—2020 年,宁远县半人工生态用地面积持续减少;原生态用地中,林地和草地经历先增加后减少,最终处于相对减少的状态;水域先减少后增加,最终面积略有提高。生态用地的空间分布基本无较大变化,半人工生态用地和原生态用地之间的转换较为显著,如在坡度较高、高程较高的区域,多数耕地转为了林地或草地。无论任何时点,林地所占比例总是最大,所占比例高达接近 57%,分布在宁远县的南北部和西部;其次是半人工生态用地,耕地面积占比约为 28%。以宁远县为例,喀斯特地区“山城融合”的特性突出,土地利用结构呈现出“原生态用地多、非生态用地少”、“林地多、建设用地少”的特点。

(2) 多情景模拟结果显示,生态优先情景是宁远县未来发展的最优情景。该情景对保护生态用地数量起到了极大作用,最大限度限制了建设用地对生态用地的侵占。从社会发展角度看,生态优先情景既能够处理好保护资源与保障发展之间的关系,解决喀斯特山区“吃饭、生产和建设”的问题,并且符合宁远县规划发展定位。从喀斯特区域生态环境特点来看,植树造林还能够有效治理喀斯特地区水土流失和石漠化等问题。

进展[J].中国生态农业学报(中英文),2019,27(11):1626-1636.

- [2] 喻锋,李晓波,张丽君,等.中国生态用地研究:内涵、分类与时空格局[J].生态学报,2015,35(14):4931-4943.
- [3] 中共中央国务院.关于印发《全国国土规划纲要(2016—2030 年)》的通知[EB/OL](2017-02-04)[2021-11-15].http://www.gov.cn/zhengce/content/2017-02/04/content_5165309.htm.
- [4] Carter R E, Mackenzie M D, Gjerstad D H. Ecological land classification in the Southern Loam Hills of South Alabama [J]. Forest Ecology and Management, 1999, 114(2/3):395-404.
- [5] Klijn F, Haes H A U. A Hierarchical approach to ecosystems and its implications for ecological land classification [J]. Landscape Ecology, 1994,9(2):89-104.
- [6] Dale V H, Brown S, Haeuber R A, et al. Ecological principles and guidelines for managing the use of land [J]. Ecological Applications, 2000,10(3):639-670.
- [7] Rowe J S, Sheard J W. Ecological Land classification: A survey approach [J]. Environmental Management, 1981,5(5):451-464.
- [8] Joanna B, Michael G, David S K, et al. A paradigm for protecting ecological resources following remediation as a function of future land use designations: A case study for the department of energy's Hanford Site [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2020,192(3):1-29.
- [9] Banerji S, Biswas M, Mitra D. Semi-quantitative analysis of land use homogeneity and spatial distribution of individual ecological footprint in selected areas of Eastern fringes of Kolkata, West Bengal [J]. Geocarto International, 2020,35(1):1-21.
- [10] 杨荣金,周申立,王兴贵.生态用地研究进展综述[J].中国环境管理干部学院学报,2011,21(2):33-35,63.
- [11] 周朕,蒙吉军,齐杨,等.中国生态用地重要性及其格局优化研究进展[J].生态学杂志,2016,35(1):218-225.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 邹利林,王建英,胡学东.中国县级“三生用地”分类体系的理论构建与实证分析[J].中国土地科学,2018,32(4):59-66.
- [15] 张梦贤,周勇,曹隽隽,等.2000—2015 年武汉市生态用地时空变化分析[J].中国农业资源与区划,2021,42(1):168-177.
- [16] 尹娟,资本飞,阳利永,等.抚仙湖流域生态用地时空演变及其驱动因素[J].水土保持通报,2020,40(6):228-235,331.
- [17] 关翠柳,闻德保,李雨豪,等.广东省 1980—2018 年“三

[参 考 文 献]

[1] 费建波,夏建国,胡佳,等.生态空间与生态用地国内研究

- 生”用地转型对生态环境质量的影响[J].水土保持通报,2021,41(4):241-251.
- [18] 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.
- [19] 龚亚男,韩书成,时晓标,等.广东省“三生空间”用地转型的时空演变及其生态环境效应[J].水土保持研究,2020,27(3):203-209.
- [20] 邓楚雄,彭勇,李科,等.基于生产—生态—生活空间多情景模拟下的流域土地利用转型及生态环境效应[J].生态学杂志,2021,40(8):2506-2516.
- [21] Widaningrum D L, Surjandari I, Sudiana D. Analyzing land-use changes in tourism development area: A case study of cultural world heritage sites in Java Island, Indonesia [J]. International Journal of Technology, 2020, 11(4):688-697.
- [22] Li Zuzheng, Cheng Xiaoqin, Han Hairong. Analyzing land-use change scenarios for ecosystem services and their trade-offs in the ecological conservation area in Beijing, China [J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2020, 17(22): 8632-8651.
- [23] Chen Zhanhuo, Huang Min, Zhu Daoye, et al. Integrating remote sensing and a Markov-FLUS model to simulate future land use changes in Hokkaido, Japan [J]. Remote Sensing, 2021,13(13):2621-2643.
- [24] 王旭,马博文,李丹,等.基于 FLUS 模型的湖北省生态空间多情景模拟预测[J].自然资源学报,2020,35(1): 230-242.
- [25] 苏迎庆,刘庚,赵景波,等.基于 FLUS 模型的汾河流域生态空间多情景模拟预测[J].干旱区研究,2021,38(4):1152-1161.
- [26] 冯源嵩,杨庆媛.喀斯特山地城市新区生态用地保护与开发案例研究:以金阳新区为例[J].中国岩溶,2013,32(4):453-461.
- [27] 王志杰,程玉卓,班先娅,等.典型喀斯特山地城市生态空间格局演变研究:以贵阳市花溪区为例[J].西南大学学报(自然科学版),2020,42(9):155-164.
- [28] 董顺舟,赵宇鸾,张蒙,等.贵州省生态用地的时空演变[J].贵州农业科学,2015,43(12):186-189.
- [29] 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.
- [30] 顾羊羊,徐梦佳,杨悦,等.喀斯特石漠化区生态保护红线划定:以贵州省威宁县为例[J].生态学报,2021,41(9):3462-3474.
- [31] 蒙吉军,王雅,王晓东,等.基于最小累积阻力模型的贵阳市景观生态安全格局构建[J].长江流域资源与环境,2016,25(7):1052-1061.
- [32] 高梦雯,胡业翠,李向,等.基于生态系统服务重要性和环境敏感性的喀斯特山区生态安全格局构建:以广西河池为例[J].生态学报,2021,41(7):2596-2608.
- [33] 李龙,吴大放,刘艳艳,等.生态文明视角下喀斯特地区“双评价”研究:以生态敏感区宁远县为例[J].自然资源学报,2020,35(10):2385-2400.
- [34] 赖国华,胡宝清,李敏,等.桂西南—北部湾地区“三生”用地演变及其驱动力的地理探测[J].水土保持研究,2021,28(4):236-243.
- [35] Peng Jian, Zhao Mingyue, Guo Xiaonan, et al. Spatial-temporal dynamics and associated driving forces of urban ecological land: A Case Study in Shenzhen City, China [J]. Habitat International, 2017,60:81-90.
- [36] 彭建,蔡运龙, P H Verburg.喀斯特山区土地利用/覆被变化情景模拟[J].农业工程学报,2007,118(7):64-70,292.
- [37] 王磊,王羊,蔡运龙.土地利用变化的 ANN-CA 模拟研究:以西南喀斯特地区猫跳河流域为例[J].北京大学学报(自然科学版),2012,48(1):116-122.
- [38] 周显芳.基于 CLUE-S 模型的喀斯特地区城镇用地时空动态模拟:以广西大化瑶族自治县为例[J].安徽农业科学,2011,39(34):21163-21166.
- [39] 吕国屏,廖承锐,徐雁南,等.基于 CA-Markov 模型的喀斯特地区县域生态系统服务价值动态模拟[J].南京林业大学学报(自然科学版),2017,41(5):49-56.
- [40] 宁远县人民政府.宁远概况[EB/OL].(2020-06-04)[2021-11-15].<http://www.nyx.gov.cn/nyx/jjgz/list.Shtml>.
- [41] Liu Xiaoping, Liang Xun, Li Xia, et al. A future land use simulation model (FLUS) for simulating multiple land use scenarios by coupling human and natural effects [J]. Landscape and Urban Planning, 2017,168(168):94-116.
- [42] 永州市人民政府.永州市土地利用总体规划(2006-2020)[EB/OL].(2014-11-13)[2021-11-15].http://www.yzcity.gov.cn/cnyz/csg/201411/44_b60_d39fe744_bdc96_bba29_d593616_b0.shtml.
- [43] 湖南省林业局.生态宁远绿漫九嶷:宁远县创建国家森林城市工作纪实[EB/OL].(2016-01-06)[2021-11-15].http://lyj.hunan.gov.cn/lyj/ztl/zjlt/201601/t20160106_2872738.Html.