

基于 Markov-FLUS 模型的广西土地利用变化模拟预测

谢凌凌¹, 许进龙¹, 臧俊梅², 黄天能³

(1.广西财经学院 海上丝绸之路与广西区域发展研究院, 南宁 530004;

2.华南理工大学 公共管理学院, 广州 510000; 3.广西财经学院 经济与贸易学院, 南宁 530004)

摘 要:耕地保护是确保粮食安全和社会经济稳定的头等大事,土地利用变化预测分析则是调整耕地保护政策的重要依据。为了探究广西耕地保护工作成效、促进土地资源合理配置,围绕耕地保护,运用 Markov-FLUS 模型,分别基于非限制性性与耕地保护两类情景,预测 2025 年广西土地利用数量及空间变化状况,对比了两类情景下耕地变化差异。结果表明:(1) 广西城市建设效果明显,2005—2015 年,城镇用地、交通基础设施用地等其他建设用地面积增长了 893 km²,增长率达 77.25%。两类不同土地利用情景模拟预测下,至 2025 年,城镇用地面积均保持增长趋势,但耕地保护情景下,其扩张速度受到限制;(2) 广西生态保护成效显著,两类不同土地利用情景模拟预测下,至 2025 年,林地、草地、水域等生态用地面积均保持增长趋势;(3) 广西耕地保护任重道远,2005—2015 年,耕地面积减少 626 km²,两类不同土地利用情景模拟预测下,至 2025 年,耕地面积均延续减少趋势。但耕地保护情景下,耕地面积减少态势得到一定程度遏止;(4) 不同发展阶段,影响广西耕地保护的主导因素各异:2005—2015 年,交通道路等基础设施建设是影响广西耕地保护的主要因素;2015—2025 年,随着社会经济加速发展,南宁市、桂林市、柳州市以及“钦北防”沿海城市建设用地的扩张和桂西北、桂南地区林业用地的增长,将成为广西耕地减少的主要原因。

关键词:Markov 模型; FLUS 模型; 土地利用变化; 模拟预测; 耕地保护

中图分类号:F301.24

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2022)02-0249-06

Simulation and Prediction of Land Use Change in Guangxi Based on Markov-FLUS Model

XIE Lingling¹, XU Jinlong¹, ZANG Junmei², HUANG Tianneng³

(1.Institute for Maritime Silk Road and Guangxi Regional Development, Guangxi University of Finance and Economics, Nanning 530004, China; 2.School of Public Administration, South China University of Technology, Guangzhou 510000, China; 3.Economic and Trade College, Guangxi University of Finance and Economics, Nanning 530004, China)

Abstract: Farmland protection is the top priority to ensure food security and social and economic stability, and the prediction analysis on land use change is an important reference for adjusting farmland protection policies. In order to explore the effectiveness of the protection of cultivated land and promote the rational allocation of land resources in Guangxi, this paper focuses on the farmland protection and predicts the quantity and spatial change of land use in Guangxi by 2025 based on two different scenarios of unrestricted development and farmland protection using the Markov-FLUS model. The differences in farmland use under two different scenarios were also compared. The effectiveness and main obstacles of farmland protection were analyzed. The results show that: (1) Guangxi had made the noticeable achievements in its urban construction; from 2005 to 2015, the lands for urban construction, transportation infrastructure and other construction purpose increased by 893 km², with a growth of 77.25%; the simulation and prediction show that urban land area will continue to increase by 2025 under two different scenarios, but its expansion will slow down when the farmland is protected; (2) Guangxi had achieved good results in ecological protection; the simulation and prediction of land use under two different scenarios show that ecological land areas such as forest, grassland and water area will continue to increase by 2025; (3) Guangxi still has a long way to go to protect its farm-

收稿日期:2020-10-08

修回日期:2021-03-16

资助项目:广西自然科学基金(2018JJA180025);广西第一批八桂青年学者专项项目(厅发[2019]79号)

第一作者:谢凌凌(1981—),男,湖南凤凰人,博士,研究员,主要从事公共政策与区域发展研究。E-mail:757914104@qq.com

通信作者:许进龙(1991—),男,广西百色人,硕士,助理研究员,主要从事土地资源管理与区域发展研究。E-mail:943448263@qq.com

land, which decreased by 626 km² from 2005 to 2015; the simulation and prediction under two different land use scenarios show that its farmland area will continue to decrease by 2025; however, under the farmland protection scenario, the pace of decreasing farmland area will slow down to a certain extent; (4) the leading factors affecting farmland protection in Guangxi were various in different development stages; roads and other infrastructure construction were the main factors affecting the farmland protection from 2005 to 2015. With the accelerated social and economic development, the expansion of urban construction land in Nanning, Guilin, Liuzhou and coastal cities such as Qinzhou, Beihai and Fangchenggang, and increasing forestry land in north-western and southern Guangxi are the main reasons for the decrease in farmland in Guangxi from 2015 to 2025.

Keywords: Markov model; FLUS model; land use change; simulation and prediction; farmland protection

耕地是国家粮食安全的基础。为切实保护耕地,我国将“十分珍惜、合理利用土地和切实保护耕地”确立为基本国策并先后出台一系列配套政策。虽取得一定成效,但从耕地非农化的规模、结构、速率等各项指标来看,耕地保护形势依然严峻^[1]。党的十八大以来,我国进一步加大耕地保护力度,2020 年两会期间,习近平总书记在政协联组会上指出,加快推动“藏粮于地、藏粮于技”战略落实落地。2020 年 6 月 25 日,我国将“节约集约用地,严守耕地红线”确定为第 30 个全国土地日宣传主题,2020 年 9 月 10 日,国务院办公厅颁布《关于坚决制止耕地“非农化”行为的通知》(国办发明电〔2020〕24 号),强调“落实好最严格的耕地保护制度,坚决制止各类耕地非农化行为,坚决守住耕地红线”,2021 年中央一号文件再次强调“坚决守住 18 亿亩耕地红线”。当前,面对复杂多变的国内外形势,如何更好地保护耕地、把饭碗牢牢端在自己手里,是一项极具意义的理论命题和现实命题。

长期以来,我国学者针对耕地保护开展了大量研究,主要集中在以下几方面:一是耕地保护理念与机制。认为随着耕地保护目标多元化发展,耕地保护理念也由单一的追求数量平衡,转变为注重“数量、质量、生态”三者协调统一,耕地保护内涵不断丰富。因此,耕地保护机制的建立,应包含多目标导向、多主体参与、多层级覆盖^[2-4];二是耕地保护政策演变与完善。认为我国耕地“三位一体”的保护政策体系基本完善,政策力度日益加强,政策工具日趋多样,但政策反馈机制、执行效果、监督体系等仍需完善^[5-7];三是耕地保护外部性与生态补偿。认为耕地保护的真正外部性源于耕地保护生态价值和社会价值的外溢,但其正外部性尤其是耕地所产生的生态效益未能纳入到耕地利用收益之中,因此,应科学测算耕地保护生态外部性价值并对相关主体进行合理补偿^[8-10];四是耕地保护农户意识与行为。认为我国农业生产以家庭为主,农户是耕地保护最重要的主体,农户耕地保护意识受个体文化特征、经济特征和耕地保护政策认知

等多方面因素影响,当前农户耕地保护意识普遍较弱,应通过加强宣传教育、创新补偿模式等方式提高农户耕地保护意愿^[11-13]。学者们开展的大量研究,为推进耕地保护奠定了扎实理论基础。土地利用变化趋势及其规律的把握,是评价以及调整完善耕地保护政策的重要依据^[14],不同土地利用情景下,耕地变化趋势存在哪些差异,目前这一领域尚未引起学者们足够的重视和关注,一定程度上影响了研究成果的实践性。鉴于此,本文以广西为研究区域,运用 Markov-FLUS 模型,分别基于非限制性与耕地保护两类情景,预测 2025 年广西土地利用数量及空间变化状况,对比两类情景下耕地变化差异,探究其耕地保护工作成效及主要障碍,以期为促进广西耕地保护、合理配置土地资源、保障耕地和建设用地总量控制协调适应、促进社会经济健康发展提供参考。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

广西壮族自治区地处祖国南疆,位于东经 104°28′—112°04′,北纬 20°54′—26°24′,北回归线横贯中部。广西土地总面积 23.76 万 km²,占全国土地总面积的 2.5%,山多地少是其土地资源主要特点,山地、丘陵和石山面积占 69.7%,平原和台地占 27%,水域面积占 3.3%,耕地资源尤为紧缺。广西属亚热带季风气候区,雨热同期,发展农业得天独厚。2019 年,全年全区粮食种植面积 274.7 万 hm²,粮食总产量 1 332.0 万 t,食糖产量持续多年位居全国第一,蚕茧产量连续 11 a 全国第一,是全国水果产量突破千万吨的 5 个省区之一,也是全国重要的南菜北运基地和全国最大秋冬菜基地。但同时,广西面临严峻的耕地保护形势,土地利用变更年度调查数据显示,2005 年广西耕地总面积 424.71 万 hm²,至 2008 年降至 421.75 万 hm²。虽第二次全国土地调查后,全国各省市耕地面积家底全面摸清,广西耕地面积调整后略有增加,但随着广西自由贸易试验区、百色重点开发开放试验区

等各项试验区深入建设,如何协调好社会经济发展与耕地保护之间的关系,成为亟需解决的难题。

1.2 数据来源与处理

本文采用 2000 年、2005 年、2010 年及 2015 年 4 期 Landsat 遥感影像数据,地理坐标系 WGS 1984,其中遥感影像数据及数字高程(DEM)数据来源于地理空间数据云平台(<http://www.gscloud.cn>),社会经济数据来源于《广西统计年鉴》,基本农田保护区的空间分布数据来源于《广西土地利用总体规划(2006—2020 年)》,根据 FLUS 模型的需求,在 ArcGIS 平台上将其经过格式转换和投影变换制作成同一投影坐标系的栅格图层。并结合目视解译、广西土地利用实际状况及研究目的,依据《土地利用现状分类》(GB/T21010—2017),将广西土地利用类型划分为 8 类,分别是:耕地、林地、草地、水域、城镇用地、农村居民点、其他建设用地和未利用地。

2 研究方法与模型检验

2.1 研究方法

2.1.1 土地利用面积预测 本文运用 Markov 模型预测不同情景下 2025 年广西各类土地利用类型面积变化。Markov 模型是一种基于转移概率的数学统计模型,是根据当前的状态和发展趋向预测未来状态的常用方法。由于土地利用的动态演化过程具有较明显的马尔科夫特征,可以利用土地利用类型的状态转移概率(不同用地类型之间相互转换的面积数量或比例关系)来对土地利用的面积进行预测,其表达式如下^[15]:

$$S_{(t+1)} = p_{(ij)} \times S_{(t)} \quad (1)$$

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

$$\{p_{ij} \in [0, 1], \sum_{j=1}^n p_{ij} = 1 \quad (i, j = 1, 2, 3, \cdots, n)\}$$

式中: $S_{(t)}$, $S_{(t+1)}$ 分别为 t , $t+1$ 时刻的土地利用状态; p_{ij} 为状态转移矩阵; n 为土地利用类型。

2.1.2 土地利用空间分布模拟 本文运用 FLUS 模型模拟不同情景下 2025 年广西各类土地利用类型空间分布。FLUS 模型是用于模拟人类活动与自然影响下的土地利用变化以及未来土地利用情景的模型,其主要原理是采用多层前馈神经网络算法(BP-ANN)将一期土地利用数据中的各用地类型现状及筛选得到的自然、社会、经济等多类驱动因子协同整合,将不同用地类型与各驱动因子之间进行关联,最

终得到各土地类型空间分布。FLUS 模型基于轮盘赌选择的自适应惯性竞争机制,能有效处理多种土地利用类型在自然作用与人类活动共同影响下发生相互转化时的不确定性与复杂性,其核心是自适应惯性,即每类土地的惯性系数由现有土地数量与土地需求之间的差异决定,并在迭代过程中进行自适应调整,从而使各类用地的数量向预定目标发展。第 k 种用地在 t 时间上的自适应惯性系数 AI_{tk} 为^[16]:

$$AI_{tk} = \begin{cases} = AI_{tk}^{t-1} & |D_k^{t-2}| \leq |D_k^{t-1}| \\ = AI_{tk}^{t-1} \times \frac{D_k^{t-2}}{D_k^{t-1}} & 0 > D_k^{t-2} > D_k^{t-1} \\ = AI_{tk}^{t-1} \times \frac{D_k^{t-1}}{D_k^{t-2}} & D_k^{t-1} > D_k^{t-2} > 0 \end{cases} \quad (3)$$

式中: D_k^{t-1} , D_k^{t-2} 分别为 $t-1$, $t-2$ 时刻第 k 种类型用地的栅格数量与需求量之间的差。在 BP-ANN 模型计算出每个栅格适宜性的总概率后,通过 CA 模型迭代,将各类型用地分配到栅格中。栅格 g 在 t 时点转化为地类 k 的总概率 $TP_{t_{g,k}}$,其表达式为:

$$TP_{t_{g,k}} = sg(g, k, t) \times \Omega_{g,k}^t \times AI_{tk} \times (1 - sp_{p \rightarrow k}) \quad (4)$$

式中: $sp_{p \rightarrow k}$ 为土地利用类型 p 转化为类型 k 的概率; $1 - sp_{p \rightarrow k}$ 为土地利用类型发生转换的难易程度; $\Omega_{g,k}^t$ 为领域作用,其公式为:

$$\Omega_{g,k}^t = \frac{\sum_{N \times N} \text{con}(P_g^{t-1} = k)}{N \times N - 1} \times W_k \quad (5)$$

式中: $\sum_{N \times N} \text{con}(P_g^{t-1} = k)$ 为在 $N \times N$ 的领域窗口,上一次迭代结束后第 k 种地类的栅格总数; W_k 为第 k 种地类在领域作用中的权重,本文取 $N=3$,CA 迭代次数设定为 300 次。

2.2 土地利用变化驱动因子的选取

土地利用变化是各类型土地自身理化条件和自然、社会、经济等内外因共同作用的结果,本文根据 Markov-FLUS 模型计算原理,结合广西土地利用实际情况及相关数据获取的可行性,综合国内外相关研究中关于土地利用变化驱动因子的结论^[15-17],选取 13 项土地利用变化驱动因子(表 1)。

2.3 模型精度检验

地形和气候条件作为自然因素决定着土地利用的方向、方式以及变化趋势,本文选取构成地形条件最为关键的高程、坡度、坡向以及构成气候条件最为关键的年均降雨量、年均气温作为表征自然因素的驱动因子;交通可达性作为重要的社会因素,影响着土地开发的便利性和成本等,对区域土地利用变化具有较大影响,本文主要选取各用地类型到高速公路、铁路、城市中心、区县中心以及乡镇中心的距离,作为表征社会因素的驱动因子。此外,还选取地均 GDP、人口密度、地均

固定资产投资等表征经济因素的驱动因子。

表 1 土地利用变化驱动因子

驱动因子类型	驱动因子	数据获取方式	单位
自然因素	高程	地理空间数据云 DEM	m
	坡度	ArcMap Slope 工具	°
	坡向	ArcMap Aspect 工具	
	年均降雨量	统计年鉴	mm
	年均气温	统计年鉴	℃
社会因素	与城市中心的距离	ArcMap 欧式距离工具	m
	与区县中心的距离		
	与乡镇中心的距离		
	与高速公路的距离		
	与铁路的距离		
经济因素	地均 GDP	统计年鉴	亿元/km ²
	人口密度		人/km ²
	地均固定资产投资		亿元/km ²

在进行运算之前,需进行模型精度检验。本文利用广西 2000 年、2005 年和 2010 年 3 期的土地利用数据,运用 Markov 模型预测出广西 2015 年土地利用变化情况,并将这一结果与 2015 年的实际值进行比较,计算总体精度和 Kappa 系数。总体精度和 Kappa 系数的值越接近于 1,表明模拟精度越好,当

Kappa 系数大于 0.8 时,即表明模型模拟精度在统计学意义上达到较好的满意状态^[16]。检验结果表明模型总体精度达 0.991,Kappa 系数达 0.982,试验模拟精度达到较高水平,表明 FLUS 模型在本文具有很好的适用性。

2.4 土地利用多情景模拟的模型设置

本文基于多情景预测 2025 年广西土地利用数量及空间变化状况:第 1 类情景为非限制性情景,即不加以任何人为干涉和限制,遵循土地利用自然变化;第 2 类为基于耕地保护视野的耕地保护情景,即将耕地保护的重点——基本农田保护区作为限制发展区域,在 FLUS 模型中,将基本农田保护区的属性赋值为 0,将非基本农田保护区的属性赋值为 1,由此计算得出基于耕地保护情景的广西土地利用模拟预测结果。

3 结果与分析

本文运用公式(1)—(5),基于 2005 年、2010 年及 2015 年 3 期 Landsat 遥感影像数据,分别基于非限制性与耕地保护两大类情景模拟预测广西 2025 年的土地利用数量和空间变化状况,结果详见表 2 及图 1。

表 2 2025 年广西土地利用面积模拟预测结果

	年份	耕地	林地	草地	水域	城镇用地	农村居民点	其他建设用地	未利用地
	2005	51206	153409	20522	3465	904	3347	252	46
	2010	51033	153552	20353	3536	976	3348	310	43
	2015	50580	152900	20621	3572	1068	3378	981	51
	2025(非限制性情景)	49686	153178	21148	3643	1269	3280	901	46
	2025(耕地保护情景)	50063	153011	21040	3622	1151	3302	916	46

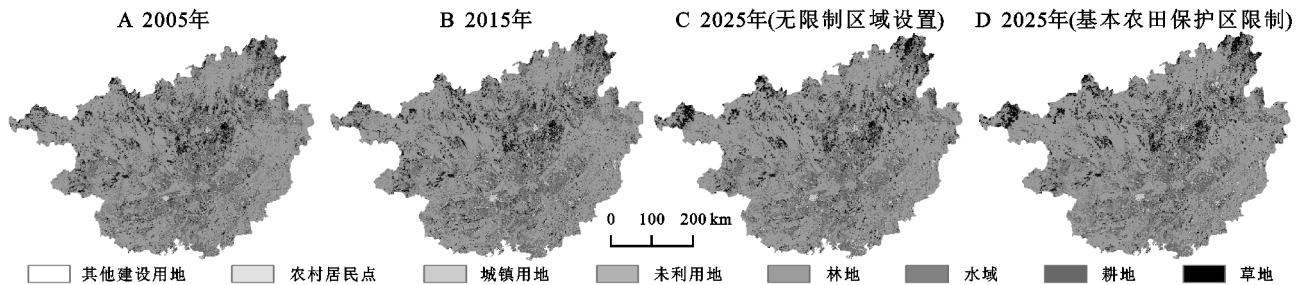


图 1 2025 年广西土地利用空间模拟预测结果

3.1 广西 2005—2015 年土地利用变化分析

2005—2015 年,广西土地利用面积保持增长趋势的用地类型分别为水域、城镇用地、农村居民点、其他建设用地,其中,以交通道路为主的其他建设用地面积增长幅度最大,其次为城镇建设用地,表明广西近年来建设用地面积不断扩大,公共基础设施建设投入力度持续加强,城市建设取得良好成效。广西作为欠发达地区,喀斯特地貌广布,受自然、社会经济环境影响,改革开放初期至 20 世纪末,交通道路等基础设施面临投入力度不足、建设滞后等问题,严重制约了

发展步伐。从 2000 年开始,广西先后提出兴边富民行动基础设施建设大会战、“县县通高速、市市通高铁、片片通民航”、“12310”高铁经济圈等一系列基础设施建设战略,仅“十一五”期间,基础设施建设累计投入便达 8 000 亿元左右,开工和续建铁路 29 条,基础设施日益完善,截至 2019 年,广西地级市通高速公路、县县通高速率达 94%,但该时期,分布在广西全域的公共基础设施等其他建设用地成为威胁耕地保护的主导因素。另外,广西通过农业转移人口市民化、城市群城镇带建设、提升城镇功能和宜居水平、统筹推进城乡融合

发展、完善城镇化发展体制机制等方面推动城镇化建设,2005年城镇化率仅33%,至2019年达到51.09%,由图1可以看出,广西城镇用地及其扩张范围主要集中在南宁、桂林、柳州三大城市及其周边区域,表明广西中心城市地位日益凸显。但这一时期,农村居民点面积并未明显增加,反映了广西农村发展建设相对滞后、乡村社会空间扩张较为缓慢。

2005—2015年,广西草地面积先减后增,林地面积则与之相反。2005—2010年,广西大力实施退耕还林政策,林地面积大幅增加,但2010年以后,受毁林建设、毁林种果、毁林种蔗等现象影响,林地面积有所下降。广西草地面积主要集中在桂北及桂西北地区,2005—2008年,广西石漠化尚未得到有效遏制,草地面积有所减少,2008年以后广西加大石漠化治理力度,开始实施以小流域为治理单元的石漠化综合治理工程,开展“绿满八桂”造林绿化等重大工程,石漠化得到有效治理,草地面积大幅度增加。值得警惕的是,2005—2015年,广西耕地面积持续减少且幅度较大,表明广西耕地尚未得到切实有效的保护。广西耕地主要集中在桂南沿海、桂中、桂东南及左右江河谷平原地带,这些地区也是广西主要城市带。

3.2 基于非限制性情景的土地利用模拟预测

基于非限制性情景的广西土地利用模拟预测中,从各用地类型数量变化上看:至2025年,广西耕地、农村居民点、其他建设用地和未利用地面积呈减少趋势,尤其是耕地面积减少幅度较大,按照目前广西土地利用状况,若不加以任何限制,至2025年耕地面积将减少至49 686 km²,较2015年减少894 km²,平均每年减少8.94 km²,这部分减少的耕地主要转变为城镇用地和林地,小部分转变为草地。由于当前广西交通道路网已基本完善,未来以交通道路为主的其他建设用地面积有所减少,但林地、草地、水域、城镇用地面积继续保持增加态势,其中,林地面积增加幅度最大,至2025年林地面积将增加至153 178 km²,较2015年增加278 km²,其次为城镇用地面积,至2025年,广西城镇用地面积将达到1 269 km²,较2015年增加201 km²,随着交通道路网的日益完善以及21世纪海上丝绸之路战略、中国-东盟自贸区升级版建设等各项战略的落地发力,广西逐渐进入社会经济快速发展阶段,与之伴随的是城镇化快速发展以及城镇边界的空间扩张,由此造成城市周边耕地非农化;从各用地类型空间变化上看(图1),广西未来可能增加的城镇用地,空间分布主要为南宁市、桂林市、柳州市以及“钦北防”沿海城市带,上述地区也是未来广西耕地面积集中减少的主要区域;未来可能增加的林地和

草地,空间分布主要在桂西北及桂南地区。这一地区为广西生态修复、人口迁出以及经济林主要区域,随着广西城镇化快速发展、农村人口加速转移,有可能造成农村劳动力不足问题,加之受市场经济影响,该区域大量耕地逐渐被开发成经济效益较高、劳动力投入较少的经济林,尤其是桂南沿海平原地区,由于地势平坦开阔、水热条件优越,适合种植苗木、速生桉等经济林,因此该区域大量耕地被转用为经济林地,这与张明阳^[18]、聂鑫^[19]等学者的研究成果相吻合。

3.3 基于耕地保护情景的土地利用模拟预测

将基本农田保护区作为限制发展区域,基于耕地保护情景的广西土地利用模拟预测中,从各用地类型数量变化上看:至2025年,广西耕地面积为50 063 km²,耕地保护工作取得一定成效,耕地减少趋势得到有效控制,减少速率趋于放缓,与非限制性情景下的土地利用模拟预测结果相比,耕地面积增加377 km²,表明严格实施基本农田保护政策,严禁建设用地占用基本农田,能够切实保护耕地,保障粮食安全。至2025年,林地、草地、水域面积仍然均保持增加态势,但增加面积均小于非限制性情景下的土地利用模拟预测结果,尤其是林地,至2025年,耕地保护情景下的林地面积为153 011 km²,比非限制性情景下减少了167 km²,表明加强耕地保护,并不会影响生态用地,同样有利于生态建设,同时能有效控制农用地转化为林地的速率。至2025年,城镇用地面积为1 151 km²,同样保持增加趋势但速率趋于放缓,城镇用地面积较非限制性情景减少118 km²,表明严格落实耕地保护政策,城市扩张速度将得到一定程度控制。与非限制性情景下土地利用模拟预测结果相比,耕地保护情景下的农村居民点和其他建设用地分别增加了22,15 km²,表明实施耕地保护政策,有利于农业农村发展,一定程度上可以扭转乡村萎缩局面,但同时也应警惕农村建设占用耕地良田;从各用地类型空间变化上看(图1),耕地保护情景下,至2025年广西未来减少的耕地,仍主要集中在南宁市、桂林市、柳州市以及“钦北防”沿海城市带,减少的区域主要为城市周边的非基本农田保护区,城市扩张边界受基本农田保护区的限制从而得到一定控制。未来可能增加的林地和草地,空间分布同样集中在桂西北及桂南地区,但与非限制性情景相比,桂南地区林地扩张范围有所缩减,主要原因是桂南沿海平原地区为广西基本农田集中分布区域之一,同时该区域也是速生桉等经济林主要种植带,严格落实耕地保护政策,严禁基本农田转用之后,林地的扩展界限受基本农田保护区限制,扩张范围得到控制。

4 讨论与结论

4.1 讨论

耕地是我国最为宝贵的资源,是粮食生产的重要基础,是保障 14 亿人口“铁饭碗”的根基。但是,从广西 2005—2015 年土地利用变化分析来看,10 a 期间,广西水域、城镇用地、农村居民点、其他建设用地、草地面积均呈增长趋势,尤其是受基础设施建设战略、城市发展战略影响,以交通道路为主的其他建设用地和城镇建设用地面积呈大幅度增长态势。与之相反,广西耕地面积持续减少且幅度较大,其原因主要包括以下 3 方面:一是受退耕还、退耕还草等生态保护政策影响,桂西、桂北及桂东地区少量耕地转化为草地和林地;二是受城市建设影响,大量耕地转化为城市建设用地,尤其是南宁市、桂林市、柳州市、“钦北防”沿海城市耕地减少趋势明显;三是由于社会经济发展需要,2005—2015 年,广西大力发展交通道路,公共基础设施等其他建设用地成为威胁耕地保护的主导因素。

基于非限制性情形的土地利用模拟预测结果显示,若广西土地利用不加以任何限制,根据目前发展趋势,至 2025 年,虽然道路交通等基础设施趋于完善,其他建设用地面积有所缩减,但是城市建设仍持续发力,耕地保护形势较为严峻,耕地面积减少趋势明显,未来南宁市、桂林市、柳州市以及“钦北防”沿海城市带空间扩张以及桂西北、桂南地区生态林、经济林的增加,将成为影响广西耕地保护的主要因素,长此以往,将不利于广西农业农村发展和粮食安全保障,不利于广西社会经济长治久安。而基于耕地保护情景,将基本农田保护区作为限制发展区域后,至 2025 年,广西耕地面积虽然仍延续减少趋势,但速率有所放缓,与非限制性情景下的土地利用模拟预测结果相比,耕地面积增加 377 km²。广西生态建设仍保持向好态势,林地、草地、水域等生态用地面积持续扩大,但增加幅度有所降低。未来南宁市、桂林市、柳州市以及“钦北防”沿海城市带空间扩张以及桂西北、桂南地区生态林、经济林的增加,依然是威胁广西耕地保护的主要因素,但严格落实基本农田保护政策,有利于控制城市及林业用地的扩张边界和速率。

4.2 结论

本文围绕耕地保护,以广西为研究区域,运用 Markov-FLUS 模型,分别基于非限制性与耕地保护两类情景,预测 2025 年广西土地利用数量及空间变化状况,对比两类情景下耕地变化差异,探究其耕地保护工作成效及主要障碍,得出如下结论:(1) 广西城市建设效果明显,城镇用地、交通基础设施用地等

建设用地面积,由 2005 年的 1 156 km² 骤升至 2015 年的 2 049 km²,非限制性与耕地保护两类土地利用情景模拟预测下,至 2025 年,城镇用地面积均保持增长趋势,但耕地保护情景下,城镇用地扩张速度受到限制,面积增长幅度较小;(2) 广西生态保护成效良好,两类不同土地利用情景模拟预测下,至 2025 年,林地、草地、水域等生态用地面积均保持增加趋势;(3) 广西耕地保护任重道远,非限制性与耕地保护两类土地利用情景模拟预测下,至 2025 年,耕地面积分别为 49 686,50 048 km²,均延续减少趋势。但耕地保护情景下,耕地面积减少态势得到一定程度遏制;(4) 不同发展阶段,影响广西耕地保护的主导因素各异:2005—2015 年,交通道路等基础设施建设是影响广西耕地保护的主要因素;2015—2025 年,随着经济社会加速发展,南宁市、桂林市、柳州市以及“钦北防”沿海城市建设用地的扩张和桂西北、桂南地区林业用地的增加,将成为广西耕地减少的主要原因。

基于上述分析及结论,广西在未来的土地利用过程中,应进一步贯彻落实耕地保护政策,严禁违规占用耕地从事非农建设,严格把控农用地转用的申请条件。持续加大城市建设占用耕地的查处监管力度,尤其是南宁市、桂林市、柳州市、“钦北防”沿海城市等重点区域,同时警惕农村居民点占用耕地;努力提高城市存量用地的利用效率,大力实施推广旧城镇、旧工业园区、棚户区低效用地的更新改造工作,盘活存量用地,通过盘活用地、立体开发等途径解决城市建设用地问题;严禁占用耕地进行经济林建设,将随意占用耕地种植草皮苗木速生桉等经济林木的行为,纳入全区土地例行督察内容,确保占用耕地种植经济林木的现象不增加,并逐步引导清退,实施耕地修复工程;在保护现有耕地面积、严禁建设占用的同时,大力推广易地扶贫搬迁区旧宅基地复垦整治工作,逐步实施全域土地综合整治,增加耕地面积、改善现有耕地利用条件。

参考文献:

- [1] 臧俊梅,郑捷航,林晓雪,等.1978 年以来中国耕地保护的嬗变与启示:基于国家层面政策文本的分析[J].广东土地科学,2019,18(5):38-48.
- [2] 欧名豪,王坤鹏,郭杰.耕地保护生态补偿机制研究进展[J].农业现代化研究,2019,40(3):357-365.
- [3] 李广东,邱道持,王平.中国耕地保护机制建设研究进展[J].地理科学进展,2011,30(3):282-289.
- [4] 周小萍,谷晓坤,丁娜,等.中国发达地区耕地保护观念的转变和机制探讨[J].中国土地科学,2009,23(1):43-47.
- [5] 王文旭,曹银贵,苏锐清,等.基于政策量化的中国耕地保护政策演进过程[J].中国土地科学,2020,34(7):69-78.
- [6] 牛善栋,方斌.中国耕地保护制度 70 年:历史嬗变、现实探源及路径优化[J].中国土地科学,2019,33(10):1-12.

- with a novel procedure for spatially explicit HRUs[J]. *Environ Manage.* 2016, 57(4):894-911.
- [23] 王赛男. 基于 SWAT 模型的气候变化与土地利用/覆被变化对岩溶断陷盆地水资源量的影响研究[D]. 重庆: 西南大学, 2020.
- [24] Lü Y R, Jiang T, Wang Y J, et al. Simulation and projection of climate change using CMIP6 Multi-models in the Belt and Road Region[J]. *Sciences in Cold and Arid Regions*, 2020, 12(6):389-403.
- [25] 梁淑琪, 王文圣, 黄伟军. 1937—2018 年岷江上游径流演变特征分析[J]. *西北大学学报: 自然科学版*, 2020, 50(5):761-770.
- [26] 于海超, 张杨, 马金珠, 等. 1969—2018 年黄河实测径流与天然径流的变化[J]. *水土保持通报*, 2020, 40(5):7-13.
- [27] 商滢, 江竹. 黄河源区降水径流变化特征及响应分析[J]. *中国农村水利水电*, 2021(2):106-112.
- [28] 万育生, 王栋, 黄朝君. 丹江口水库来水情势分析与径流预测[J]. *南水北调与水利科技 (中英文)*, 2021, 19(3):417-426.
- [29] 尚华明, 范煜婷, 张瑞波, 等. 帕米尔高原东部径流量变化及其对气候变化的响应[J]. *气候变化研究进展*, 2021, 17(3):352-360.
- [30] 赵美亮, 曹广超, 曹生奎, 等. 1956—2016 年大通河温度和降水及其与径流变化的关系[J]. *水土保持研究*, 2021, 28(3):111-117, 125.
- [31] Yachongtuo B, 梁婕, 曾光明, 等. 基于 SWAT 模型的浏阳河流域径流对土地利用和气候变化的协同响应[J]. *水资源与水工程学报*, 2019, 30(2):88-94.
- [32] 刘卫林, 黄一鹏, 万一帆, 等. 盱江流域径流模拟及其对气候变化的响应[J]. *水电能源科学*, 2020, 3(8):18-21.
- [33] 姜华超, 刘瑞芬. 东洋河流域土地利用及气候变化对径流的影响[J]. *人民长江*, 2020, 51(7):82-88.
- [34] 王胜, 许红梅, 刘绿柳, 等. 全球增温 1.5℃ 和 2.0℃ 对淮河中上游径流影响预估[J]. *自然资源学报*, 2018, 33(11):1966-1978.
- [35] Zhang H, Wang B, Liu L D, et al. Using an improved SWAT model to simulate hydrological responses to land use change: A case study of a catchment in tropical Australia[J]. *Journal of Hydrology*, 2020, 585:124822. DOI:10.1016/j.jhydrol.2020.124822.

(上接第 248 页)

- [18] 王丽霞, 余东洋, 刘招, 等. 渭河流域 NDVI 与气候因子时空变化及相关性研究[J]. *水土保持研究*, 2019, 26(2):249-254.
- [19] 刘少华, 严登华, 史晓亮, 等. 中国植被 NDVI 与气候因子的年际变化及相关性研究[J]. *干旱区地理*, 2014, 37(3):480-489.
- [20] 穆少杰, 李建龙, 陈奕兆, 等. 2001—2010 年内蒙古植被覆盖度时空变化特征[J]. *地理学报*, 2012, 67(9):1255-1268.
- [21] 韩雅, 朱文博, 李双成. 基于 GWR 模型的中国 NDVI 与气候因子的相关分析[J]. *北京大学学报: 自然科学版*, 2016, 52(6):1125-1133.

(上接第 254 页)

- [7] 刘丹, 巩前文, 杨文杰. 改革开放 40 年来中国耕地保护政策演变及优化路径[J]. *中国农村经济*, 2018(12):37-51.
- [8] 牛海鹏, 张安录. 耕地保护的外部性及其测算: 以河南省焦作市为例[J]. *资源科学*, 2009, 31(8):1400-1408.
- [9] 冉清红, 岳云华, 杨玲, 等. 西部农户耕地保护生态外部性价值分析与启示[J]. *水土保持研究*, 2017, 24(2):348-352.
- [10] 王坤鹏, 牛海鹏. 基于 CVM 不同支付方式的耕地保护外部性测度及其差异性分析[J]. *中国农业资源与区划*, 2018, 39(5):128-136.
- [11] 吴璟, 咎梦莹, 王征兵. 感知价值对农户参与耕地质量保护意愿的影响: 以陕西省为例[J]. *中国土地科学*, 2020, 34(6):66-74.
- [12] 臧俊梅, 郑捷航, 农股璇, 等. 耕地保护及其必要性: 不同兼业程度农户的认知与意愿: 基于珠三角的调查与实证[J]. *中国农业资源与区划*, 2020, 41(2):82-90.
- [13] 宋敏, 金贵. 规划管制背景下差别化耕地保护生态补偿研究: 回顾与展望[J]. *农业经济问题*, 2019(12):77-85.
- [14] 龙远, 李萍, 唐月亮, 等. 耕地保护情景下长浏平丘陵区土地利用变化模拟: FLUS 模型的应用[J]. *江西农业学报*, 2020, 32(5):126-134.
- [15] 罗双晓, 何政伟, 高笋, 等. 基于 CA_Markov 模型的天府新区土地时空变化预测[J]. *水土保持研究*, 2018, 25(3):157-163.
- [16] 王旭, 马伯文, 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.
- [17] 陈兵飞, 廖铁军, 张莉坤. 生态红线约束下万州区土地利用情景模拟及生态价值评估[J]. *水土保持研究*, 2020, 27(5):349-357, 364.
- [18] 张明阳, 罗为检, 刘会玉, 等. 基于林业清查资料的桂西北植被碳空间分布及其变化特征[J]. *生态学报*, 2013, 33(16):5067-5077.
- [19] 聂鑫, 章文波, 薛丽霞. 广西速生桉种植的空间分布及生态特征[J]. *北京师范大学学报: 自然科学版*, 2017, 53(2):215-221.