引文格式：张彭,程力,杨忠翰. 广西边境地区国土空间优化模拟研究[J]. 地理空间信息, 2025, 23(2): 29-34. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2025.02.007

广西边境地区国土空间优化模拟研究

张　彭[1]，程　力[1*]，杨忠翰[1]
（1. 广西国土资源规划设计集团有限公司，广西　南宁 530000）

摘　要：运用地理优化模拟技术探究不同规划策略影响下的国土空间结构、布局和效益的演变情况，以期为空间优化提供创新方法和实践支撑。运用斑块生成土地利用模型（PLUS）使规划策略应用于国土空间变化模拟；运用多目标规划模型（MOP）进行多种情景下的效益分析，实现国土空间整体优化。双保护-扩大开放强度情景中的建设增长空间主要分布在县城、中心镇、沿边乡镇和边境口岸地区，既保障了对外开放发展的建设空间需求，又保护了耕地资源；其综合效益最高，较2020年增加34.34%。双保护-扩大开放强度情景下的国土空间结构、布局和效益得到提升优化，有效支撑“稳边、固边、兴边、富边”综合效益最大化目标的实现。

关键词：国土空间优化模拟；PLUS；MOP；广西边境地区
中图分类号：P208　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2025）02-0029-06

Simulation Research on Territorial Space Optimization in Border Areas of Guangxi

ZHANG Peng[1], CHENG Li[1], YANG Zhonghan[1]
(1. Guangxi Land and Resources Planning and Design Group Co., Ltd., Nanning 530000, China)

Abstract: In order to provide innovative methods and practical support for spatial optimization, we used geographical optimization simulation technology to explore the evolution of territorial spatial structure, layout and benefits under the influence of different planning strategies. We utilized patch generated land-use model (PLUS) to apply planning strategies to the simulation of territorial spatial changes, and used the multi-objective programming model (MOP) to analyze the benefits under multi-scenarios, realizing the overall optimization of territorial space. The construction growth space in the scenario of dual protection and expansion of opening up intensity is mainly distributed in county towns, central towns, border towns, and border port areas, which not only ensures the construction space demand for opening up development to the outside world, but also protects arable land resources. Its comprehensive efficiency is the highest, increasing by 34.34% compared to 2020. The spatial structure, layout, and benefits of territory under the scenario of dual protection and expansion of opening up intensity have been improved and optimized, effectively supporting the goal realization of maximizing the comprehensive benefits of “stabilizing, consolidating, revitalizing, and enriching the border”.

Key words: territorial space optimization simulation, PLUS, MOP, Guangxi border region

国土空间规划是可持续发展的空间蓝图，是面向未来、面向生态文明、面向空间格局的整体优化。在生态优先、绿色发展的背景下，如何协调空间开发利用过程中的各种要素与各种关系，构建人与环境协调可持续发展的国土空间优化模拟系统具有重要的研究意义。国土空间优化的基础理论是比较优势理论，将有限的资源分配到效益更高的空间上，通过多目标综合优化实现国土空间整体效益最优是该领域的研究热点[1]。目前学者对国土空间优化研究主要聚焦在通过驱动因素、模型创新、目标耦合等对土地利用结构和空间布局进行优化[2-5]。将土地利用变化模型应用于区域国土空间格局演变和环境变化已成为业界重要的研究方法[6-9]。随着GIS技术的发展，研究人员将GIS和智能模型一起融合应用于土地利用结构和空间布局优化，主要有GIS-MOP线性规划模型、生物智能模型CLUE-S模型、遗传算法模型GA、蚁群算法模型ACO、元胞自动机模型CA、多智能体模型MAS、机器学习模型ML，但这些模型普遍关注城市用地，对自然用地类型的斑块变化关注较少。近年来出现的斑块生成土地利用变化模型（PLUS）是一种新兴的土地利用预测模型[10-11]，采用随机森林算法获取各地类的发展概率，弥补了传统模型在探索土地利用转化规则挖掘的不足，可以动态模拟城市用地和自然用地等多类土地利用变化，还能与多目标优化算法耦合，将宏观规划政

项目来源：中国国土勘测规划院2020年外协课题；广西自然资源厅科技课题（2022017）。
第一作者简介：张彭（1987—），硕士，高级工程师，主要从事国土空间规划和地理信息技术应用等相关工作，E-mail：290855859@qq.com。
通信作者：程力（1983—），硕士，正高级经济师，主要从事国土空间规划相关工作，E-mail：649170708@qq.com。

策应用于空间模拟。

本文聚焦广西边境8个县（区、市）的发展现状，认为促进边境地区发展的牛鼻子是激活开发开放活力，提出2个优化边境地区国土空间治理的规划策略。一是优底线，以资源环境本底特征为基底，探索基于“多目标耦合综合效益最优法”的双评价底线潜力一张图；二是创模式，细化边境地区主体功能分区，增设沿边沿海发展区名录。在此基础之上，创新性地在广西边境地区构建“多目标+多情景”地理优化模拟系统，将上述规划策略实际应用于空间发展模拟，运用斑块生成土地利用模型（PLUS）模拟历史自然演变、耕地+生态保护优先、沿边开发开放优先和双保护-扩大开放强度4种情景下的国土空间演变发展趋势，并运用多目标规划模型（MOP）来研究4种情景下的经济效益、生态效益和综合效益最优方案，实现生态保护、耕地保护、沿边开发开放等多目标耦合，以期为西南边境地区生态保护和建设开发协调发展提供创新方法和地方实践依据。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

本文以广西边境地区为研究对象，包括防城港市防城区、东兴市，崇左市宁明县、凭祥市、龙州县、大新县，百色市靖西市、那坡县8个县（市、区），广西边境地区总人口286万人，其中边民约77万人，土地总面积约180 km^2，总体呈现“七分山地两分田，半分城郭半分水”的空间特征。该区域与越南山水相连、人文相亲，在我国沿边开发开放以及“一带一路”建设中具有独特的战略地位，但基础设施条件相对薄弱，投资开发力度不足，边民的生活水平相对落后，边境人口持续流出，吸引边民安边守边任务紧迫。随着脱贫攻坚和乡村振兴的深入推进，国家对边境地区全方位扶持力度不断加大，广西边境地区正在成为国家级经济合作的重要空间，国界两侧成为开发建设的活跃地带。《广西壮族自治区国土空间规划（2021—2035年）》将边境地区作为国土安全、兴边固边的重要区域，在主体功能区优化、综合承载能力提升、基础设施建设和国防设施建设方面提供重点空间支撑。

1.2 数据来源

本文数据分为土地利用数据、社会经济统计数据、区位条件数据、POI数据、夜间灯光数据、双评价数据以及生态红线、基本农田、DEM、坡度等基础数据，相关数据说明见表1。对以上基础数据进行统一处理，利用ArcGIS软件将空间数据进行投影变换、重采样等方法处理，栅格数据统一重采样为1 km×1 km的栅格单元，采用CGCS2000统一坐标系。

表1 数据说明

数据名称	数据格式	数据来源
土地利用数据	1 km×1 km栅格	全国土地利用类型遥感监测空间分布数据库
社会经济统计数据	文字	广西统计年鉴
区位条件数据	矢量数据	广西交通运输厅提供的交通干线和枢纽分布数据
POI数据	100 m×100 m栅格	通过相关服务机构采购腾讯人口位置服务数据等新型数据
夜间灯光数据	500 m×500 m栅格	NPP/VIIRS夜间灯光数据
双评价数据	矢量数据	广西资源环境承载能力和国土空间开发适宜性评价专题
生态红线、基本农田、DEM、地形坡度数据	矢量数据	广西边境地区8个县（市、区）国土空间规划

2 研究方法

2.1 规划优化策略的提出

广西边境地区区位条件优越，是我国面向东盟开放的重要门户。经济水平仍相对滞后，沿边产业规模小，过境贸易色彩明显，口岸、城市、腹地联动不足。边境人口持续流出，吸引边民安边守边任务十分紧迫。因此促进边境地区发展的关键是扩大边境地区的开发开放力度，激发“兴边、活边、富边”政策合力，提出以下2个规划优化策略。

一是优底线，以资源环境本底特征为基底，探索基于“多目标耦合综合效益最优法”的双评价底线潜力一张图。由于双评价中适宜农业生产和适宜城镇建设的空间存在交织重叠，根据《资源环境承载能力和国土空间开发适宜性评价指南》（自然资办函〔2020〕127号）的要求，依据双评价中生态保护重要性、城镇建设适宜性、农业生产适宜性三类集成评价结果，加入生态红线、优质耕地、基本农田等空间管控要素，按照生态优先、保障粮食安全的总目标，精准识别一张图空间上最适宜用作生态保护和农业生产的底线空间，同时预留未来城镇发展潜力空间，形成底线潜力空间一张图，可作为未来发展和保护的空间基础。

二是创模式，细化边境地区主体功能分区，增设沿边沿海发展区名录。广西边境8个县（区、市）现行的主体功能分区为：防城区、东兴市和凭祥市属于城市化地区，靖西市和那坡县属于重点生态功能区，宁明县、龙州县和大新县属于农产品主产区。《广西壮族自治区国土空间规划（2021—2035年）》鼓励市县推进主体功能区乡镇细化工作，促进主体功能精准落地和精细化管控，强化传导力度和配套政策靶向作用。根据边境自然生态条件和经济发展水平，考虑到重要口岸和县城对县域经济的辐射带动作用，将边境12个口岸所在乡镇和县城中心镇调整为城市化地区。同时，增设沿边沿海发展区名录，考虑到强基固边和陆海统筹，将26个沿边乡镇、4个沿海乡镇划入沿边沿海发展区名录。构建以边境重要小城镇为支撑、临边集镇为节点、抵边口岸为支点，沿边境线辐射延伸的城镇带，引导人口在边境线范围内适度集聚及合理分布。

2.2　规划策略引导下的地理优化模拟系统构建

本文利用PLUS模型构建国土空间地理优化模拟系统，将优底线和创模式2种规划策略能实际应用于空间发展变化模拟，并运用MOP多目标规划模型来研究经济效益、生态效益和综合效益最优方案，最终实现国土空间整体格局和综合效益的优化。

2.2.1　PLUS模型

斑块生成土地利用模拟模型（PLUS）是一种基于栅格数据的土地利用变化模拟模型，耦合了土地扩张分析策略（LEAS）和基于多类型随机斑块种子的CA模型（CARS），可以模拟多类任意土地利用类型斑块的产生和演化，还可以在模拟过程中输出各类用地驱动因素的影响权重，用于挖掘土地利用变化的肌理[12-15]。特别是加入模拟规划策略或未来变量对土地利用变化的影响及驱动作用这一重要功能，该模型可与多目标优化算法耦合，模拟结果可以更好地支持规划策略以实现可持续发展。相比其他同类模型（CLUE-S、CA等），PLUS具有精度更高，速度更快，使用更方便，算法更新，支持实时动态显示和并行计算，可以处理更大尺度的数据等优势。目前PLUS模型已在城镇开发边界划定、国土空间布局优化模拟等方面得到了实践应用。

本文选取广西边境地区2010年、2015年、2020年三期土地利用覆被变化遥感监测数据来挖掘土地利用变化的机理，选取区位条件、人口、GDP、城镇化扩张速度作为空间发展驱动因子。此外，将规划策略纳入空间模拟过程中，首先扫描位于规划发展促进/限制区域中的单元，对于政策作用下的此类单元赋予不同的发展概率，最大化实现规划策略在空间优化中的落地。将基于双评价识别的底线潜力空间、优化后主体功能分区和沿边沿海发展分区等政策因素加入进空间模拟之中，主要对生态底线、农业底线空间加强保护限制扩张，对城镇潜力空间则鼓励开发促进其扩张发展，重点对城镇化发展区、沿边沿海发展名录区域鼓励开发促进其扩张发展。

2.2.2　MOP模型

多目标规划模型（MOP）是基于决策变量和目标函数进行综合效益优化的科学模型，可在主观或客观条件下，使得某个或多个目标达到最佳的决策，是研究地理学、土地利用规划、区域经济发展的基本数学模型[5]。本文运用多目标规划模型来研究广西边境8个县（市、区）多情景国土空间模拟下的经济效益、生态效益和综合效益最优解。决策变量是以规划地类为基础，将多情景国土空间模拟的类型（共7类）作为决策变量，分别为：耕地、林地、草地、水域、未利用地、建设用地、海洋。目标函数是指构建研究区包含生态效益、经济效益和综合效益最优的相关函数，文中综合效益为生态效益和经济效益之和。

1）生态效益。本文中生态系统服务价值测算采用谢高地等[16-18]、程建等[19]的中国生态系统服务价值当量因子表进行生态效益估算，并结合许洁[20]、罗盛锋[21]、王永琪等[22]对广西地区生态系统服务价值的成果，生态系统服务价值评估公式如下：

$$M=\max\sum Q_i\times x_i \tag{1}$$

式中，M为区域土地利用生态效益；x_i为第i类土地利用类型的面积；Q_i为第i类国土空间的单位面积生态系统服务价值系数，具体数值详见表2。

2）经济效益。通过建立2010—2020年研究区一二三产业增加值与对应三类国土空间面积的耦合关系，得到单位面积土地利用经济效益系数，经济效益评估公式如下：

$$F=\max\sum K_i\times X_i \tag{2}$$

式中，F为区域土地利用经济效益；X_i为第i类土地利用类型的面积（km^2）；K_i为第i类土地利用类型单位面积经济效益产出系数，具体数值详见表2。

2.3　发展情景设定

本文提出促进边境地区发展的关键是扩大边境地区的开发开放力度，按照以活力为方向，以开放为中心的发展方针，结合开发与保护并重、统筹兼顾、

表2　单位面积生态系统服务价值系数和经济效益系数参照表

类 型		生态系统服务价值系数/（万元/km²）	经济效益系数/（万元/km²）
生态空间	林地	223.82	253.75
	草地	74.16	
	水域	470.9	
	未利用地	4.3	
	海洋	470.9	
生产空间	耕地	70.78	472.23
生活空间	建设用地	−88.27	5 361.58

因地制宜的原则，以2020年为基期年，2035年为目标年，设定4种地理优化模拟发展情景。

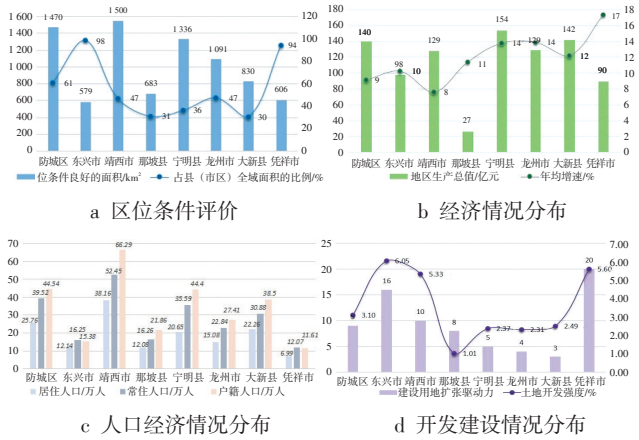
表3　发展情景设定情况表

发展情景	内 容
情景1（历史自然演变情景）	按照2010至2020年广西边境8个县（市、区）的国土空间变化趋势，根据宏观政策调控要求，在尽量保护耕地的基础上，遵循土地利用结构自然演变规律，实现协同发展
情景2（耕地+生态保护优先情景）	在情景1基础上，将双评价底线潜力空间一张图加入到空间模拟，主要在模拟中对生态底线、农业底线空间加强保护限制扩张，对城镇潜力空间则鼓励开发促进其扩张发展
情景3（沿边开发开放优先情景）	在情景2基础上，将沿边城镇化发展区、沿边沿海发展名录区域加入到空间模拟，重点对城镇化发展区（边境12个口岸所在乡镇和县城中心镇调整为城镇化发展区）、沿边沿海发展名录区域（26个沿边乡镇、4个沿海乡镇），鼓励开发开放促进其扩张发展
情景4（双保护–扩大开放强度情景）	在情景3基础上，结合沿边地区开发开放需求，将边境地区国土开发强度由2%提高到6%（广西的平均开发强度）进行模拟，得到扩大开发开放视角下的2035年国土空间优化布局

3　结果与分析

3.1　特征分析

2010—2020年广西边境地区总体呈现特征如下：在土地利用变化方面，广西边境地区2010—2020年凭祥、龙州、靖西的耕地相对减少较多，东兴的林地相对减少较多，建设用地方面靖西、那坡、防城、东兴、凭祥增长速度较快。在区位条件上，广西边境地区东兴市、凭祥市高等级道路连接成片，区位条件优势明显；其他地区随主要交通路网和中心城区辐射形成网状分布，局部地区呈点状零星分布（见图1a）。在经济发展方面，由于受中越战争和自然条件等各种



a 区位条件评价　b 经济情况分布

c 人口经济情况分布　d 开发建设情况分布

图1　2010—2020年广西边境地区特征

因素的影响，广西边境8个县（市、区）经济发展起步较晚，总量较低。各县区中防城区和靖西市的经济条件相对较好，那坡县的经济发展相对较差（见图1b）。在人口方面来看，靖西市、防城港区、宁明县吸引了大量驻留人口，发挥着服务周围腹地的区域性职能作用。将人口和GDP数据之间联系度进行耦合分析，可以发现防城港区、东兴市和凭祥市的人均生产总值的效益较高，那坡县、宁明县和龙州县的人均生产总值的效益较低（见图1c）。在城镇化扩张速度方面，根据夜间灯光影像和土地利用覆被变化遥感监测数据的分析结果进行综合比对，得到边境8个县（市、区）中东兴市和凭祥市的城镇化扩张动力最高，靖西市、防城区和那坡县次之，宁明县、龙州县和大新县动力相对最低（见图1d）。

表4　广西边境地区土地利用数量变化统计表/km²

类型值	一级类	2010年	2015年	2020年
1	耕地	3 633	3 618	3 615
2	林地	12 407	12 388	12 290
3	草地	1 071	1 076	1 109
4	水域	159	160	166
5	城乡建设用地	276	304	367
6	未利用地	9	9	8
7	海洋	5	5	5

3.2　多情景空间模拟优化结果

3.2.1　国土空间结构优化

本文先以基期年2010年土地利用覆被变化遥感监测数据为基础，对研究区2015年、2020年的国土空间结构和布局进行模拟，经与实际情况对比，Kappa指数为0.7，模型精度满足要求。再以2020年土地利用现状为基础，在发展驱动因子和规划策略作用下，建立广西边境地区用地扩张分析策略（LEAS）和基于多类随机斑块种子的CA模型（CARS），对2035年研

究区4种发展情景下的国土空间结构和布局进行模拟优化，详见表5。

在国土空间结构方面的模拟结果为，情景1历史推演视角下耕地减少最多，较2020年减少1.55%；建设用地较2020年增长22.62%，增长较快。情景2双保护视角下耕地、林地、草地得到了保护，建设用地增速较慢，较2020年增加8.99%。情景3优先发展视角建设用地增长加快，较2020年增加26.98%；耕地减少1.38%；林地和水域减少相对较多。情景4扩大开发强度视角下的国土开发强度由2%增长到6%，建设用地相较2020年增长199.73%；同时林地和草地减少量明显增多；但耕地较2020年减少1.52%，相对得到了保护。

表5　多情景模拟下的国土空间结构统计表/km²

类型值	一级类	2020年	情景1：历史自然演变情景	情景2：耕地+生态保护优先情景	情景3：沿边开发开放优先情景	情景4：双保护–扩大开放强度情景
1	耕地	3 615	3 559	3 611	3 565	3 560
2	林地	12 290	12 279	12 282	12 271	11 751
3	草地	1 109	1 094	1 105	1 099	993
4	水域	166	164	148	145	142
5	建设用地	367	450	400	466	1 100
6	未利用地	8	9	9	9	9
7	海洋	5	5	5	5	5

3.2.2　国土空间布局优化

在国土空间布局模拟结果中，将县城中心镇、沿边沿海乡镇、边境口岸所在乡镇作为发展的重点区域，按照情景1（历史自然演变情景），2035年广西边境地区的城乡建设用地在重点区域分布213 km²，数量相对较少，占广西边境地区总面积的比例最低。建设用地占用现状耕地、林地的数量相对较多。按照情景2（耕地+生态保护优先情景），2035年广西边境地区的建设用地分布较为零散，在重点区域分布194 km²，数量最少，占比较低，耕地和林地资源得到保护。按照情景3（沿边开发开放优先情景），2035年广西边境地区的城乡建设用地在重点区域分布231 km²，数量和占比均得到提升，保障了边境重点区域的发展需求。按照情景4（双保护–扩大开放强度情景），2035年广西边境地区的城乡建设用地增长数量大幅提高，在重点区域分布690 km²，数量和占比均达到最高，开发建设更加活跃，保障了县城中心镇、沿边沿海乡镇、边境口岸等对外开放发展的空间建设需求（见图2）。

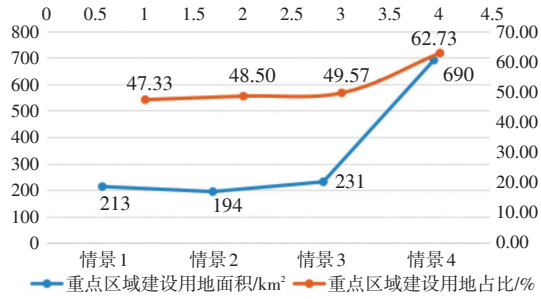


图2　多情景模拟下的重点区域建设用地面积和比例对比图

3.2.3　国土空间效益优化

国土空间效益是基于4种情景约束下的2035年广西边境8个县（市、区）生态效益、经济效益和综合效益。在国土空间的用地类型中林地、耕地、建设用地对生态效益和经济效益具有直接且显著的影响。在生态效益方面，情景1、情景2和情景3的生态效益和现状2020年较接近，在情景4双保护–扩大开放强度中由于林地减少较多而造成生态效益下降较多。在经济效益方面，4种情景方案下的经济效益比现状2020年均有显著提高，情景3和情景4比情景1历史自然演变中的经济效益均有提高，情景2耕地+生态保护优先中由于遵从对耕地和生态的保护而适当降低了经济效益。在综合效益方面，4种情景方案下综合效益比现状2020年均有明显提高，尤其情景4双保护–扩大开放强度中的综合效益增幅达到34.34%（见图3）。

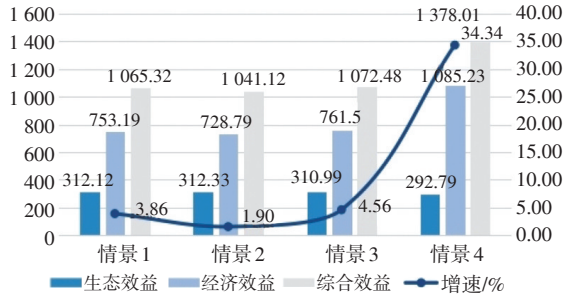


图3　多情景模拟下的效益分布图/亿元

4　结论与建议

4.1　结　论

在国土空间结构方面，情景4建设用地总量相较2020年增长199.73%，建设多占用林地和草地，耕地得到了保护；在国土空间布局方面，情景4开发建设更加活跃，建设用地增长主要分布在县城、中心镇、沿边沿海乡镇、边境口岸和所在乡镇，保障了边境地区对外开放发展的空间建设需求；在国土空间效益方面，情景4双保护–扩大开放强度中的综合

效益增幅最高，达到34.34%。表明情景4双保护–扩大开放强度情景可作为最优方案，有效激活了边境地区开发开放活力。该方案立足国土空间开发和保护2个维度，充分扩大边境地区的开发开放力度，使国土空间结构、布局得到提升优化，能够有效支撑“稳边、固边、兴边、富边”综合效益最大化目标的实现，为后续协调边境地区经济社会发展提供决策参考依据。

4.2 建 议

1）本文选取的广西边境地区，既是老少边穷地区，又是对外开放的重要门户。现状经济发展相对落后，解决现实存在问题的“牛鼻子”是全方位扩大开发开放力度，所以在多情景模拟中提出建议最低按照2035年广西平均国土开发强度6%来进行国土空间结构和布局优化，建设用地增幅较大。在更强调资源保护与利用的生态文明背景下，城市化地区和内陆地区可以研究更加集约紧凑的情景模拟方式，增强不同地区空间规划中资源配置的科学性和有效性。

2）由于研究区基础数据类型和数据精度存在一定的局限性，同时在空间模拟中的数据结构约束和政策管控约束条件设定上不够全面，与实际发展情况可能产生偏差。如何在模型运算中进一步补充基础数据、控制标准、政策调控等内容，使分析结果更为准确，以便更好地实现对区域国土空间结构、布局和效益的全面优化，是后期的研究重点。

参考文献

[1] 龚建周,刘彦随,张灵. 广州市土地利用结构优化配置及其潜力 [J]. 地理学报,2010,65(11):1 391-1 400

[2] Wang Q, Liu R, Men C, et al. Application of Genetic Algorithm to Land Use Optimization for Non-point Source Pollution Control Based on CLUE-S and SWAT [J]. Journal of Hydrology,2018,560:86-96

[3] Kaim A, Cord A F, Volk M. A Review of Multi-criteria Optimization Techniques for Agricultural Land Use Allocation [J]. Environmental Modelling & Software, 2018, 105: 79-93

[4] 刘晓娟,黎夏,梁迅,等. 基于FLUS-Invest模型的中国未来土地利用变化及其对碳储量影响的模拟 [J]. 热带地理,2019,39(3):397-409

[5] 曹帅,金晓斌,杨绪红,等. 耦合MOP与GeoSOS-FLUS模型的县级土地利用结构与布局复合优化 [J]. 自然资源学报,2019,34(6):1 171-1 185

[6] 张旸,周成虎,戴锦芳,等. 偏最小二乘回归方法在土地利用结构研究中的应用 [J]. 自然资源学报, 2004, 19(6): 804-810

[7] 黎夏,刘小平. 基于案例推理的元胞自动机及大区域城市演变模拟 [J]. 环境科学学报,2007,62(10):1 097-1 109

[8] 杨国清,刘耀林,吴志峰. 基于CA-Markov模型的土地利用格局变化研究[J]. 武汉大学学报(信息科学版),2007,32(5):414-418

[9] 田贺,梁迅,黎夏,等. 基于SD模型的中国2010-2050年土地利用变化情景模拟 [J]. 热带地理,2017,37(4):547-561

[10] Liang X, Guan Q F, Clarke K C, et al. Understanding the Drivers of Sustainable Land Expansion Using a Patch-generating Land Use Simulation (PLUS) Model: a Case Study in Wuhan, China[J]. Computers, Environment and Urban Systems,2021,85:101 569

[11] Liang X, Liu X P, Chen G L, et al. Coupling Fuzzy Clustering and Cellular Automata Based on Local Maxima of Development Potential to Model Urban Emergence and Expansion in Economic Development Zones[J]. International Journal of Geographical Information Science,2020,34(10): 1 930-1 952

[12] 喇嘉梦,匀蒙蒙,李乐,等. 三峡库区生态系统服务权衡时空动态与情景模拟:以秭归县为例 [J]. 生态与农村环境学报,2021,37(11):1 368-1 377

[13] 王佳楠,张志. 基于Markov-PLUS模型的柴北缘土地利用变化及模拟分析 [J]. 西北林学院学报,2022,37(3):139-148

[14] 杨文杰,杜剑光,何华贵,等. 基于PLUS-UGB多情景模拟的广州市城市增长边界划定[J]. 地理空间信息,2022,20(7):38-42

[15] 蒋小芳,段翰晨,廖杰,等. 基于PLUS-SD耦合模型的黑河流域中游甘临高地区土地利用研究 [J/OL]. 干旱区研究,https://kns.cnki.net/kcms/detail/65.1095.x.20220618.1351.002.html

[16] 谢高地,鲁春霞,冷允法,等. 青藏高原生态资产的价值评估 [J]. 自然资源学报,2003(2):189-196

[17] 谢高地,甄霖,鲁春霞,等. 一个基于专家知识的生态系统服务价值化方法 [J]. 自然资源学报,2008,23(5):911-919

[18] 谢高地,张彩霞,张雷明,等. 基于单位面积价值当量因子的生态系统服务价值化方法改进 [J]. 自然资源学报,2015,30(8):1 243-1 254

[19] 程建,程久苗,吴九兴,等. 2000—2010年长江流域土地利用变化与生态系统服务功能变化 [J]. 长江流域资源与环境,2017,26(6):894-901

[20] 许洁,韦燕飞,童新华,等. 广西左右江流域土地利用变化对生态系统服务价值的影响[J]. 国土资源情报,2021(6): 8-17

[21] 罗盛锋,闫文德. 广西北部湾沿岸地区生态系统服务价值变化及其驱动力 [J]. 生态学报,2018,38(9): 3 248-3 259

[22] 王永琪,马姜明. 基于县域尺度珠江西江经济带广西段土地利用变化对生态系统服务价值的影响研究 [J]. 生态学报,2020,40(21) :7 826-7 839