何彬元,黄 霞,蒋骏晖.广西北部湾城市群国土绿化空间评估划定研究 [J]. 中国环境科学, 2025,45(10):5784-5795.
He B Y, Huang X, Jiang J H. Study on evaluation and delimitation of national land greening space in the Beibu gulf urban agglomeration of Guangxi [J]. China Environmental Science, 2025,45(10):5784-5795.

广西北部湾城市群国土绿化空间评估划定研究

何彬元[1,2],黄 霞[1,2*],蒋骏晖[1,3] (1.广西壮族自治区林业勘测设计院,广西 南宁 530022；2.自然资源部北部湾经济区,自然资源监测评价工程技术创新中心,广西 南宁 530022；3.广西壮族自治区绿化委员会办公室,广西 南宁 530022)

摘要：本文以广西北部湾城市群为例,运用 InVEST 模型评估法、造林绿化空间适宜性评估法、ArcGIS 叠加分析法,定量分析研究区国土空间用地类型状况、生境质量水平和生境退化程度以及规划适宜造林绿化用地规模,并按生境质量等级分类精准识别国土绿化空间优先区域与一般区域.结果表明,研究区全域用地类型主要为林地与耕地,占总面积 87.56%.2020 年研究区生境质量指数平均值为 0.3930;生境质量为中等、良好、优秀 3 个等级面积占 44.34%,生境质量为差和较差 2 个等级面积占 55.66%;生境退化度指数平均值为 0.3199,生境退化属较严重等级状况;研究区生境质量总体现状属于中等偏差等级.适宜作为造林绿化空间用途管控的规划图斑个数为 48967 个、规划面积为 30091hm^2.研究区生态建设和国土绿化优先区域面积为 24276hm^2、一般区域面积为 5815hm^2.造林绿化适宜空间评估划定涉及政策法规、生态需求、科技支撑、经济社会、国际责任及公众参与等多维度驱动力,综合驱动作用显著. 通过评估划定城市群适宜造林绿化用地空间并纳入国土空间规划“一张图”进行精细化用途管控,实施城乡绿化空间“天空地”一体化综合监测,有助于解决我国城市群生态建设项目用地难和“造林绿化落地上图”信息化管理短板问题,为城市群生态建设实现“合法合规、施策精准、智慧管理”提供支撑.

关键词：造林绿化空间适宜性评估；国土绿化空间分类分区；驱动力；InVEST 模型评估；广西北部湾城市群
中图分类号：X32 **文献标识码**：A **文章编号**：1000-6923(2025)10-5784-12

Study on evaluation and delimitation of national land greening space in the Beibu gulf urban agglomeration of Guangxi. HE Bin-yuan[1,2], HUANG Xia[1,2*], JIANG Jun-hui[1,3] (1.Guangxi Forest Inventory & Planning Institute, Nanning 530022, China；2.Technology Innovation Center for Natural Resources Monitoring and Evaluation of Beibu Gulf Economic Zone, Ministry of Natural Resources, Nanning 530022, China；3.Guangxi Zhuang Autonomous Region Greening Committee Office, Nanning 530022, China). *China Environmental Science*, 2025,45(10)：5784~5795

Abstract：Taking the Beibu gulf urban agglomeration in Guangxi as an example, this paper uses InVEST model evaluation method, afforestation space suitability evaluation method and ArcGIS overlay analysis method to quantitatively analyze the land use type status, habitat quality level and habitat degradation degree of the study area, as well as the scale of suitable afforestation land for planning, and accurately identify the priority area and general area of land greening space according to the classification of habitat quality. The results show that: The main land use types in the study area are forest land and cultivated land, accounting for 87.56% of the total area. In 2020, the average habitat quality index in the study area was 0.3930. The area of medium, good and excellent habitat quality accounted for 44.34%, and the area of poor and poor habitat quality accounted for 55.66%. The average value of habitat degradation index was 0.3199, and the habitat degradation was a more serious grade. The overall status of habitat quality in the study area belongs to the medium deviation level. The number of planning patches suitable for afforestation and greening space use control is 48967, and the planning area is 30091hm^2. The priority area of ecological construction and land greening in the study area is 24276hm^2, and the general area is 5815hm^2. The evaluation and delineation of suitable space for afforestation and greening involves multi-dimensional driving forces such as policies and regulations, ecological needs, scientific and technological support, economic society, international responsibility and public participation, and the comprehensive driving effect is significant. By evaluating and delimiting the space suitable for afforestation and greening land in urban agglomerations and incorporating it into the 'one map' of land and space planning for refined use control, and implementing the integrated comprehensive monitoring of urban and rural greening space ' sky and land ', it is helpful to solve the problem of land use for ecological construction projects in urban agglomerations in China and the short board of information management of ' afforestation and greening landing map', so as to provide support for the ecological construction of urban agglomerations to achieve' legal compliance, precise

收稿日期：2025-03-05
基金项目：国家重点研发计划项目(2023YFD2201705-7);广西林业设计院自筹经费科技项目(林勘科研[2023]-03)
* 责任作者, 工程师, 2324400239@qq.com

implementation and intelligent management'.

Key words：suitability evaluation of afforestation space；land greening space classification partition；driving force；inVEST model evaluation；Guangxi Beibu gulf urban agglomeration

城市群是在特定区域范围内云集相当数量不同性质、类型和等级规模的城市集合体,是我国经济社会快速发展和现代化水平不断提高的引擎标志之一[1],但城市群既是经济共同体,也是生态环境共同体.城市群的生态建设重点是坚持山水林田湖草沙一体化保护和系统治理思想,以城市区域地理单元为对象,打破城市之间行政壁垒,通过城市联动、部门协作、整体推进、共建共享,构建城市群区域生态系统命运共同体[2].因此,山水林田湖草沙一体化保护与修复是城市群国土绿化建设的核心任务之一,而国土绿化用地则在城市群生态保护修复与高质量发展中起到举足轻重作用.

造林绿化适宜空间是指在国土空间规划中,通过科学评估和合理划定,明确适合进行造林绿化活动的特定区域,是国土绿化空间的重要组成部分.随着我国城镇化进程不断加快和城市群建设快速扩张,城市群的生态空间土地资源进一步紧缺,国土绿化空间逐渐缩小,必将导致城市群区域生境质量下降以及生物多样性保护受到巨大挑战[3].因此,开展城市群生态建设用地问题研究成为推进国土科学绿化和高质量建设美丽中国的关注热点之一.2021年《国务院办公厅关于科学绿化的指导意见》提出“走科学、生态、节俭的绿化发展之路,挖掘城乡绿化用地空间潜力,统筹山水林田湖草沙系统治理,推动生态环境根本好转”[4],为城市群生态建设指明方向.为贯彻落实党中央、国务院关于坚决制止耕地“非农化”、防止耕地“非粮化”、科学绿化、林草保护修复等系列决策部署,自然资源部、国家林业和草原局先后出台了关于在国土空间规划中明确造林绿化空间、有序安排年度造林绿化任务和“造林绿化落地上图”等相关要求.因此,探讨研究区生态建设中适宜造林绿化用地评估划定与分区管控问题,对推进城市群高质量发展具有重要现实意义.

国内外学者针对解决城市群区域生态环境问题的研究成果丰硕.欧洲城市群生态建设和绿色空间规划经验特点明显,如英国大伦敦城市群“环形绿带”、荷兰兰斯塔德“绿心”和德国鲁尔城市群“鱼骨状”城市群景观体系[5].国内城市群生态建设研究方面,推动国土科学绿化和城市生态建设已列入《中华人民共和国森林法》(2019 年修订)进行法制保障,国土空间用途管制规则[6]、国土科学绿化建设支撑政策、造林绿化落地上图技术规范和国土绿化项落地上图管理[7]均已有顶层设计,同时在围绕城市群绿色发展评价[8]、生态建设策略[9]、生态建设高质量发展[10]、城市群生态安全[11]、国土空间生态修复关键区识别与分区[12]等成果众多.

广西北部湾城市群开放开发以来,工业化和城镇化步伐不断提速,同时也存在城市绿化用地资源紧缺、生态格局整体性考虑不足等问题,急需研究解决生态环境问题对策.但在目前已有同类研究成果中,多为宏观和中观层面研究方向,可操作性有限,鲜有学者从宏观区域战略层面和中微观落地可操作层面相结合对区域生态建设用地空间管控进行综合研究.本研究兼顾研究理论科学性与实践应用可操作性,围绕城市群生态建设“合法合规、施策精准、管理智慧”的目标任务和提高“造林绿化落地上图”管理水平,重点研究解决规划用于生态建设中造林绿化用地的空间位置、地类规模、管控分区与优先顺序等问题,贯彻执行《国务院办公厅关于科学绿化的指导意见》中落实绿化用地“在哪儿”的核心要求,解决我国城市群生态建设项目用地难和“造林绿化落地上图”信息化管理短板的最大难题,以期为推进研究区国土科学绿化和打造北部湾“蓝色海湾”城市群发挥积极作用.

1　数据来源与研究方法

1.1　研究区概况

北部湾城市群是国务院于 2017 年 1 月 20 日批复同意建设的国家级城市群,规划范围包括广西、广东和海南这 3 个省(自治区)的 11 个设区市及 4 个县(市)辖区,是我国唯一一个跨省级行政区沿海沿边湾区的国家级城市群.其中广西北部湾城市群是北部湾城市群的重要组成部分,由南宁、北海、钦州、防城港、玉林和崇左共 6 个设区市所辖 38 个县(市、区)组成[13],辖区总面积 73379km^2,海岸线长达 1629km.北回归线横穿研究区的大明山一带,地处亚

热带南缘,属北热带、南亚热带海洋性季风气候,多年年均气温 21.6~23.0℃,多年年均降水量 1147.3~2689.5mm,气候温暖、阳光充足、和雨热同季.整体地势北高南低,地貌分布有丘陵、台地、平原和喀斯特地貌,南宁盆地、玉林盆地与南流江三角洲地势平坦,西部和西南部喀斯特地貌分布的岩溶土地总面积达 19166km^2,占全区岩溶土地总面积 23%.境内拥有丰富的山水林田湖草等陆域自然资源和海洋生态资源,正在建设的平陆运河工程由南宁横州经钦州灵山进入北部湾. 研究区具有毗邻粤港澳、面向东南亚、兼具沿海沿边地缘优势,详见图 1.

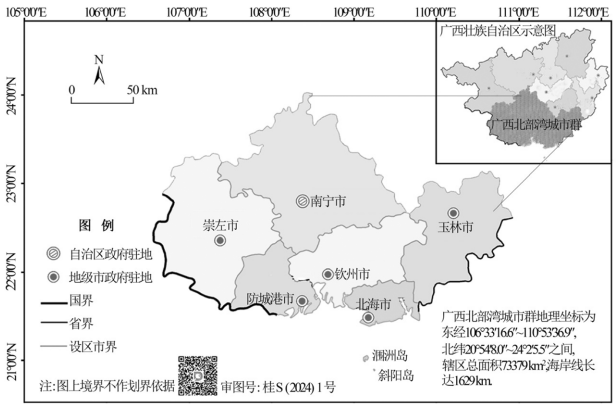


图 1 研究区位置示意

Fig.1 Location of the study area

该图基于广西标准地图官方网站下载的标准地图制作,审图号为桂S(2024)1 号,原图边界无修改,下同

1.2 数据来源及处理

研究中用地类型数据来源于中国科学院资源环境科学与数据中心[14](http://www.resdc.cn),空间分辨率为 30m.为衔接《国土空间调查、规划、用途管制用地用海分类指南》,土地利用类型划分为耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用地等[15]6 个一级地类.数字高程数据来源于地理空间数据云平台(http://www.gscloud.cn).公路和铁路等信息从 https://www.webmap.cn/中获取.研究区造林绿化空间适宜性评估数据以及 ArcGIS 叠加分析与识别数据来源于《广西造林绿化空间适宜性评估报告》、广西 2022 年林草湿“一张图”成果、2022 年度国土变更调查成果和国家重点研发计划重点专项“森林资源天空地一体化综合监测—广西应用示范”课题监测阶段性成果等.转换投影坐标系为 CGCS2000,地理坐标系为 GCS_WGS_1984,并利用 ArcGIS10.8 统一转换为 30m×30m 精度进行处理.

1.3 研究技术路线与方法

技术路线拟利用研究区 2020 年度国土空间用地类型数据,按照“大尺度宏观层面生境质量定量评估+中小尺度中微观层面造林绿化空间适宜性评估+ArcGIS 叠加分析识别”路径,定量分析研究区国土空间用地类型状况、生境质量水平和生境退化程度;按国土空间规划“三区三线”管控相关要求和造林绿化空间适宜性评估技术方法,确定研究区内适宜造林绿化空间位置与规模;综合考虑科学管控、陆海统筹、系统治理的要求,利用 ArcGIS 空间分析工具,将研究区国土空间生境质量现状矢量图层、造林绿化空间适宜性评估成果矢量图层以及国家重点研发计划重点专项课题阶段性成果矢量图层数据进行叠加分析与综合识别,按国土空间生境质量等级分类分布状况确定研究区内适宜造林绿化空间的位置与规模,精准识别国土绿化空间分类管控施策的优先区域和一般区域,并叠加到国土空间规划“一张图”进行精细化用途管控,并分析了造林绿化适宜空间评估划定的驱动力.技术路线流程详见图 2.

1.3.1 InVEST 模型评估法 研究区生境质量状况采用 InVEST 模型 3.13.0Workbench 版生境质量模块(Habitat Quality)进行评估,其中生境质量指数和生境退化度计算公式参考文献[16].根据 InVEST 模型用户手册需要以及研究区实际情况,经过实地调研并收集相关数据,同时结合以往研究成果[17],设置研究区胁迫因子最大威胁距离、权重(表 1),以及各用地类型生境适宜性对胁迫因子敏感程度等相关参数(表 2).

利用 ArcGIS10.8 软件对研究区国土空间生境质量值的评价等级标准划分为优秀、良好、中等、较差和差 5 个等级,详见表 3[18].

1.3.2 造林绿化空间适宜性评估法 根据自然资源部、国家林业和草原局工作部署以及广西造林绿化空间适宜性评估技术方案,采用高分辨率卫星遥感影像,结合森林资源档案、国土空间规划成果等材料,利用“国土三调”工作底图及年度变更调查实地补充图斑,并采用研究区内最新的森林资源“天空地”一体化综合监测评估成果数据,第一步按照不适

宜造林绿化空间的前置评估条件和土地不适宜性指标等评估参考标准,将现状耕地、标注恢复属性的园地和林地、耕地后备资源等潜力调查评价成果、城镇开发边界、建设用地审批数据、盐碱化以及石漠化程度重度及以上地区、自然保护地核心保护区等限制性地类图斑逐个进行指标属性更新完善,明确为不适宜造林绿化空间进行扣除[19].第二步按照《造林绿化落地上图技术规范(试行)》、适宜造林绿化土地适宜性指标等评估标准等并结合研究区降水量、海拔、坡度、土层厚度等差异化因子,考虑荒漠化、沙化、石漠化、盐碱化等影响,开展造林绿化空间适宜性评估与综合评判,筛选出适宜性图斑,统筹确定造林绿化的规划空间和位置,并落实到国土空间规划“一张图”上进行精细化用途管控,为研究区有序安排年度造林绿化任务提供合法、精准、智慧的用地保障.

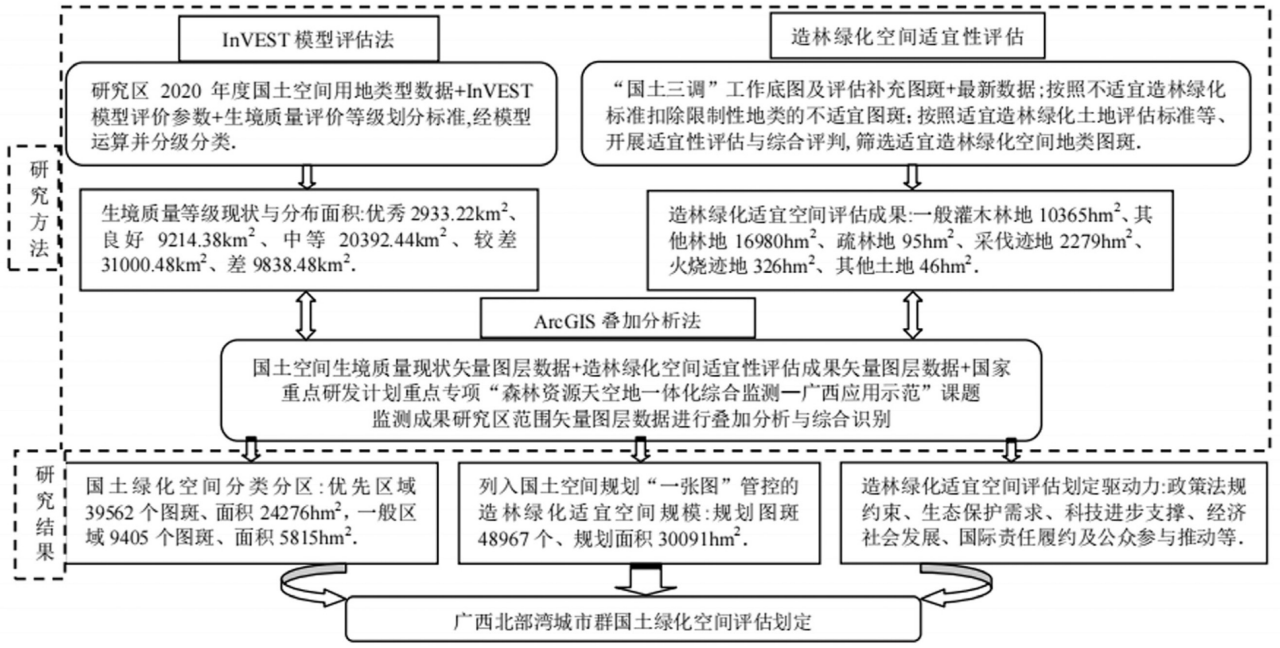


图 2　研究技术路线流程

Fig.2　Research technical route flow chart

表 1　胁迫因子及影响距离和权重

Table 1　Stress factors and their influence distance and weight

胁迫因子	最大胁迫距离(km)	权重	权重距离递减函数
耕地	4	0.6	线性
建设用地	10	1.0	指数
未利用地	6	0.5	线性
公路	6	0.8	线性
铁路	5	0.7	线性

表 2　用地类型对胁迫因子敏感程度

Table 2　The sensitivity of land use type to stress factors

国土空间用地类型	生境适宜度	胁迫因子				
		耕地	建设用地	未利用地	公路	铁路
耕地	0.4	0.3	0.8	0.4	0.4	0.5
林地	1.0	0.6	0.9	0.3	0.7	0.8
草地	0.8	0.6	0.7	0.6	0.6	0.7
水域	1.0	0.7	0.8	0.3	0.7	0.7
建设用地	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
未利用地	0.2	0.6	0.4	0.3	0.3	0.3

1.3.3　ArcGIS 叠加分析法　叠加分析是 ArcGIS 在空间分析领域中广泛应用且非常重要功能之一.该方法是通过 ArcGIS 软件在同一空间参考系统下,对两个及以上有关主题图层组成的各个数据进行叠置或一系列集合运算,产生新数据层面、新空间关系和属性关系的过程,以揭示“多源空间数据”图层之间潜在的空间关系、模式或特征[20].

本研究实际应用叠加分析的具体方法为采用地理信息系统软件(ArcGIS)−工具箱(Toolbox)−分析工具(Analysis Tools)−叠加(Overlay)模块,以广西 2022 年林草湿“一张图”成果数据和国土变更最新年度调查成果衔接融合后的矢量图层为底图,将生

境质量现状、造林绿化空间适宜性评估成果以及国家重点研发计划重点专项课题阶段性成果等主题图层的矢量图数据在空间上进行叠加,构成多层数据间新的空间关系和属性特征,利用 ArcGIS 相交、擦除、合并等空间分析功能,精准识别和确定各设区市适宜造林绿化图斑对应在生境质量不同等级区域内的规划地类、空间位置与规模;并按生境质量等级分类结果划定国土绿化空间的优先区域和一般区域,为城市群生态建设落实“造林绿化落地上图”和信息化、精细化管控提供支撑.

表 3 生境质量评价等级划分标准

Table 3 Habitat quality evaluation grading standards

划分等级	取值区间	生境质量等级特征描述
差	0.0～0.2	受外界干扰大,生境质量差,生物多样性低,自然恢复能力弱
较差	>0.2～0.4	受外界干扰相对小,生境质量较差,生物多样性较低,自然恢复能力较弱
中等	>0.4～0.6	生境质量中等,生物多样性中等,有一定自然恢复能力
良好	>0.6～0.8	生态环境具有较强抵御威胁因子能力,生物多样性好,植被覆盖率高
优秀	>0.8～1.0	生态适宜性良好,生境质量最好,抵御威胁因子能力强,生物群落密集

2 结果与分析

2.1 国土空间生境质量现状特征

2.1.1 国土空间用地类型构成 通过采用 ArcGIS 软件对国土空间用地类型进行分析表明,研究区 2020 年度国土空间用地类型构成以林地和耕地为主(图 3、表 4),2020 年度两者合计面积占区域总面积的 87.56%(表 4),呈集中连片式分布.其中 2020 年度耕地面积占研究区总面积 28.52%,耕地面积分布较大的设区市为南宁、崇左、钦州和玉林.2020 年度林地、草地面积分别占研究区总面积的 59.04%和 5.27%,林地和草地面积分布较大的设区市均为南宁和崇左.水域用地占研究区总面积的 2.26%,主要分布于珠江水系的邕江、郁江、左江、明江、南流江、九洲江、钦江、北仑河、平陆运河及大中型水库等.建设用地占研究区总面积的 4.80%,集中分布于各设区市城镇开发边界内,详见表 4.

2.1.2 生境质量现状特征 根据研究区生境质量指数、生境退化度指数运算结果并按表 3 的分类标准进行划分.经测算,2020 年研究区生境质量指数平均值为 0.3930、生境退化度指数平均值为 0.3199,各设区市生境质量指数分别为南宁 0.3671、北海 0.4088、钦州 0.3733、防城港 0.5403、玉林 0.4065、崇左 0.2622.

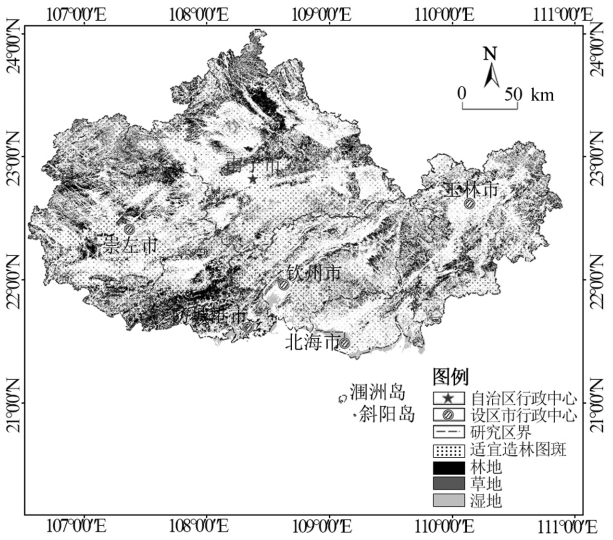


图 3 国土空间用地类型空间分布情况

Fig.3 Spatial distribution of land use types in land space

表 4 2020 年国土空间用地类型面积分布统计

Table 4 Statistical table of land use type area distribution in 2020

设区市	合计(km^2)	耕地(km^2)	林地(km^2)	草地(km^2)	水域(km^2)	建设用地(km^2)	未利用地(km^2)
南宁	22397.5	7417.5	11758.2	1308.1	624.3	1277.1	12.3
北海	3461.0	1648.6	1082.0	28.1	206.6	473.7	22.0
防城港	6049.0	890.2	4410.9	373.0	172.3	191.7	10.9
钦州	10864.3	3390.0	6213.0	508.0	284.1	459.8	9.4
玉林	13012.2	3198.2	8605.2	458.8	189.5	549.7	10.8
崇左	17595.0	4385.6	11250.8	1190.1	177.9	577.1	13.5
6 市地类面积合计	73379.0	20930.1	43320.1	3866.1	1654.7	3529.1	78.9
6 市合计占比(%)	100.00	28.52	59.04	5.27	2.26	4.80	0.11

表 5　研究区适宜造林绿化空间地类和规模统计

Table 5　Statistical table of land types and scale suitable for afforestation and greening space in the study area

统计单位	图斑数量(个)	图斑数比例(%)	面积合计(hm^2)	一般灌木林地(hm^2)	其他林地(hm^2)	疏林地(hm^2)	采伐迹地(hm^2)	火烧迹地(hm^2)	其他土地(hm^2)	面积占比(%)
合计	48967	100	30091	10365	16980	95	2279	326	46	100
南宁	8343	17.0	5709	3005	2253	1	444	3	4	19.0
北海	901	1.2	879	237	630	4	8	0	0	2.9
防城港	940	1.9	425	171	190	0	62	0	1	1.4
钦州	10079	20.6	6170	2183	3584	2	359	36	6	20.5
玉林	15701	32.1	10402	2067	7588	84	349	287	27	34.6
崇左	13303	27.2	6506	2703	2735	3	1057	0	7	21.6

2020 年研究区生境质量等级分布情况为(表 6):优秀等级区域面积 293322hm^2、占总面积为 4.00%;良好等级区域面积 921438hm^2、占 12.56%;中等等级区域面积 2039244hm^2、占 27.78%;较差等级区域面积 3100048hm^2、占 42.25%;差等级区域面积 983848hm^2、占 13.41%.优秀、良好和中等 3 个生境质量等级的面积占比为 44.34%,总体不超过一半;差和较差 2 个生境质量等级的面积占比为 55.66%,总体超过一半以上.2020 年研究区生境退化属较严重等级状况;人口密集、城镇化程度较大的东部和北部生境退化度指数高;地处中越边境线上的崇左、防城港以及沿海的钦州、北海生境退化度指数较低.

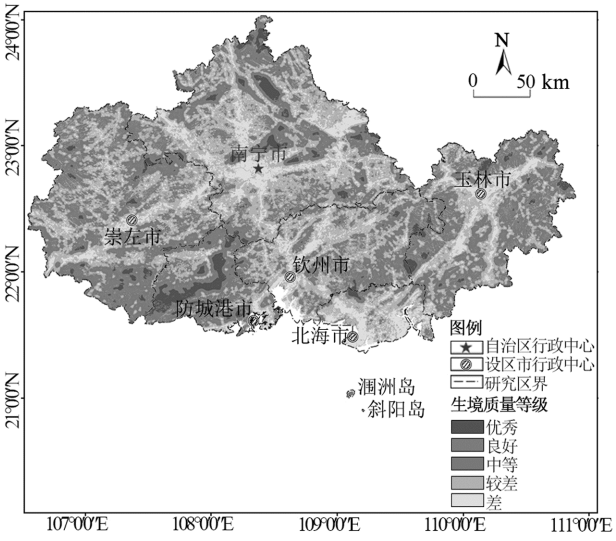


图 4　国土空间生境质量水平空间分布情况

Fig.4　Spatial distribution of habitat quality level in land space

由图 4 可知,生境质量良和优等级生境集中于林地、草地、水域为主的区域;而中等等级生境主要分布在耕地、未利用地用地区域,差、较差等级生境主要位于各设区市城镇开发边界和工矿企业区域的建设用地.综上所述,研究区的生境质量总体状况属于中等偏差等级.

2.2　造林绿化适宜空间规模与地类

根据 1.3.3 评估方法并结合研究区现有相关数据进行核对与综合评判的结果表明,研究区适宜作为造林绿化空间用途管控的规划图斑数量为 48967 个、规划面积为 30091hm^2.

2.2.1　图斑总数比例　研究区中适宜造林绿化的图斑主要集中分布在玉林、崇左、钦州和南宁 4 个市,分别占研究区适宜造林绿化图斑总数的 32.1%、27.2%、20.6%和 17.0%;图斑数比例最高的为玉林,占 32.1%;北海最低,仅为 1.2%.

2.2.2　图斑面积分布　按适宜造林绿化的图斑面积规模分布特征为集中在玉林、崇左、钦州和南宁 4 个市,分别占研究区适宜造林绿化总面积的 34.6%、21.6%、20.5%和 19.0%;图斑面积比例最高为玉林,占 34.6%;防城港最低仅为 1.4%.

2.2.3　土地类型构成　按适宜造林绿化空间的土地类型构成结果:一般灌木林地 10365hm^2、占总面积 34.4%;其他林地 16980hm^2、占总面积 56.4%;疏林地 95hm^2、占总面积 0.3%;采伐迹地 2279hm^2、占总面积 7.6%;火烧迹地 326hm^2、占总面积 1.1%;其他土地 46hm^2、占总面积 0.2%.研究区 6 设区市适宜造林绿化用地按地类划分的空间面积从大到小分布特征为:一般灌木林地最多的 4 市包括南宁 3005hm^2、钦州 2183hm^2、玉林 2067hm^2、崇左 2703hm^2;其他林地最多 4 市包括南宁 2253hm^2、钦州 3584hm^2、玉林 7588hm^2、崇左 2735hm^2;疏林地最多为玉林市 84hm^2;采伐迹地最多的 4 市包括南宁 444hm^2、钦州 359hm^2、玉林 349hm^2、崇左 1057hm^2;火烧迹地最多为玉林市 287hm^2;其他土地最多为玉林市 27hm^2,详见表 5 和图 5.

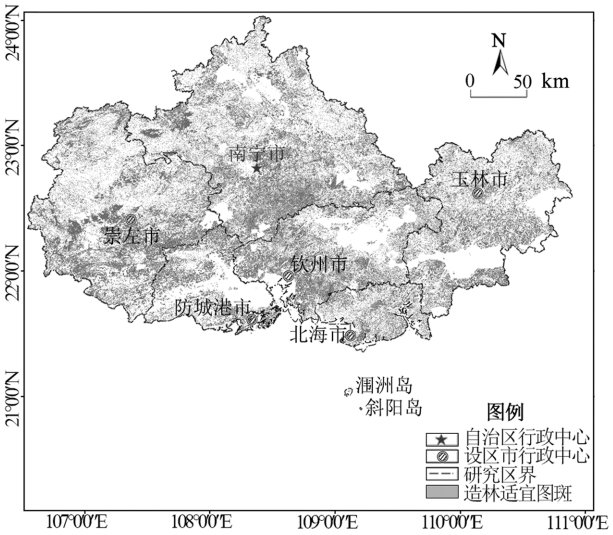


图 5 造林绿化空间适宜图斑分布情况

Fig.5 Suitable patch distribution of afforestation space

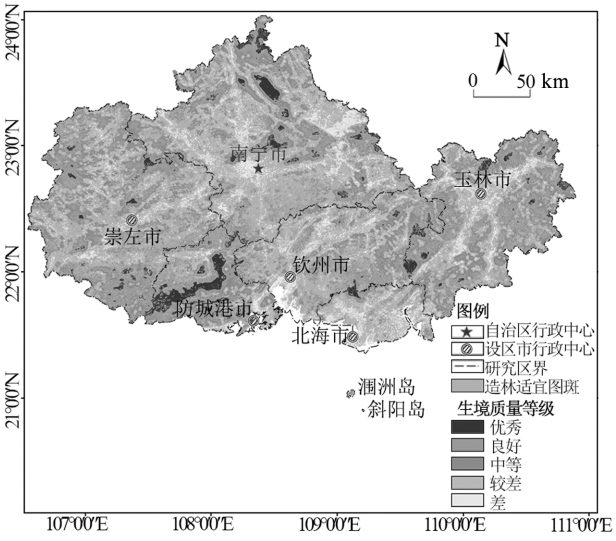


图 6 生境质量等级与造林绿化适宜图斑叠加情况

Fig.6 Habitat quality grade and afforestation suitable map spot superposition

2.3 国土绿化空间分类分区

按照 ArcGIS 叠加分析法,运用 ArcGIS 软件中的空间分析工具,将研究区广西 2022 年林草湿“一张图”成果数据、2022 年度国土变更调查成果数据、研究区 2020 年度国土空间生境质量状况分析评估数据、造林绿化空间适宜性评估成果数据以及国家重点研发计划重点专项课题监测成果研究区范围的 SHP 数据进行叠加分析后,识别得出研究区生境质量各等级区域内相应叠加的造林绿化适宜空间地类图斑分布情况. 按城市群建设生态功能提升需要和“聚焦国土绿化优先权识别”要求,将研究区与生境质量较差和差等级区域内叠加的造林绿化适宜空间图斑区划为生态建设和国土绿化的优先区域,涉及 39562 个图斑,面积达 24276hm^2;与生境质量优秀、良好和中等等级区域内叠加的造林绿化适宜空间图斑区划为生态建设和国土绿化的一般区域,涉及 9405 个图斑,面积为 5815hm2,详见图 6 和表 6.

表 6 研究区国土绿化空间分类分区统计表

Table 6 Statistical table of land greening space classification and zoning in the study area

国土绿化空间分区	生境质量等级	生境质量各等级面积 (hm^2)	适宜造林绿化面积 (hm^2)	适宜造林绿化面积占比 (%)	适宜造林绿化图斑数 (个)
一般区域	优秀	293322	37	0.00	87
	良好	921438	1395	4.00	2365
优先区域	中等	2039244	4383	14.00	6953
	较差	3100048	10423	34.00	13893
	差	983848	13853	48.00	25669
合计		7337900	30091	100.00	48967

2.4 造林绿化适宜空间评估划定的驱动力分析

造林绿化适宜空间评估划定的驱动机制是一个多维度联动、多层级分工、多因素协同作用的复杂系统工程,其驱动机理是“政策约束-生态需求-科技支撑-空间优化-管理创新-目标多元”的闭环系统,通过相关政策法规刚性约束、生态化多尺度需求整合优化、多要素协同统筹推动以及动态适应性创新管理等综合驱动,实现城市群区域生态安全与经济社会高质量发展的多元化目标.其核心驱动力包括政策法规约束、生态保护需求、科技进步支撑、经济社会发展、国际责任履约及公众参与推动等等,通过它们之间相互交织、协同促进的综合驱动作用[21],助力构建“山水林田湖草沙城”一体化保护与系统治理的城市群生态系统命运共同体,实现城市群生态保护与修复建设的精准化、智能化和科学化.

2.4.1 政策法规与战略规划是评估划定的刚性驱动力 由于现状耕地、耕地后备资源、城镇开发边界、建设用地、重度石漠化地区、自然保护地核心保护区以及其他法律法规明确禁止造林的土地等限制地类,不作为适宜造林绿化空间.国务院关于坚决制止耕地“非农化”、防止耕地“非粮化”、科学绿化指导意见等系列政策法规明确了不同区域的主导功能和管控要求,对造林绿化用地有严格约束规定,需在符合相关政策法规和《北部湾城市群发展

规划》要求前提下,合理安排造林绿化空间,并与国土空间规划“三区三线”相衔接,是推动造林绿化适宜空间评估划定的根本动力.

2.4.2　生态保护与修复需求是评估划定的生态驱动力　根据对研究区生境质量现状特征分析结果,生境质量总体状况属于中等偏差等级,同时研究区面临森林总体质量偏低、局部生物栖息地破碎化、部分土地石漠化或沙化、南部沿海生态系统退化等生态问题,亟需通过科学评估划定符合城市群生态保护与修复客观需求的国土绿化适宜区域和关键生态节点,通过精准的保护修复与造林绿化活动,进一步提高研究区生境质量总体水平和生态韧性,构建陆海统筹一体化的北部湾城市群生态屏障.

2.4.3　科技进步与数据支撑是评估划定的创新驱动力　本次评估划定采用了以高分辨率遥感影像为主的基础数据,结合国家重点研发计划重点专项等科研课题监测成果数据,通过 InVEST 模型评估和 ArcGIS 叠加分析进行定量评估,合理应用了卫星遥感、无人机监测以及地面实测等现代技术手段和“多源空间数据”,更好地识别适宜造林绿化区域,支撑精准划定与智慧化动态监测管控,为评估划定提供更准确的数据支持和创新驱动.

2.4.4　经济社会发展需求是评估划定的战略驱动力　随着人们生活水平的提高,对绿色空间的需求不断增加,推进国土科学绿化和经济绿色低碳转型发展方式是研究区经济社会高质量发展的必然方向.通过科学划定造林绿化适宜空间和分类分区管控,加强城市群生态保护与修复建设,发展林下经济和生态旅游等,能大力推动经济绿色转型和生态经济可持续发展;同时增加高质量的城乡绿化空间,提高土地生态经济价值,满足居民对绿色空间需求,提升城市群生态空间品质,为协调做好城市群生态建设与经济社会发展的战略需求提供强大动力.

2.4.5　国际责任履约是评估划定的全球驱动力　研究区作为广西面向中国-东盟开放合作区和西部陆海新通道的出海门户,需要科学评估划定造林绿化适宜空间,开发“一带一路”跨国生态合作项目、“造林+碳汇”项目并参与林业碳汇国际交易,助力国家履行《巴黎协定》《生物多样性公约》《湿地公约》等国际公约,是城市群参与履行全球国际责任担当的动力.

2.4.6　公众参与推动是评估划定的共享驱动力　随着社会公众对生态环境保护的关注度和参与度不断提高,更加重视城乡国土绿化对改善城市群区域环境的生态惠民、共建共享作用.特别是研究区的南宁、北海等设区市将通过“15 分钟生活圈”构建社区绿地网络,务必更加主动参与监督造林绿化适宜空间的合法合规与管控,同时将造林绿化适宜空间融入各城市更新生态建设实践一体化规划,激励全社会公众协同治理和多元主体参与,助力实现打造北部湾“蓝色海湾”城市群目标.

3　讨论

确定合法合规的造林绿化适宜空间,对城市群中受损和退化的生态系统进行恢复和重建,是城市群缓解区域生态问题、推进人与自然和谐共生现代化的关键.

3.1　与已有研究成果比较与创新点

根据史文艳等[22]、姜涛等[23]学者的研究成果,主要研究思路为通过生态系统服务水平评价、MSPA 景观格局分析、景观连通性评估、InVEST 模型评估、层次分析法、电路理论等方法提取生态关键因素、构建生态网络和确定生态修复范围对国土空间生态修复关键区域识别与修复分区.目前现有同类研究成果在研究尺度上多为停留在宏观和中观层面,没有将生态修复区域落实到具体的山头地块微观尺度层面,造林绿化适宜空间的位置与规模没有具体明确,实施的可操作性有较多限制和不确定性.本研究基于兼顾研究理论科学性与实践应用可操作性,以解决规划用于生态建设中造林绿化用地的空间位置、地类规模、管控分区与优先顺序等为切入点,在参考前人现有相关研究成果基础上,强化采用 InVEST 模型评估、造林绿化空间适宜性评估、ArcGIS 叠加分析等多学科研究方法相融合,提出了“宏观区域战略层面+中微观落地可操作层面统筹兼顾”的研究思路,符合城市群生态建设“合法合规、施策精准、智慧管理”等精细化管控要求,具有较强的科学性、系统性与可操作性.相较于国内外现有同类研究成果,本文在城市群国土绿化建设研究方法、实践指导等方面具有一定的创新优势,可为同类研究提供参考.

3.2　研究方法在不同尺度和不同区位行政单元的

适用性分析

本文研究方法适用性主要体现于“宏观调控层面+中微观可操作层面”统筹兼顾的组合创新,InVEST 模型评估主要适用宏观生境质量评估,为造林绿化空间适宜性评估提供宏观层面生态约束框架;造林绿化空间适宜性评估适用于以科学数据分析和实地调查为基础,明确造林绿化用地空间分布和范围;ArcGIS 叠加分析则整合 InVEST 模型宏观评估和造林绿化空间适宜性中微观可操作评估两者结果,生成最优化造林绿化适宜空间管控分区与优先顺序,进一步完善国土空间规划“一张图”体系.

3.2.1 InVEST 模型评估法的适用性 采用 InVEST 模型评估主要是重点评估研究区抵御生境威胁因子的生态适应能力、生物多样性保护和植被覆盖率状况.因此,InVEST 模型能够从整体上对研究区生境质量指数和生境退化度进行总体量化综合评估,为制定城市群层面的生态保护和国土绿化策略提供科学依据.针对研究区所辖 38 个县(市、区)层面,InVEST 模型可根据各县级的土地利用类型、生物多样性保护和植被覆盖率状况等详细数据,评估各县级生境质量指数和生境退化度在空间上的差异和潜力.针对乡镇和行政村层面,InVEST 模型可在城市群和县两级评估成果控制基础上,结合采用机载激光雷达技术和无人机拍摄的高精度航测数据、配合地面固定生态监测站点的实地调查数据,能对具体特殊地类范围或生态系统功能斑块生境质量水平进行精准评估.

整个研究区按不同区位行政单元共分北部湾沿海区域、丘陵山地区域和喀斯特岩溶区域.钦州、北海、防城港的近海海岸构成研究区的北部湾沿海区域,通过 InVEST 模型评估对滨海红树林湿地等海洋生态系统和近海环境状况进行评估,估测其在海洋生物多样性保护、蓝色海洋碳汇以及近海海岸带防护等生态服务功能价值;同时考虑台风、风暴潮等海洋自然灾害对生态系统的影响,确定北部湾城市群沿海防护林体系建设的绿化空间合理布局和规模.以玉林全域和南宁大明山、西大明山以及防城港十万大山等为主分布的丘陵山地区域,通过 InVEST 模型评估丘陵山地森林生态系统在涵养水源、保育土壤、固碳释氧、净化空气、生物多样性保护和生态游憩等生态服务功能,依据不同地形地貌特征确定造林绿化空间格局,筑牢城市群区域生态安全屏障.位于研究区西部和西南部的喀斯特岩溶区域主要分布在南宁、崇左 2 个设区市境内,岩溶土地面积占全区岩溶土地总面积 23%. 通过 InVEST 模型评估喀斯特岩溶区域国土空间地类现状、岩溶植被类型及盖度状况和岩溶生态系统退化程度等,依据喀斯特地貌不同区域的生态本底资源环境特征,划定涵盖城市群、县级和乡镇行政村不同尺度层面的石漠化防治生态功能区和石山造林绿化空间,制定针对性的石漠化综合治理模式及生态保护策略.

3.2.2 造林绿化空间适宜性评估法的适用性 在国土空间规划中明确造林绿化空间工作是自然资源部国家林业和草原局联合统一部署的基础性技术工作.本研究中采用的评估标准应符合全国统一要求和广西自治区层面特定要求的《造林绿化空间适宜性评估技术方案》.因此,造林绿化空间适宜性评估法针对不同尺度和不同区位的行政单元均具有适用性,需要执行国家和自治区的统一标准.

从整个研究区宏观尺度层面,该评估法以“国土三调”及其年度变更数据为底图,融合森林资源管理“一张图”等数据,扣除耕地、城镇开发边界等不适宜造林绿化空间,综合考虑研究区地形、气候、水文、土壤等自然因素以及石漠化、沙化、盐碱化等自然环境影响,确定整个城市群国土空间规划中满足区域生态保护目标与造林绿化需要的适宜性用地总体规模、管控分区与优先顺序.研究区所辖 38 个县(市、区)层面,该评估法可根据各县级评估底图以及各自本底资源环境详细数据,对各县级造林绿化适宜空间地类规模、管控分区和生态建设项目布局进行合理划分.乡镇和行政村层面,该评估法可衔接城市群和县两级对造林绿化适宜空间评估划分基础上,结合乡镇和行政村局部重点地类范围或特殊功能具体地块的造林绿化环境因子实地调查数据,确定局部重点范围最优化的造林绿化适宜空间和精细化的造林绿化模式.

从整个研究区按不同区位行政单元的适宜性评估可知,北部湾沿海区域可通过综合考虑台风、风暴潮等海洋气候、盐碱化土壤、近海环境生态功能退化等特殊环境条件,以及滨海红树林湿地生态系统与近海海岸带生态保护需求,采用适宜性评估法

确定适合沿海生态环境特殊条件、同时兼顾生态防护和景观美化功能等特性需求的造林绿化空间规模和布局. 丘陵山地区域可依据不同地形地貌特征,采用适宜性评估法精准确定符合森林生态系统多元化生态服务功能的造林绿化空间格局. 喀斯特岩溶区域则可根据喀斯特地貌不同的本底资源特征和岩溶生态系统修复需要,采用适宜性评估法划定喀斯特石漠化防治生态功能区,落实不同尺度层面的石山造林绿化空间地类位置和图斑面积.

3.2.3　ArcGIS 叠加分析法的适用性　采用的 ArcGIS 叠加分析其核心路径是将以研究区评估底图为基础,将 InVEST 模型评估成果+造林绿化空间适宜性评估成果+专项课题监测成果等矢量图层 SHP 数据在空间上进行叠加,精准识别和确定各设区市内适宜造林绿化图斑对应在生境质量不同等级区域内的规划地类、空间位置与规模.

从整个研究区宏观尺度层面,ArcGIS 叠加分析法可以将城市群大范围的国土空间地类现状、生境质量水平分布、造林绿化空间适宜图斑、局部重点地类范围或特殊功能具体地块的环境因子实地调查数据等多源地理空间数据进行相交、擦除、合并等,精准识别和确定整个研究区国土绿化的总体空间格局,并按生境质量等级分类结果划定国土绿化空间的优先区域和一般区域. 研究区所辖 38 个县(市、区)层面,利用 ArcGIS 叠加分析法可根据各县级的评估底图以及各自生态本底资源环境、城市森林和公共绿地等详细数据,对各县级造林绿化适宜空间地类规模、管控分区和绿化空间潜力等进行合理分析.研究区乡镇和行政村层面,利用 ArcGIS 叠加分析法可在衔接城市群和县两级尺度层面对造林绿化适宜空间叠加分析基础上,结合乡镇和行政村局部重点地类范围或特殊功能具体地块的多种属性信息和实地调查数据,能精准分析确定局部重点范围每个地块的造林绿化用地适宜性以及与周边地块优化配置的空间关系.

从整个研究区按不同区位行政单元的 ArcGIS 叠加分析可知,北部湾沿海区域需要重点考虑将海洋地理信息、海洋气候状况、近海海岸盐碱化与环境生态功能退化等信息,以及与沿海防护林体系建设的相关数据进行叠加分析,明确适宜营造沿海防护林的空间规模和布局.丘陵山地区域可依据适宜性指标评估标准并融入降水量、海拔、坡度、土壤、石漠化、盐碱化等环境因子信息,通过叠加分析确定符合造林绿化空间适宜性标准的空间匹配关系和空间格局.喀斯特岩溶区域则可根据喀斯特地貌资源环境特征和岩溶生态系统修复需要,通过叠加分析确定符合造林绿化空间适宜性标准和喀斯特地貌特征的石山造林绿化空间地类位置和图斑面积.

3.3　研究方法在不同尺度和不同区位行政单元的不确定性分析

3.3.1　InVEST 模型评估法的不确定性　生境质量定量评估虽然采用目前较为成熟的 InVEST 模型法,评估模型参数借鉴了前人研究成果和同类研究区域的参数设置.但还存在如下局限性:一是生境质量评估主要是基于研究区土地利用类型及胁迫因子进行评估,而在宏观尺度层面所使用的土地利用类型及胁迫因子等评估基础数据来源于不同部门和时间节点;虽然在微观尺度获取的数据精度较高,但小范围的数据样本无法完全代表整个城市群的生境质量状况特征,可能导致模型评估结果存在以偏概全和准确性偏低的风险. 二是在不同尺度和区位条件下,现实中各地国土空间用途管控成效差异及胁迫因子变化等不确定性因素较多,InVEST 模型部分关键参数设定缺乏统一标准和足够实证数据支持,存在数据分类标准差异、时效性较差等问题;因此局部特殊环境地区的评估精准度仍需进一步深入研究[24].三是研究区海洋自然灾害、土地沙化石漠化程度、中越边境生物安全和陆海统筹生态保护需求以及广西平陆运河等标志性重大工程实施等多元化威胁因素相互作用和反馈机制,对研究区生境质量定量评估结果可靠性有较大影响.

3.3.2　造林绿化空间适宜性评估法的不确定性　本次研究造林绿化空间评估的适宜性评价指标主要包括土地前置评估条件和土地适宜性指标.因此,造成不确定性的主导原因有:一是由于适宜性评价指标需要采用高分辨率卫星航天遥感影像解释和“国土三调”年度变更数据等,涉及基础地理信息、水文、土壤、气象、植被、土地沙化、石漠化程度、近海环境状况等具有较强时效性限制的多源数据,造成因森林资源管理“一张图”与国土三调成果地类现状数据的时效性不一致.二是研究区自然环境和社会经济条件的动态变化因素复杂多样,在适宜

性评估时全面考虑动态变化因素的影响存在一定的困难和不确定性,难以及时准确地反映实际的变化情况.三是研究区中低质低效林改造、退化林修复、自然灾害和人为破坏等需进行人工造林修复的图斑,在本次造林绿化空间适宜性评估中不能体现,导致适宜性评估成果中的存在一定缺漏.综上原因将降低适宜性评估法在不同尺度和行政单元评估应用结果可靠性和准确性.

3.3.3 ArcGIS 叠加分析法的不确定性 InVEST 模型评估和造林绿化空间适宜性评估均对不同来源的地理空间数据在质量和精度上要求较高,特别是土地利用类型及胁迫因子、土地适宜性指标因子等受客观条件限制,产生不同尺度和区位行政单元中的空间多源数据在叠加分析时可能存在分类精度较低、信息数据丢失或格式标准不兼容、各图层数据逻辑关系错误等问题,将直接影响对造林绿化空间适宜范围和优先级分区的叠加分析结果质量,给 ArcGIS 叠加分析法在不同尺度和区位行政单元的应用带来了一定的不确定性.

3.4 建议与未来研究展望

针对研究方法在不同尺度和不同区位行政单元的不确定性,建议需要规避和减少不确定性因素带来的风险,进一步落实科学绿化理念,按照统筹国土绿化空间、优化乔灌草配置的具体要求,合理安排研究区内有限的造林绿化适宜空间、科学配置乔灌草植被资源、多措并举提升城市群生态建设质量、统筹推进国土绿化与区域经济发展.

为适应未来高新技术应用需要,研究区未来要积极借鉴国内外发达地区同类经验做法,借鉴基于“天空地”一体化森林资源调查的方法[25],采用“人工智能+”天空地一体化综合监测集成技术方法,使用最新时期遥感影像资料和“国土三调”年度变更新数据,强化研究区城乡绿化空间“天空地”一体化综合监测评估和动态调控措施,建立年度调整机制.同时围绕“以水定绿、因地制宜、量力而行、节俭务实”科学绿化原则,破解城市群生态建设“在哪儿”用地限制难题,进一步加强国土绿化空间格局优化与统筹管控[26].围绕广西北部湾城市群生态保护与修复建设目标,坚持山、水、林、田、湖、草、沙、城一体化保护与系统治理,打破城市之间行政壁垒,注重城市群区域生态高度融合、生态安全一体化建设,有效贯通城市之间的森林、草原、湿地、绿色通道、城市绿地等生态空间,构建城乡绿点、廊道绿线、区域绿面、陆域与近海生态建设统筹并进的城市群生态安全网络和“点、线、面”复合型城乡一体化国土科学绿化新格局.

4 结论

4.1 研究区 2020 年生境质量指数平均值为 0.3930,生境退化度指数平均值为 0.3199,研究区生境质量现状属于中等偏差等级.

4.2 研究区适宜作为造林绿化空间用途管控的规划图斑个数为 48967 个、规划面积为 30091hm^2,划定生态建设和国土绿化优先区域面积为 24276hm^2、一般区域面积为 5815hm^2.

4.3 造林绿化适宜空间评估划定涉及政策法规约束、生态保护需求、科技进步支撑、经济社会发展、国际责任履约及公众参与推动等多维度驱动力,它们之间相互交织、协同促进的综合驱动作用显著.

4.4 将规划适宜造林绿化用地空间纳入国土空间规划“一张图”进行精细化用途管控,将绿化任务和成果落到实地、图斑和数据库,实现全过程监管,符合国家实施精准管控国土绿化项目用地、建立全域统一国土空间用途管制改革的客观需要.

4.5 通过大力发展新质生产力赋能城市群区域国土绿化空间监测评估,增加人工智能技术在国土绿化空间综合监测动态评估中的应用场景,符合研究区新一轮高质量发展重大需求和生态建设科学研究方向.

参考文献:

[1] 肖金成,袁 朱.经济引擎——中国城市群 [M]. 重庆:重庆大学出版社. 2022:24-388.
Xiao J C, Yuan Z. Economic engines: Urban agglomerations in China [M]. Chongqing: Chongqing University Press, 2022:24-388.

[2] 王 成.落实习近平总书记建设森林城市指示 推进城市绿化事业高质量发展 [J]. 中国城市林业, 2024,22(1):1-7.
Wang C. Implementing the President Xi Jinping's instructions for building forest cities and promoting high-quality development of urban greening in China [J]. Journal of Chinese Urban Forestry, 2024,22(1):1-7.

[3] 张学儒,周 杰,李梦梅.基于土地利用格局重建的区域生境质量时空变化分析 [J]. 地理学报, 2020,75(1):160-178.
Zhang X R, Zhou J, Li M M. Analysis on spatial and temporal changes of regional habitat quality based on the spatial pattern reconstruction of land use [J]. Acta Geographica Sinica, 2020,75(1):160-178.

[4] 国务院办公厅.关于科学绿化的指导意见 [J]. 绿色中国, 2021,(11):12-17.
General Office of the State Council. Guiding opinions on scientific

greening [J]. Green China, 2021,(11):12−17.
[5] 李　楠,王　鹏,夏恩龙,等.欧洲森林城市群规划管理经验及其对中国的启示 [J]. 世界林业研究, 2021,34(6):92−97.
Li N, Wang P, Xia E L, et al. Coordinated development model of forest city agglomeration in Europe and its enlightenment [J]. World Forestry Research, 2021,34(6):92−97.
[6] 祁　帆,贾克敬,常　笑.在国土空间规划中统筹划定三条控制线的五大趋向 [J]. 中国土地, 2019,(12):4−8.
Qi F, Jia K J, Chang X. Five trends in the coordinated delimitation of the three control lines in territorial spatial planning [J]. China Land, 2019,(12):4−8.
[7] 国家林业和草原局 自然资源部.关于印发《造林绿化落地上图技术规范(试行)》的通知 [EB/OL].https://www.forestry.gov.cn/c/www/gkzfwj/272597.jhtml2021−11−02/2025−08−22.
National Forestry and Grassland Administration, Ministry of Natural Resources. Notice on issuing the technical specifications for mapping afforestation and greening on the ground (trial) [EB/OL]. https://www.forestry.gov.cn/c/www/gkzfwj/272597.jhtml,2021−11−02/2025−08−22.
[8] Tang K, Wang Y Y, Wang H J. The impact of innovation capability on green development in China's urban agglomerations [J]. Technological Forecasting & Social Change, 2024,200123128−.
[9] Jia H, Liang P, Chen X, et al. Spatio−temporal evolution, factors, and enhancement paths of ecological civilization construction effectiveness: Empirical evidence based on 48 Cities in the Yellow River Basin of China [J]. Land, 2025,14(7):1499−1499.
[10] 何彬元,曾　嵘,戴蒲英,等.广西森林城市高质量发展评价及影响因素研究 [J]. 林草资源研究, 2023,(5):89−97.
He B Y, Zeng R, Dai P Y, et al. Research on the evaluation and influencing factors of high−quality development of forest cities in Guangxi [J]. Forest and Grassland Resources Research, 2023,(5):89−97.
[11] 方园园,何彬元.基于生态安全格局的广西北部湾城市群生态保护与修复 [J/OL]. 环境科学, 1−22[2025−08−23].https://doi.org/10.13227/j.hjkx.202505116.
Fang Y Y, He B Y. Ecological protection and restoration of Beibu Gulf urban agglomeration in Guangxi based on ecological security pattern [J/OL]. Environmental Science, 1−22[2025−08−23].https://doi.org/10.13227/j.hjkx.202505116.
[12] 向爱盟,岳启发,赵筱青,等.国土空间生态修复关键区识别及修复分区——以西南喀斯特山区开远市为例 [J]. 中国环境科学, 2023,43(12):6571−6582.
Xiang A M, Yue Q F, Zhao X Q, et al. Identification of key areas for territorial space ecological restoration and restoration zoning: A case study of Kaiyuan City in southwest karst mountainous area [J]. China Environmental Science, 2023,43(12):6571−6582.
[13] 盛志宏,蒲彩姣.广西北部湾经济区人才政策的变迁与逻辑——以间断均衡理论为视角 [J]. 广西经济, 2021,39(Z4):1−6.
Sheng Z H, Pu C J. Evolution and logic of talent policy in the Guangxi Beibu Gulf Economic Zone: A perspective of Punctuated Equilibrium Theory [J]. Guangxi Economy, 2021,39(Z4):1−6.
[14] 王雨露.基于GeoSoS−FLUS和InVEST模型的赤水河流域“三生”空间多情景模拟及其生境质量分析 [D]. 贵阳:贵州师范大学, 2023.
Wang Y L. Multi−scenario simulation and habitat quality analysis of "Production−Living−Ecological" space in Chishui River Basin based on GeoSoS−FLUS and InVEST models [D]. Guiyang: Guizhou Normal University, 2023.
[15] 李蒙蒙,张桂学,张瑜珊.广西土地利用碳排放时空演变及影响因素分析 [J]. 南方自然资源, 2024,(6):37−41.
Li M M, Zhang G X, Zhang Y S. Spatiotemporal evolution and influencing factors of carbon emissions from land use in Guangxi [J]. Southern Natural Resources, 2024,(6):37−41.
[16] 何清清,何　君.基于 InVEST 模型的三峡库区(重庆段)生境质量时空演变分析 [J]. 三峡生态环境监测, 2022,7(1):15−25.
He Q Q, He J. Spatial and temporal evolution of habitat quality in the Three Gorges Reservoir Area (Chongqing section) based on InVEST model [J]. Ecology and Environmental Monitoring of Three Gorges, 2022,7(1):15−25.
[17] 张　继,杨世琦,赵　磊,等.基于 InVEST 模型的重庆市“一带三屏”生境质量时空演变特征分析 [J]. 生态环境学报, 2025,34(2):167−180.
Zhang J, Yang S Q, Zhao L, et al. Spatiotemporal evolution characteristics of habitat quality in the One Belt and Three Barriers region of Chongqing city based on the InVEST model [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2025,34(2):167−180.
[18] 何彬元,曾　嵘,方园园.广西北部湾城市群生境质量时空演变特征研究 [J]. 西北师范大学学报(自然科学版), 2025,61(4):50−60.
He B Y, Zeng R, Fang Y Y, Study on the spatial and temporal evolution characteristics of habitat quality in Beibu Gulf urban agglomeration of Guangxi [J]. Journal of Northwest Normal University (Natural Sciences), 2025,61(4):50−60.
[19] 杨本远,李金亮.云南省造林绿化空间适宜性调查评估研究——以大理州为例 [J]. 林业科技情报, 2024,56(1):5−10.
Yang B Y, Li J L. Investigation and evaluation on spatial suitability of afforestation and greening in Yunnan Province——Take Dali Prefecture as an example [J]. Forestry Science and Technology Information, 2024,56(1):5−10.
[20] 李　欧,安　静.基于 ArcGIS 叠加分析功能的国土变更调查成果研究 [J]. 测绘与空间地理信息, 2024,47(S1):142−144.
Li O, An J. Research on land change survey results based on ArcGIS overlay analysis function [J]. Geomatics & Spatial Information Technology, 2024,47(S1):142−144.
[21] 张　轲,尹　力,魏　伟,等.中亚−西亚经济走廊国土空间格局演变特征及机制分析 [J]. 地球信息科学学报, 2024,26(11):2529−2551.
Zhang K, Yin L, Wei W, et al. Characterizing the evolution of territorial space patterns and driving mechanisms in the countries along the Central Asia−West Asia Economic Corridor [J]. Journal of Geo−information Science, 2024,26(11):2529−2551.
[22] 史文艳,方　伟,郑钧宁,等.国土空间生态修复关键区域识别 [J]. 北京测绘, 2025,39(3):327−333.
Shi W Y, Fang W, Zheng J N, et al. Identification of key areas for ecological restoration of territorial space [J]. Beijing Surveying and Mapping, 2025,39(3):327−333.
[23] 姜　涛,王峭然,宋英赫,等.哈尔滨市国土空间生态修复关键区域识别与修复分区研究 [J]. 环境科学与管理, 2025,50(4):141−146.
Jiang T, Wang Q R, Song Y H, et al. Identification of key regions and restoration zoning for territorial spatial ecological restoration in Harbin City [J]. Environmental Science and Management, 2025,50(4):141−146.
[24] 冯文彬,林媚珍,龚建周,等.基于 FLUS−InVEST 模型的中山市生境质量时空分异特征 [J]. 生态科学, 2022,41(3):16−23.
Feng W B, Lin M Z Gong J Z, et al. Spatiotemporal differentiation of habitat quality in Zhongshan City based on FLUS−InVEST model [J]. Ecological Science, 2022,41(3):16−23.
[25] 代华兵,李春干,庞　勇,等.基于天空地一体化森林资源调查的小班因子设置与信息获取方法 [J]. 林业资源管理, 2021,(1):180−188.
Dai H B, Li C G, Pang Y, et al. Method for sub−compartment investigation factors setting and information acquisition based onintegrated aerial−space−ground forest inventory system [J]. Forest and Grassland Resources Research, 2021,(1):180−188.
[26] 马尚宇,康　希,张　溪,等.科学绿化背景下的森林城市规划要点探讨 [J]. 中国林业经济, 2022,(6):111−113.
Ma S Y, Kang X, Zhang X, et al. Discussion on key points offorest city planning under the background of scientific greening [J]. China Forestry Economics, 2022,(6):111−113.

作者简介：何彬元(1965−),男,广西岑溪人,正高级工程师,主要从事林业生态,生态修复与景观建设等工程设计咨询与研究.782137492@qq.com.