doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2026.07.026

潜力-动力-压力框架下国土综合整治与生态修复分区

唐秀美[1,2]　刘新卫[3]　刘　敏[1,2]　淮贺举[1,2]　王洪佳[1,2]　刘　雯[1,2]

(1.北京市农林科学院信息技术研究中心, 北京 100097; 2.国家农业信息化工程技术研究中心, 北京 100097;
3.自然资源部国土整治中心, 北京 100035)

摘要: 国土综合整治与生态修复对保障区域生态质量、优化生态安全格局和提升生态系统服务功能有积极的促进作用,优化分区是国土综合整治与生态修复工程安排中不可或缺的重要环节。本文以广西壮族自治区贺州市昭平县为例,提出了基于潜力-动力-压力框架的县域国土综合整治与生态修复分区方法,研究结果表明:国土综合整治潜力从农用地整理潜力、土地开发潜力等方面进行分析,生态修复潜力从植被恢复潜力、水源涵养潜力、防风固沙潜力和生物多样性潜力方面进行分析,各潜力空间分布不均匀;国土综合整治与生态修复动力中,归一化植被指数和林地覆盖率总体水平较高,草地覆盖率北部高于南部,水域面积比西部高东部低,建设用地面积比空间分布不均衡;国土综合整治与生态修复压力中,人均耕地面积南部高于北部,地均生产总值东部高于西部,农村居民人均纯收入西北高东南低;分区结果显示,昭平县 1 个乡镇属于优先整治修复区,4 个乡镇属于重点整治修复区,7 个乡镇属于适度整治修复区。研究结果可为区域国土综合整治与生态修复的工作部署与工程布局提供重要指导。

关键词: 国土综合整治; 生态修复; 分区; 三维魔方模型

中图分类号: F303.4　　**文献标识码**: A　　**文章编号**: 1000-1298(2026)07-0285-10　　**OSID**:

Zoning of Comprehensive Consolidation and Ecological Restoration of Land Space Based on Potential – Motivation – Pressure

TANG Xiumei[1,2]　LIU Xinwei[3]　LIU Min[1,2]　HUAI Heju[1,2]　WANG Hongjia[1,2]　LIU Wen[1,2]

(1. *Information Technology Research Center, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing* 100097, *China*
2. *National Engineering Research Center for Information Technology in Agriculture, Beijing* 100097, *China*
3. *Land Consolidation and Rehabilitation Center, Ministry of Natural Resources, Beijing* 100035, *China*)

Abstract: Comprehensive consolidation and ecological restoration have a positive promoting effect on ensuring regional ecological quality, optimizing ecological security patterns, and enhancing the value of ecosystem services. Zoning of comprehensive consolidation and ecological restoration of land space is an indispensable and important part of the arrangement of projects. Taking Zhaoping County, Hezhou City, Guangxi Zhuang Autonomous Region as an example, a zoning method of comprehensive consolidation and ecological restoration of land space was proposed based on potential – motivation – pressure method for county-level. The main conclusions were as follows: the potential of comprehensive consolidation was mainly analyzed from the aspects of new arable land potential, arable land quality improving potential, land development potential, land reclamation potential, rural construction land potential and urban construction land potential. While the potential of ecological restoration was mainly analyzed from the aspects of vegetation coverage potential, water conservation potential, windbreak and sand fixation potential and biodiversity potential. In the motivation index, the overall level of normalized difference vegetation index was relatively high, the overall level of forest coverage was relatively high, and the grassland coverage rate was significantly higher in the north than that in the south. The distribution pattern of water area ratio was higher in the west and lower in the east, and the spatial distribution of construction land area ratio was uneven. In the pressure index, the per capita arable land area was higher in the south than that in the north, the per capita GDP was higher in the east and lower in the west, and the per capita net income of rural residents was higher in the northwest and lower in the southeast. Zoning

收稿日期: 2024-11-29　修回日期: 2024-12-23

基金项目: 国家重点研发计划项目(2022YFC3802805)

作者简介: 唐秀美(1982—),女,正高级工程师,博士,主要从事国土综合整治与生态修复研究,E-mail: xiumeitang6@126.com

通信作者: 刘新卫(1977—),男,研究员,博士,主要从事国土空间生态修复研究,E-mail: liuxinwei@lcrc.org.cn

of comprehensive consolidation and ecological restoration of land space showed that there was one town in Zhaoping County that belonged to the priority rectification and restoration area, four towns that belonged to the key rectification and restoration area and seven townships that belonged to the moderate rectification and restoration area. The research results had important guiding significance for the arrangement and engineering layout of comprehensive consolidation and ecological restoration of land space.

Key words: comprehensive consolidation; ecological restoration; zoning; 3D Rubik's cube graphical method

0 引言

党的二十大报告提出人与自然的和谐共生是中国式现代化的内在要求,提出“要推进美丽中国建设,坚持山水林田湖草沙一体化保护和系统治理”,强调了建设现代化国家要继续推进生态文明建设[1]。作为生态文明建设和乡村振兴的重要组成部分,开展国土综合整治与生态修复研究工作,是深入贯彻落实习近平生态文明思想的重要手段,是建设美丽乡村、促进乡村振兴的重要支撑,更是实现农业现代化发展的重要支撑和我国实现可持续发展战略方针的重要任务[2-3]。近年来,国土综合整治与生态修复相关研究集中于内涵分析[4]、关键区域识别[5-6]、分区与模式划定[7-8]、效果评估等方面[9-10]。国土综合整治与生态修复分区是针对国土空间不同区域的突出问题,依据区域自然条件、经济社会状况和生态环境状况,结合相关政策,将国土空间划分为不同的整治修复区域,每个区域内的整治修复主导方向一致,并据此制定整治修复策略[11]。其对于指导国土综合整治与生态修复工作中规划目标、重点区域、整治方式等方面的确定有着重要的参考意义。

在研究对象方面,分区方面的研究主要集中在耕地整治、农村居民点整治、生态修复分区等方面,如杨绪红等[12]从立地、耕作和利用状态 3 个维度建立了非粮化耕地整治适宜性评价模型,构建了综合整治适宜性和迫切性的非粮化耕地整治分区方法体系;关小克等[13]综合考虑限制因素及发展驱动力因素的影响,构建了居民点用地评价指标体系,根据不同区位居民点的受限程度、发展受到的驱动力和区域经济发展水平及农民就业分布情况,确定北京市农村居民点整理分区;向爱盟等[14]从生态系统服务和生态脆弱性视角,构建生态安全格局并识别生态修复关键区域,以生态问题指数识别生态修复关键区内存在的生态问题,划定生态修复分区并提出相应的修复策略。在研究方法和评价指标选取研究方面,国土综合整治分区方面的研究方法既有定量方法,也包含定性方法,评价指标的选取包含土地整治潜力、迫切性、可行性、适宜性、敏感性、生态风险等多个维度[15-18]。如任国平等[19]根据区域社会-生态系统脆弱性空间差异,采用“脆弱性等级时间性-脆弱性集聚空间性”综合配置方法,构建了上海市青浦区国土综合分区;江志猛等[20]利用 SOFM 神经网络,基于土地整治的生态风险、迫切性与适宜性 3 个维度,对江西省湘东区进行土地整治分区;张雅杰等[21]从农用地整治的空间组织和时序安排 2 个方面进行思考,基于生态敏感性、用地适宜性与整治迫切性 3 个维度建立分区评价指标体系,依据地理及属性双重空间构造混合距离,应用两级选择性聚类集成方法进行分区。生态修复分区的方法多基于地貌[22]、生态系统服务[23-24]、生态安全格局[25]、生态脆弱性评估等[26]。如谢余初等[7]以广西各县市为研究单元,在测算和分析生态系统服务供给量和需求量基础上,划分广西国土生态修复的空间分区。罗莎莎等[27]根据生态安全等级划分和“三生空间”范围界定,进行生态修复分区,并提出针对性生态修复和保护建议。

目前针对国土综合整治与生态修复的分区方法为研究奠定了基础,但已有研究多针对单项的国土综合整治或者生态修复,缺乏国土综合整治与生态修复综合分区方法。经过几十年的发展,中国国土整治目前已经从最初的以农用地整治为主,逐渐向农村土地整治、土地综合整治和国土综合整治与生态修复转变[28]。国土综合整治与生态修复的关系是整治与修复、局部与系统、工程与生态、政府与市场的多元复杂关系,两者均是嵌套于三生空间内部,将土地整治问题导向与生态修复的目标导向相结合成为时代发展的必然,通过相互协调与衔接,共同促进土地综合整治与生态修复的问题缓解与目标实现。基于以上分析,本文以广西壮族自治区贺州市昭平县为例,研究国土综合整治与生态修复综合分区方法,以期丰富县域国土综合整治与生态修复分区研究理论,指导区域国土综合整治与生态修复实践。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

昭平县地处广西壮族自治区东部,跨桂江中游,

地理坐标为 23°39′N ~ 24°24′N，110°34′E ~ 111°19′E。昭平县境内群山起伏、河谷深切，平地狭小，地势西北高东南低，素有“九山半水半分田”之称，图 1 为研究区区位图。境内有明显喀斯特地貌分布，地表漏水、旱涝等灾害频繁，生态环境较为脆弱。2021 年，贺州市昭平县成为 20 个国家乡村振兴重点帮扶县对象之一，昭平县作为国家生态文明建设示范县和国家乡村振兴重点帮扶县对象，国土综合整治与生态修复分区结果对于指导其整治修复工作实践安排有重要指导意义。

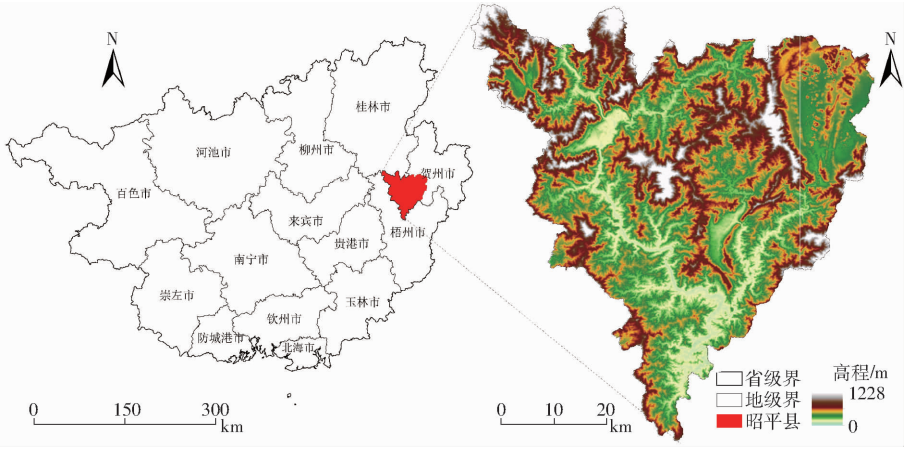


图 1　研究区区位图

Fig. 1　Research area

1.2　数据来源

本研究数据包括：①气象数据（气温、降水、风速、蒸散发、太阳辐射等数据），来源于国家青藏高原科学数据中心。②归一化植被指数数据，来源于国家青藏高原科学数据中心。③土壤数据集（土壤类型、土壤质地、土壤有机质含量等数据），来源于中国科学院资源环境科学与数据中心和国家青藏高原科学数据中心。④DEM 数据，来源于地理空间数据云。⑤多时期土地利用遥感监测数据集、地貌数据、生态系统类型数据集、植被类型数据 GDP 空间分布公里网格数据，来源于中国科学院资源环境科学与数据中心。⑥土地利用现状数据，来源于遥感影像解译。⑦一般公共预算支出数据，来源于《中国县域统计年鉴》。

2　研究思路与研究方法

2.1　研究理论框架

国土综合整治与生态修复是一项复杂的系统工程，通过国土综合整治与生态修复可以优化区域国土空间，改善区域生态环境，促进区域协调发展，本研究中将其作为统一整体对象进行研究。国土综合整治与生态修复分区需要考虑区域可以整治修复的潜力、整治修复的动力和整治修复的压力。其中，潜力是指进行各种国土综合整治与生态修复活动提高研究区生产、改善空间布局、提升生态环境质量的能力，包含的指标有整治潜力和修复潜力，潜力越大，进行国土综合整治和生态修复需求越高、整治修复成效越大；动力反映区域社会经济层面对国土综合整治与生态修复活动的影响，社会经济支撑力度越大，整治修复动力越大；压力反映了生态环境自然本底对国土综合整治与生态修复活动的影响，压力越大，越需要进行整治修复。三者相互影响，潜力越大，对动力和压力都有一定的促进作用，而压力和动力的大小也会反馈影响潜力。同时，压力和动力相辅相成，相互促进。国土综合整治与生态修复在主要目标导向中可能会存在权衡，包括经济发展与生态保护之间的权衡，空间布局优化与生态系统保护之间的权衡，资源利用与生态恢复之间的权衡等，因此应制定科学合理的规划，明确整治和修复的目标、任务、措施和时序。乡镇作为基层行政单位，具有较为完善的管理体系和相对独立的行政职能，便于组织和实施国土综合整治与生态修复工作，因此本研究采用乡镇作为评价单元，通过规划乡镇分区引导整治和修复工作有序开展，确保整治修复任务按时完成。基于以上分析，本研究从潜力、动力、压力 3 个维度来构建昭平县国土综合整治与生态修复分区评价指标体系，以乡镇为单元，借助三维魔方模型划分区域整治修复类型及确定分区，研究可以为区域整治修复工程安排服务，并可以促进乡村发展要素的联动。图 2 为研究理论框架图。

2.2　研究方法

2.2.1　评价指标体系与方法

国土综合整治与生态修复分区评价指标体系：①潜力指标，其中，国土综合整治潜力包括农用地整理潜力、土地开发潜力、土地复垦潜力、农村建设用地整理潜力和城镇建设用地整理潜力。农用地整理

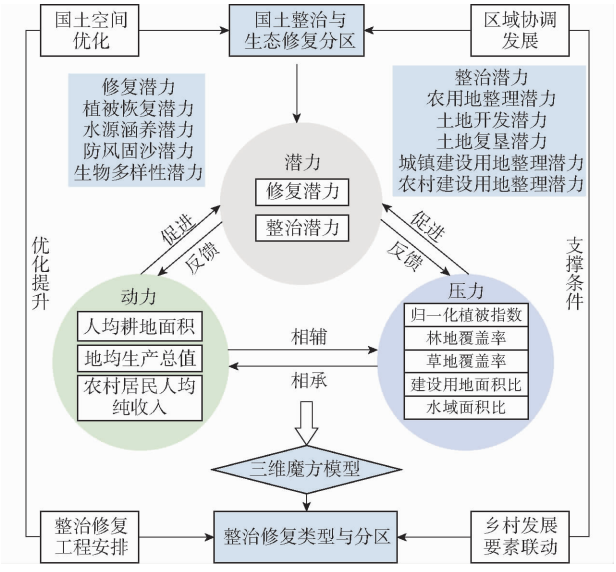


图 2 研究框架

Fig. 2 Research technical route

潜力是指在主要整治区域通过综合整治措施来治理农用地及未利用地,以增加耕地面积、提高耕地质量的潜力;土地开发潜力是指对于宜耕宜农的未利用地采取相应的整治措施进行合理开发利用,能够开发成农用地并可用于农业生产的地块的面积;土地复垦潜力是指被损毁的土地通过土地复垦活动可重新利用的地块面积;农村建设用地整理潜力是指通过整治措施对农村居民点用地等进行整理优化后增加的可利用耕地面积;城镇建设用地整理潜力是指通过城镇低效建设用地等城市建设用地进行整理所得到的提高存量建设用地可利用数量。生态修复潜力包括植被恢复潜力、水源涵养潜力、防风固沙潜力、生物多样性潜力,采用相似生境法计算,即指各生态功能在相似生境中可以达到的最佳状态,采用区域相似生境下各生态功能最大值与现状值的差计算[29]。②动力指标,包含人均耕地面积、地均生产总值、农村居民人均纯收入 3 个指标。其中,人均耕地面积指各乡镇平均每人拥有的耕地数量,人均耕地面积越少,对耕地的需求越大,进行整治修复的动力越大;地均生产总值指各乡镇生产总值与土地总面积的比值,地均生产总值越高,地方经济实力越好,对生态修复的投入越大,进行整治修复的动力越强;农村居民人均纯收入指各乡镇农村住户平均每人当年从各个来源得到的总收入相应地扣除有关费用性支出后的收入总和,农村居民人均纯收入越高,进行整治修复的可行性越强。③压力指标,包括归一化植被指数、林地覆盖率、草地覆盖率、水域面积比及建设用地面积比。其中,归一化植被指数是反映农作物长势的重要参数,归一化植被指数越高,压力越小;林地覆盖率指各乡镇林地面积与乡镇总面积的比值,林地覆盖率越高,压力越小;草地覆盖率在本研究中指各乡镇草地面积与乡镇总面积的比值,草地覆盖率越高,压力越小;水域面积比指各乡镇水域面积与乡镇总面积的比值,水域面积比越高,压力越小;建设用地面积比指各乡镇建设用地面积与乡镇总面积的比值,建设用地面积比越高,压力越大。指标体系情况如表 1 所示。

本研究采用最大最小值法对指标体系进行标准化计算,然后采用熵权法和均方差决策法确定指标权重,并基于 2 种权重结果进行平均得到综合指标权重[30-31]。结合指标标准化结果与权重分析结果,采用综合评价法[19]分别评估潜力、动力和压力综合水平,并通过三维魔方模型进行整治修复分区。

2.2.2 三维魔方模型

采用三维魔方模型,将潜力、动力、压力分别对应到三维魔方的 X、Y、Z 轴,并基于各维度指标的评价结果,将其划分为 3 个等级,在三维魔方坐标系上确定对应节点,按照其到坐标原点的距离分别将节点赋予 1、2、3 的坐标值,距原点越远,值越大,在此基础上形成一个 3×3×3 的三阶三维魔方,得到 27 种不同组合,组合表达式以(X、Y、Z)的形式呈现。当三维魔方 X、Y、Z 坐标轴内任意 2 个维度的数值为 3 时,为优先整治修复区,同时,根据优先整治修复区维度为 3 的数值所坐落的坐标轴的不同,将其划分为综合导向、潜力-动力导向、潜力-压力导向、动力-压力导向 4 种类型;当三维魔方 X、Y、Z 坐标轴内任意 1 个维度的数值为 3 时,为重点整治修复区,同时,根据重点整治修复区维度为 3 的数值所坐落的坐标轴的不同,将其划分为潜力导向、动力导向、压力导向 3 种类型;当三维魔方 X、Y、Z 坐标轴内各维度的数值为 1 或 2 时,为适度整治修复区,图 3 为三维魔方示意图,表 2 为分区类型及对应三维坐标。

3 结果与分析

3.1 整治修复潜力

根据自然断点法将昭平县国土综合整治潜力测算结果由低到高划分为低、较低、中、较高和高 5 个等级(图 4)。结果显示,新增耕地面积潜力为 774.64 hm^2,潜力较高的区域主要集中在东北方向(图 4a);可提高质量的耕地质量等级为 6~10 级,质量提升潜力呈从南到北逐步减少的趋势(图 4b)。土地开发潜力总量为 11.68 hm^2,呈两边高中间低的分布趋势(图 4c)。土地复垦潜力总量为 174.41 hm^2,东西区域高于南北区域(图 4d)。农村建设用地整

表 1　国土综合整治与生态修复分区评价指标体系

Tab. 1　Evaluation index system and weights for zoning of comprehensive consolidation and ecological restoration of land space

准则层	指标层		计算方法	属性	权重		
					熵权法	均方差决策法	组合
潜力	国土综合整治潜力	农用地整理潜力	新增耕地面积	正向	0.030	0.023	0.026 5
			耕地质量提高等级	正向	0.023	0.024	0.023 5
		土地开发潜力	未利用土地的总面积与不适宜开发的未利用地面积差值	正向	0.068	0.062	0.065 0
		土地复垦潜力	被损毁的土地面积与土地复垦率乘积	正向	0.063	0.052	0.057 5
		农村建设用地整理潜力	待整理农村建设用地总面积与现有人口规模差值与农村建设用地人均用地标准乘积	正向	0.047	0.049	0.048 0
		城镇建设用地整理潜力	待整理城镇建设用地总面积与现有人口规模差值与城镇建设用地人均用地标准乘积	正向	0.057	0.054	0.055 5
	生态修复潜力	植被恢复潜力	相似生境下植被覆盖度最大值平均值与现状植被覆盖度平均值差值	正向	0.08	0.084	0.082 0
		水源涵养潜力	相似生境下水源涵养量最大值平均值与水源涵养量平均值差值	正向	0.06	0.063	0.061 5
		防风固沙潜力	相似生境下潜在风蚀量与实际风蚀量差值	正向	0.065	0.066	0.065 5
		生物多样性潜力	相似生境下生境质量指数最大值平均值与生境质量指数平均值差值	正向	0.071	0.07	0.070 5
动力		人均耕地面积	耕地总面积与常住总人口比值	负向	0.045	0.063	0.054 0
		地均生产总值	生产总值与土地总面积比值	正向	0.06	0.061	0.060 5
		农村居民人均纯收入	农村居民人均纯收入	正向	0.052	0.05	0.051 0
压力		归一化植被指数	归一化植被指数	负向	0.056	0.051	0.053 5
		林地覆盖率	森林面积与土地总面积比值	负向	0.057	0.054	0.055 5
		草地覆盖率	草地面积与土地总面积比值	负向	0.05	0.052	0.051 0
		水域面积比	水域面积与土地总面积比值	负向	0.052	0.054	0.053 0
		建设用地面积比	建设用地面积与土地总面积比值	正向	0.064	0.068	0.066 0

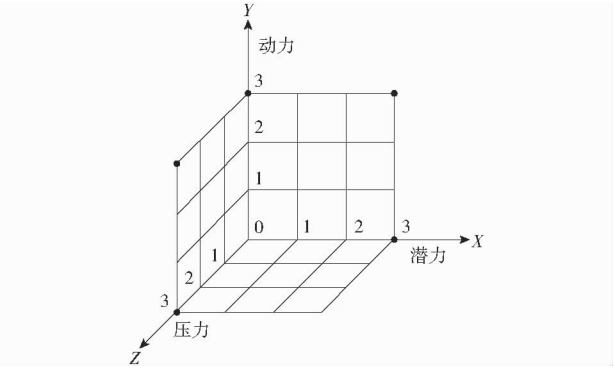


图 3　整治修复分区三维魔方示意图

Fig. 3　Magic cube of zoning of comprehensive consolidation and ecological restoration of land space type division

表 2　国土综合整治与生态修复分区类型及其对应三维坐标

Tab. 2　Type and zoning of comprehensive consolidation and ecological restoration of land space

类型		三维魔方单元坐标(X,Y,Z)
优先整治修复区	综合导向	(3,3,3)
	潜力-动力导向	(3,3,2)(3,3,1)
	潜力-压力导向	(3,2,3)(3,1,3)
	动力-压力导向	(2,3,3)(1,3,3)
重点整治修复区	潜力导向	(3,1,1)(3,1,2)(3,2,1)(3,2,2)
	动力导向	(1,3,1)(1,3,2)(2,3,1)(2,3,2)
	压力导向	(1,1,3)(1,2,3)(2,1,3)(2,2,3)
适度整治修复区		(1,1,1)(1,1,2)(1,2,2)(1,2,1) (2,1,1)(2,2,1)(2,1,2)(2,2,2)

理潜力总量为 335.47 hm^2,潜力较大的区域主要分布在东北部(图 4e)。城镇建设用地整理潜力总量为 157.09 hm^2,呈四周高中间低的分布趋势(图 4f)。

植被恢复潜力结果显示(图 5),昭平县植被恢复潜力范围为 0 ~ 1,植被恢复潜力指数由东北到西南逐渐递减,88.23% 的区域植被恢复潜力指数小于 0.5,7.21% 的区域植被恢复潜力指数大于 0.75,植被恢复潜力较高的区域主要分布在东北小起伏山地处(图 5a)。水源涵养潜力范围为 0 ~ 3.31 × 10^3 m^3/hm^2,水源涵养潜力由西北到东南逐渐递增,同昭平县地表径流量和年平均降雨量的变化趋势相反,25% 以上的区域水源涵养潜力指数大于 1 × 10^3 m^3/hm^2,主要分布在昭平南部和西部山区(图 5b)。防风固沙潜力为 0 ~ 0.24 t/(km^2 · a),

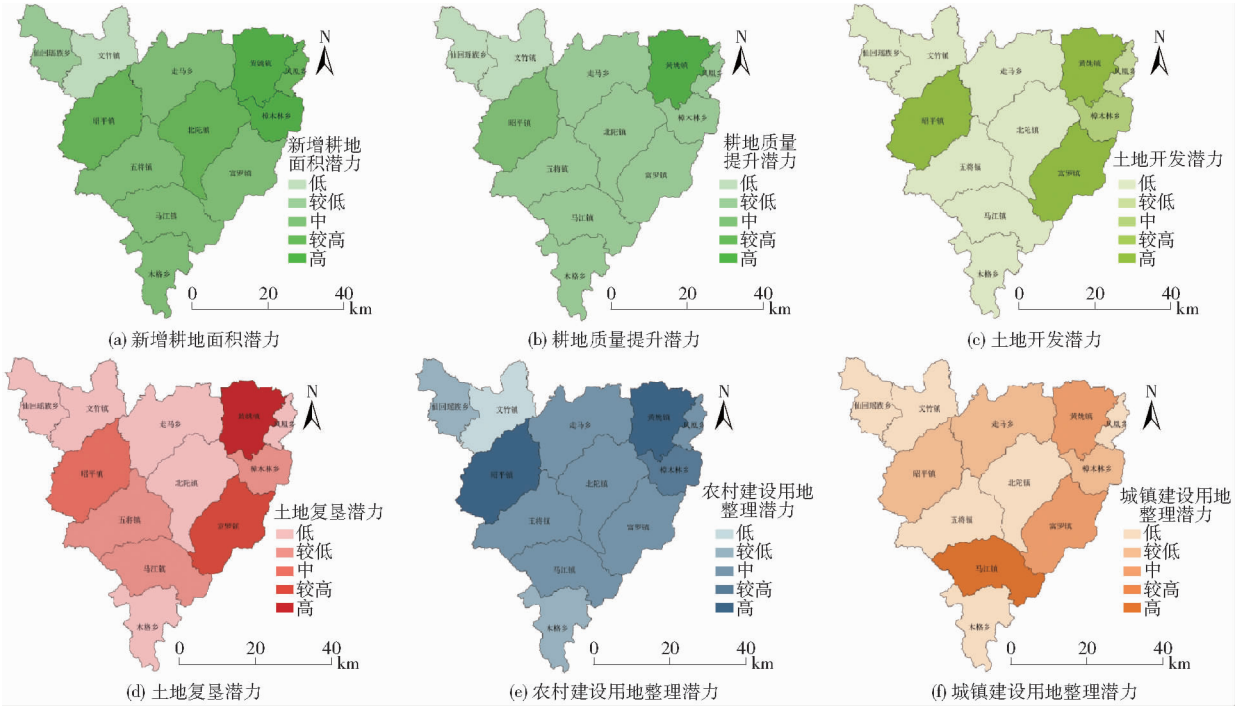


图 4 国土综合整治潜力

Fig. 4 Comprehensive consolidation potential and ecological restoration of land space

40% 以上的区域防风固沙量潜力值大于 0.15 t/(km^2·a),主要分布在昭平县东北中起伏山地处以及桂江流域附近(图 5c)。生物多样性潜力总体不高,大部分地区潜力值低于 0.20,潜力较高的区域主要分布在远离城镇用地的东北部山地区、西北台地及东南台地处(图 5d)。

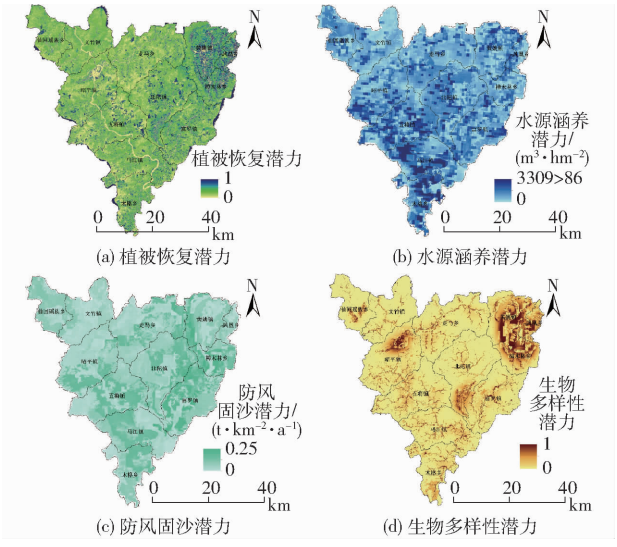


图 5 国土空间生态修复潜力

Fig. 5 Ecological restoration potential and ecological restoration of land space

3.2 整治修复压力

压力结果显示(图 6),昭平县的归一化植被指数整体水平较高,富罗镇等地区植被指数超过 0.8,黄姚镇等乡镇低于 0.7(图 6a)。大部分地区林地覆盖率超过 0.6,凤凰乡等地区的林地覆盖率较低,低于 0.5(图 6b)。草地覆盖率北部高于南部(图 6c),大部分地区高于 0.001。水域面积比总体上西部高东部低,东部地区中,由于凤凰乡、樟木林乡和黄姚镇 3 地湖泊水库等水域较多,大于 0.03,东北部的水域面积比高于东部地区(图 6d)。建设用地面积比空间分布不均衡,较高的区域主要集中在研究区东部地区、南部的马江镇以及西部的昭平镇,其他地区建设用地面积比低于 0.02(图 6e)。

3.3 整治修复动力

动力结果显示(图 7),人均耕地面积呈南部高于北部的特点,南部的乡镇人均耕地面积大于 0.09 hm^2,而北部地区不到 0.02 hm^2(图 7a)。地均生产总值分布不均衡,东部高西部低,东部地均生产总值超过 30 000 万元,而西部地区未达到 10 000 万元(图 7b)。农村居民人均纯收入呈西北高东南低的分布特点,昭平镇等地区大于 2 万元,东南地区的乡镇低于 1 万元(图 7c)。

3.4 分区结果

国土综合整治与生态修复分区结果显示,昭平县 12 个乡镇中,有 1 个乡镇属于优先整治修复区,有 4 个乡镇属于重点整治修复区,有 7 个乡镇属于适度整治修复区(图 8)。

3.4.1 整治修复区

昭平县优先整治修复区为黄姚镇,黄姚镇位于昭平东北部地区,占研究区总面积的 7.54%。受潜力-压力导向,整治修复潜力较大,整治修复工程能有较好的整治修复效果。压力导向说明其对于整治

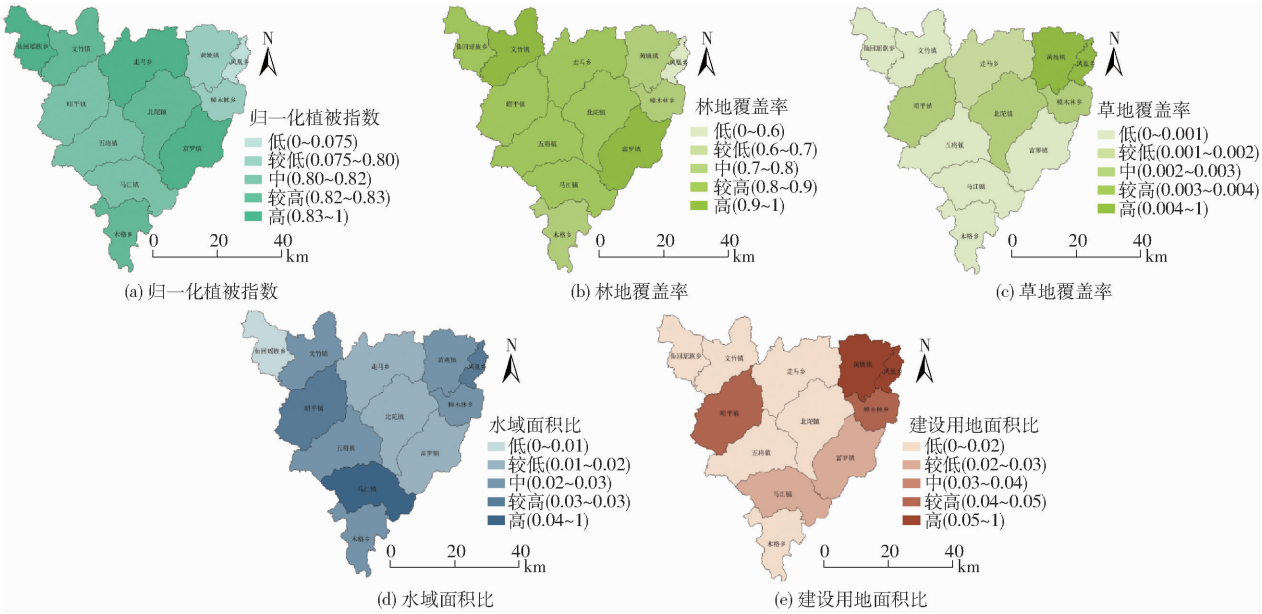


图 6　国土综合整治与生态修复压力

Fig. 6　Pressure of comprehensive consolidation and ecological restoration of land space

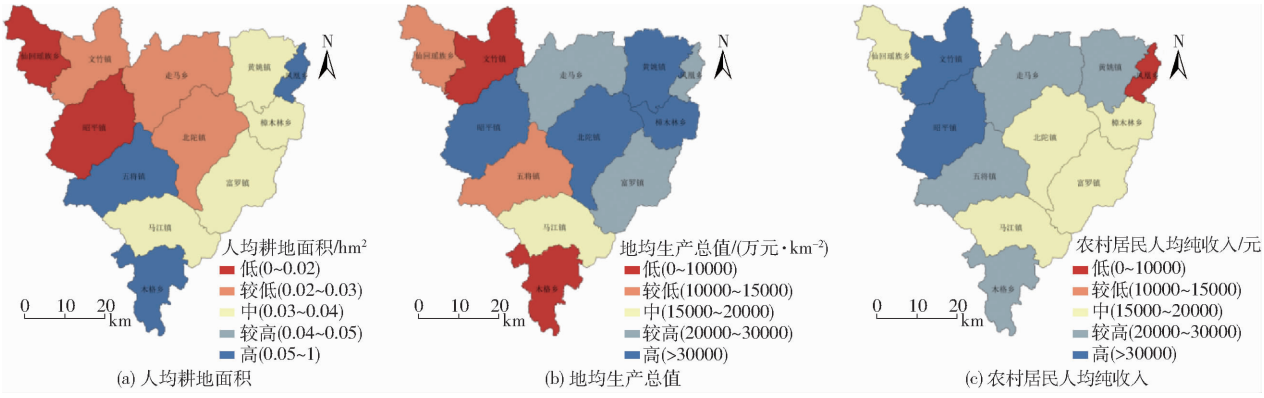


图 7　国土综合整治与生态修复动力

Fig. 7　Motivation of comprehensive consolidation and ecological restoration of land space

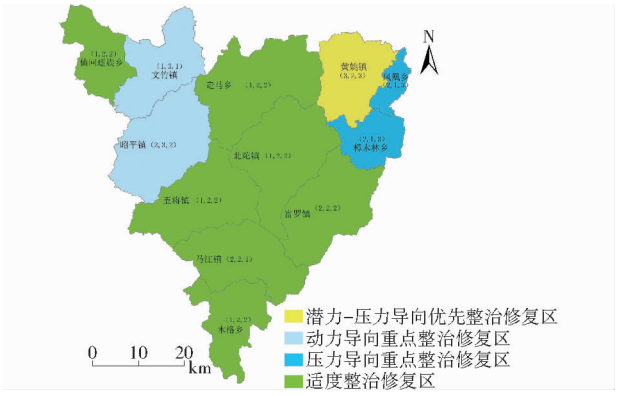


图 8　昭平县整治修复分区图

Fig. 8　Potential of comprehensive consolidation and ecological restoration of land space

修复的需求较迫切，应当优先安排黄姚镇进行整治修复活动，改善其生态环境质量，提升生态系统服务功能，提高国土空间的利用效率和综合效益，通过综合治理推动国土综合整治与生态修复的有机融合，达到社会、经济与生态效益的最大化。在进行整治修复工作时应当注重现有自然景观的保护，对农用地、未利用地及废弃工矿用地等进行综合整治，增加耕地数量、提高耕地质量，优化农业空间布局。同时，开展植被保护修复工作，布置生态多样性保护工程，在保有原有自然景观绿色发展的同时加强对区域生态功能的保护。另外，增加整治与修复工作的资金投入，合理开展国土综合整治与生态修复，在约束人类活动的同时也要注重社会经济发展，促进人与自然和谐发展。

3.4.2　重点整治修复区

昭平县重点整治区包含 4 个乡镇，分别为昭平镇、樟木林乡、凤凰乡和文竹镇，主要分布在昭平东北和西北部地区，面积占研究区总面积的 25.47%。其中，昭平镇和文竹镇受动力导向，应当在确保其生态环境和国土空间利用现状能得到有效改善的前提下合理安排整治修复工作的投入，实现资源的高效利用。凤凰乡和樟木林乡受压力导向，应首先维护

其生态安全,提高生态系统的稳定性和抗干扰能力,利用各类生态修复措施提升生态系统服务功能。昭平镇和文竹镇主要受动力驱动。在动力指标中,昭平镇人均耕地面积及地均生产总值均位于较低的水平,农村居民人均纯收入水平较高。文竹镇人均耕地面积位于较低的水平,地均生产总值及农村居民人均纯收入水平较高。两乡镇迫切需要开展耕地整治项目以增加耕地面积、提升耕地质量,提高人均耕地面积;开展建设用地整理活动,提高土地利用效率。同时还要依托当地经济发展现状,合理利用投入资金,协调好人类活动与自然景观的关系,注重规划,加强资金管理,协调好整治修复工作与生态环境关系,引导公众参与生态文明建设,促进经济发展与生态保护相结合。凤凰乡和樟木林乡的国土综合整治与生态修复工作主要受压力驱动,两乡镇的归一化植被指数和林地覆盖率水平较低,建设用地面积比则较高。因此,进行整治修复工作时,要将生态恢复放在首位,推进农用地整治活动和植被恢复工作的开展,提高生态资产的质量和数量,筑牢生态安全屏障,同时还应开展建设用地整治项目,提升土地集约节约利用水平。

3.4.3 适度整治修复区

昭平县适度整治区包含 7 个乡镇,分别为富罗镇、仙回瑶族乡、五将镇、木格乡、走马乡、北陀镇和马江镇,面积占研究区总面积的 66.99%。适度整治修复区整治修复潜力相对较小,经济发展水平较低,自然本底条件相对较好,对国土综合整治与生态修复的需求相对较低,应当结合区域实际情况,以自然恢复为主,适度安排整治修复工作。富罗镇在整治修复工作中可以合理利用其域内可开垦的未利用地,提高草地覆盖率,以增强富罗镇的防风固沙能力。仙回瑶族乡、走马乡和北陀镇的人均耕地面积等级水平较低,在进行整治修复活动时要注意做好农用地整治工作,增加耕地数量、提高耕地质量;木格乡的林地覆盖率较低,仙回瑶族乡、五将镇、木格乡和走马乡的草地覆盖率较低,仙回瑶族乡、走马乡和北陀镇的水域面积比均较低,在进行整治修复时,要结合其实地情况合理进行植被恢复及水域和湿地的保护与修复工作。马江镇在整治修复工作中应调整城镇建设用地结构,推进节约集约用地,做好城镇建设用地规划,同时保护好其地表自然景观,提升水源涵养能力。

4 讨论

国土综合整治与生态修复是一项复杂的系统工程,其分区需要考虑区域可以整治修复的效果、整治修复的能力和整治修复的压力。本研究从潜力、动力和压力 3 个方面构建指标体系,指标选取考虑了国土综合整治与生态修复的重要影响因素,根据结果可以分析区域国土综合整治与生态修复的限制因素及关键指标,从而可以为整治修复工程安排提供依据。本文构建的国土综合整治与生态修复分区方法,不仅考虑到了国土综合整治与生态修复工程可以提升的区域效果,同时,将区域整治的社会支撑条件和区域面临的生态本底状况纳入考虑,既能保证分区的能力,又能将区域实际状况纳入分区,避免了以往单一潜力评价造成的划分类型单一,不能体现国土综合整治与生态修复的综合治理的问题。此外,研究在进行分区类型划分中,划分的类型可以根据各维度所坐落的坐标轴的不同,将其划分为潜力导向、动力导向、压力导向 3 种类型。充分考虑到了结果的应用性,相比较之前的级别或者仅以时序结果的分区方法,分区结果不仅可以反映各个乡镇本身亟需解决的问题,而且可以提出未来解决措施,使得形成的国土综合整治与生态修复分区结果更有可操作性。本研究提出的方法具有普适性,可以为类似区域国土整治与生态修复工作安排提供借鉴,并根据地方特点对指标调整制定差异化政策,推动整治修复工作的有序开展。同时,本研究具有一定的局限性,在评价过程中对生态环境监测数据、公众的参与度和支持度的相关指标考虑不足,未来可以考虑将生态系统恢复力、长时间序列下生态系统功能及生态胁迫问题演变以及公众参与等要素加入分区指标体系中,进一步丰富国土综合整治与生态修复分区方法。

5 结论

(1)本文以广西壮族自治区贺州市昭平县为例,构建国土综合整治与生态修复分区评价指标体系,基于三维魔方模型,提出了国土综合整治与生态修复分区方法。

(2)国土综合整治新增耕地面积潜力较高的区域主要集中在东北地区,耕地质量提升潜力呈现从南到北逐步减少的趋势。土地开发潜力总量为 11.68 hm^2,呈两边高中间低的分布趋势。土地复垦潜力总量为 174.41 hm^2,东西高南北低。农村建设用地整理潜力总量为 335.47 hm^2,南北低中间高。城镇建设用地整理潜力总量为 157.09 hm^2,四周高中间低。植被恢复潜力指数由东北到西南逐渐递减。水源涵养潜力总体呈现由西北到东南逐渐递增。防风固沙潜力主要分布在昭平县东北中起伏山地处以及桂江流域附近。生物多样性潜力相对较高

的区域主要分布在远离城镇用地的东北部山地区、西北台地及东南台地处。

(3)国土综合整治与生态修复动力结果显示，归一化植被指数整体水平较高，富罗镇等地区植被指数超过 0.8，黄姚镇等乡镇低于 0.7，大部分地区林地覆盖率超过 0.6，凤凰乡等地区的林地覆盖率较低。草地覆盖率北部高于南部。水域面积比西部高、东部低。建设用地面积比空间分布不均衡，较高的区域主要集中在研究区东部地区、南部的马江镇以及西部的昭平镇。

(4)国土综合整治与生态修复压力结果显示，人均耕地面积南部高于北部，南部的乡镇人均耕地面积大于 0.09 hm^2。地均生产总值总体呈东部高西部低的分布特点，东部地均生产总值超过 30 000 万元，而西部地区未达到 10 000 万元。农村居民人均纯收入西北高东南低，昭平镇等地区大于 2 万元，东南地区低于 1 万元。

(5)国土综合整治与生态修复分区结果显示，昭平县 12 个乡镇中，1 个乡镇属于优先整治修复区，4 个乡镇属于重点整治修复区，7 个乡镇属于适度整治修复区，不同乡镇整治修复导向不同，整治修复策略有所差异。

参 考 文 献

[1] 王庆日，张冰松，陈美景，等. 2022 年土地科学研究重点进展评述及 2023 年展望[J]. 中国土地科学，2023，37(3)：101－113.
WANG Qingri，ZHANG Bingsong，CHEN Meijing，et al. Progress review on land science research in 2022 and prospects for 2023[J]. China Land Science，2023，37(3)：101－113.（in Chinese）

[2] 曾繁云，李正，李清斌，等. 对国土空间综合整治与生态修复的思考——以巴马瑶族自治县盘阳河流域为例[J]. 南方国土资源，2019(11)：65－67.
ZENG Fanyun，LI Zheng，LI Qingbin，et al. Reflections on comprehensive improvement of land space and ecological restoration—taking Panyang River Basin of Bama Yao Autonomous County as an example[J]. Southern Land and Resources，2019(11)：65－67.（in Chinese）

[3] 马俊. 新时期土地综合整治与生态修复研究[J]. 甘肃农业，2020(7)：40－42.
MA Jun. Research on comprehensive land management and ecological restoration in the new era[J]. Gansu Agriculture，2020(7)：40－42.（in Chinese）

[4] 白中科，周伟，王金满，等. 试论国土空间整体保护、系统修复与综合治理[J]. 中国土地科学，2019，33(2)：1－11.
BAI Zhongke，ZHOU Wei，WANG Jinman，et al. Overall protection，systematic restoration and comprehensive management of land space[J]. China Land Science，2019，33(2)：1－11.（in Chinese）

[5] 付凤杰，刘珍环，刘海. 基于生态安全格局的国土空间生态修复关键区域识别——以贺州市为例[J]. 生态学报，2021，41(9)：3406－3414.
FU Fengjie，LIU Zhenhuan，LIU Hai. Identifying key areas of ecosystem restoration for territorial space based on ecological security pattern：a case study in Hezhou City[J]. Acta Ecologica Sinica，2021，41(9)：3406－3414.（in Chinese）

[6] 韩博，金晓斌，项晓敏，等. 基于“要素-景观-系统”框架的江苏省长江沿线生态修复格局分析与对策[J]. 自然资源学报，2020，35(1)：141－161.
HAN Bo，JIN Xiaobin，XIANG Xiaomin，et al. Exploration of ecological restoration pattern and countermeasure along the Yangtze River in Jiangsu province based on the "element－landscape－system" framework[J]. Journal of Natural Resources，2020，35(1)：141－161.（in Chinese）

[7] 谢余初，张素欣，林冰，等. 基于生态系统服务供需关系的广西县域国土生态修复空间分区[J]. 自然资源学报，2020，35(1)：217－229.
XIE Yuchu，ZHANG Suxin，LIN Bing，et al. Spatial zoning for land ecological consolidation in Guangxi based on the ecosystem services supply and demand[J]. Journal of Natural Resources，2020，35(1)：217－229.（in Chinese）

[8] 蔡海生，陈艺，查东平，等. 基于主导功能的国土空间生态修复分区的原理与方法[J]. 农业工程学报，2020，36(15)：261－270，325.
CAI Haisheng，CHEN Yi，ZHA Dongping，et al. Principle and method for ecological restoration zoning of territorial space based on the dominant function[J]. Transactions of the CSAE，2020，36(15)：261－270，325.（in Chinese）

[9] 包贵萍，梁小亮，梁颖，等. 南方红壤丘陵耕地生态修复补偿标准研究[J]. 资源科学，2019，41(2)：247－256.
BAO Guiping，LIANG Xiaoliang，LIANG Ying，et al. Land compensation standard in ecologic fragile areas of red soil hilly region in the southern China[J]. Resources Science，2019，41(2)：247－256.（in Chinese）

[10] 夏方舟，杨雨濛，严金明. 中国国土综合整治近 40 年内涵研究综述：阶段演进与发展变化[J]. 中国土地科学，2018，32(5)：78－85.
XIA Fangzhou，YANG Yumeng，YAN Jinming. The connotation research review on integrated territory consolidation of China in recent four decades：staged evolution and developmental transformation[J]. China Land Science，2018，32(5)：78－85.（in Chinese）

[11] 李兰维,张鸿. 包头:分区开展国土综合整治与生态修复[J]. 中国土地, 2019(9): 59 – 60.
LI Lanwei, ZHANG Hong. Baotou: zoning for comprehensive land management and ecological restoration[J]. China Land, 2019(9): 59 – 60. (in Chinese)

[12] 杨绪红, 金晓斌, 盛修深, 等. 综合适宜性与迫切性的非粮化耕地整治分区方法[J]. 农业工程学报, 2022, 38(15): 287 – 296.
YANG Xuhong, JIN Xiaobin, SHENG Xiushen, et al. Consolidation zoning method for non-grain cropland integrating suitability and urgency[J]. Transactions of the CASE, 2022, 38(15): 287 – 296. (in Chinese)

[13] 关小克, 张凤荣, 曲衍波, 等. 北京市农村居民点整理时空配置综合评价[J]. 中国土地科学, 2010, 24 (7): 30 – 35.
GUAN Xiaoke, ZHANG Fengrong, QU Yanbo, et al. Comprehensive evaluation on the effects of spatial-temporal allocation of rural residential area consolidation in Beijing City[J]. China Land Science, 2010, 24(7): 30 – 35. (in Chinese)

[14] 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 Aimeng, YUE Qifa, ZHAO Xiaoqing, et al. Identification and restoration zoning of key areas for ecological restoration of territorial space in southwestern Karst mountainous areas: a case study of Kaiyuan City in Karst mountainous area of Southwest China[J]. China Environmental Science, 2023, 43(12): 6571 – 6582. (in Chinese)

[15] 王威,胡业翠. 改革开放以来我国国土整治历程回顾与新构想[J]. 自然资源学报, 2020, 35 (1): 53 – 67.
WANG Wei, HU Yecui. The new conception and review of territory consolidation based on the past years of reform and opening-up[J]. Journal of Natural Resources, 2020, 35(1):53 – 67. (in Chinese)

[16] 杨庆媛, 张浩哲, 唐强. 基于适应性循环模型的重庆市国土空间生态修复分区[J]. 地理学报, 2022, 77(10): 2583 – 2598.
YANG Qingyuan, ZHANG Haozhe, TANG Qiang. Ecological restoration zoning of territorial space in Chongqing City based on adaptive cycle model[J]. Acta Geographica Sinica, 2022, 77(10):2583 – 2598. (in Chinese)

[17] 庞晓兰. 县域全域国土综合整治分区研究——以兴安县为例[D]. 南宁:南宁师范大学, 2020.
PANG Xiaolan. A study on the zoning of comprehensive land improvement in county areas—taking Xing'an County as an example[D]. Nanning: Nanning Normal University, 2020. (in Chinese)

[18] ZHANG D J, XU X, YAO S B, et al. A novel similar habitat potential model based on sliding-window technique for vegetation restoration potential mapping[J]. Land Degradation & Development, 2020, 31(6): 760 – 772.

[19] 任国平, 刘黎明, 李洪庆, 等. 基于乡村社会-生态系统脆弱性的国土综合整治时空配置研究[J]. 生态与农村环境学报, 2021, 37(10): 1318 – 1330.
REN Guoping, LIU Liming, LI Hongqing, et al. Study on spatial-temporal collocation of integrated territory consolidation based on rural social-ecological system vulnerability[J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2021, 37(10): 1318 – 1330. (in Chinese)

[20] 江志猛, 陈文波, 郑蕉. 基于 SOFM 神经网络的土地整治时空配置分区研究[J]. 中国土地科学, 2019, 33 (11): 89 – 97,104.
JIANG Zhimeng, CHEN Wenbo, ZHENG Jiao. Study on temporal-spatial allocation zoning of land reclamation based on SOFM neural network[J]. China Land Science, 2019, 33(11): 89 – 97,104. (in Chinese)

[21] 张雅杰, 靳铭, 张丰, 等. 基于两级选择性聚类集成的农用地整治时空配置分区[J]. 农业工程学报, 2022, 38(9): 268 – 276.
ZHANG Yajie, JIN Ming, ZHANG Feng, et al. Spatial-temporal allocation of agricultural land consolidation using two-level selective clustering ensemble[J]. Transactions of the CSAE, 2022, 38(9): 268 – 276. (in Chinese)

[22] 王韵秋, 胡业翠, 高梦雯, 等. 多维视角下广西喀斯特石漠化地区国土空间生态修复分区[J]. 农业工程学报, 2023, 39(1): 223 – 231.
WANG Yunqiu, HU Yecui, GAO Mengwen, et al. Land-space ecological restoration zoning of Karst rocky desertification areas in Guangxi from multi-dimensional perspectives[J]. Transactions of the CSAE, 2023, 39(1): 223 – 231. (in Chinese)

[23] 岳文泽, 侯丽, 夏皓轩, 等. 基于生态系统服务供需平衡的宁夏固原生态修复分区与优化策略[J]. 应用生态学报 , 2022, 33(1): 149 – 158.
YUE Wenze, HOU Li,XIA Haoxuan, et al. Territorially ecological restoration zoning and optimization strategy in Guyuan City of Ningxia, China: based on the balance of ecosystem service supply and demand[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2022, 33(1): 149 – 158. (in Chinese)

[24] LV T Y, ZENG C, LIN C X, et al. Towards an integrated approach for land spatial ecological restoration zoning based on ecosystem health assessment[J]. Ecological Indicators, 2023, 147: 110016.

[25] 沈振, 高阳, 刘悦忻, 等. 基于生态安全格局的国土综合整治关键区识别与策略研究——以辽宁省庄河市为例[J]. 中国土地科学, 2022, 36(11): 24 – 35.
SHEN Zhen, GAO Yang, LIU Yuexin, et al. Research on the identification and strategies of key areas for integrated territorial consolidation based on ecological security pattern: a case study of Zhuanghe City, Liaoning Province[J]. China Land Science, 2022, 36(11): 24 – 35. (in Chinese)

(下转第 361 页)

[17] ZHAO J, DENG C, YU H, et al. Path planning of unmanned vehicles based on adaptive particle swarm optimization algorithm [J]. Computer Communications, 2024, 216: 112 – 129.
[18] LIU G, ZHANG S, MA G, et al. Path planning of unmanned surface vehicle based on improved sparrow search algorithm[J]. Journal of Marine Science and Engineering, 2023, 11(12): 2292.
[19] CUI J, WU L, HUANG X, et al. Multi-strategy adaptable ant colony optimization algorithm and its application in robot path planning[J]. Knowledge-Based Systems, 2024, 288: 111459.
[20] LIANG W, LOU M, CHEN Z, et al. An enhanced ant colony optimization algorithm for global path planning of deep-sea mining vehicles[J]. Ocean Engineering, 2024, 301: 117415.
[21] 潘玉恒，奥日格拉，鲁维佳，等. 基于动态扩展邻域蚁群算法的移动机器人路径规划[J]. 农业机械学报，2024，55(2)：423 – 432,449.
PAN Yuheng, Aorigela, LU Weijia, et al. Path planning of mobile robots based on dynamic extended neighbourhoods ant colony algorithm[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2024, 55(2): 423 – 432,449. (in Chinese)
[22] LI D, WANG L. Research on mobile robot path planning based on improved Q-evaluation ant colony optimization algorithm [J]. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2025, 160: 111890.
[23] 时维国，宁宁，宋存利，等. 基于蚁群算法与人工势场法的移动机器人路径规划[J]. 农业机械学报，2023，54(12)：407 – 416.
SHI Weiguo, NING Ning, SONG Cunli, et al. Path planning of mobile robots based on ant colony algorithm and artificial potential field algorithm[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2023, 54(12): 407 – 416. (in Chinese)
[24] ZHOU T, WEI W. Mobile robot path planning based on an improved ACO algorithm and path optimization[J]. Multimedia Tools and Applications, 2025, 84(8): 10899 – 10922.
[25] 李文峰，徐蕾，杨琳琳，等. 基于改进蚁群算法的农业机器人多田块路径规划方法与试验[J]. 南京农业大学学报，2024，47(4)：823 – 834.
LI Wenfeng, XU Lei, YANG Linlin, et al. Multi field path planning method and experiment of agricultural robot based on improved ant colony algorithm[J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2024, 47(4): 823 – 834. (in Chinese)
[26] ZHANG S, PU J, SI Y, et al. Path planning for mobile robot using an enhanced ant colony optimization and path geometric optimization[J]. International Journal of Advanced Robotic Systems, 2021, 18(3): 17298814211019222.
[27] WU L, HUANG X, CUI J, et al. Modified adaptive ant colony optimization algorithm and its application for solving path planning of mobile robot[J]. Expert Systems with Applications, 2023, 215: 119410.

(上接第 294 页)

[26] 乔斌，曹晓云，孙玮婕，等. 基于生态系统服务价值和景观生态风险的生态分区识别与优化策略——以祁连山国家公园青海片区为例[J]. 生态学报，2023，43(3)：986 – 1004.
QIAO Bin, CAO Xiaoyun, SUN Weijie, et al. Ecological zoning identification and optimization strategies based on ecosystem service value and landscape ecological risk: taking Qinghai area of Qilian Mountain National Park as an example[J]. Acta Ecologica Sinica, 2023, 43(3): 986 – 1004. (in Chinese)
[27] 罗莎莎，赖庆标，王旭东，等. 基于生态保护红线的生态安全格局构建与国土空间修复分区[J]. 农业工程学报，2024，40(7)：288 – 297.
LUO Shasha, LAI Qingbiao, WANG Xudong, et al. Construction of ecological security pattern and land-space restoration zoning based on ecological protection red line[J]. Transactions of the CSAE, 2024, 40(7): 288 – 297. (in Chinese)
[28] 王威，贾文涛. 生态文明理念下的国土综合整治与生态保护修复[J]. 中国土地，2019(5)：29 – 31.
WANG Wei, JIA Wentao. Comprehensive land management and ecological protection and restoration under the concept of ecological civilization[J]. Chinese Land, 2019(5): 29 – 31. (in Chinese)
[29] 赵广举，穆兴民，田鹏，等. 黄土高原植被变化与恢复潜力预测[J]. 水土保持学报，2021，35(1)：205 – 212.
ZHAO Guangju, MU Xingmin, TIAN Peng, et al. Prediction of vegetation variation and vegetation restoration potential in the Loess Plateau[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2021, 35(1): 205 – 212. (in Chinese)
[30] 戈晨曦，员学锋，马超群，等. 黄土丘陵沟壑区空心村土地整治潜力及空间重构[J]. 水土保持研究，2020，27(6)：285 – 292.
GE Chenxi, YUAN Xuefeng, MA Chaoqun, et al. Land consolidation potential and spatial restructuring of hollowed village in the loess hilly and gully region[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2020, 27(6): 285 – 292. (in Chinese)
[31] 何苏玲，邹凤琼，王金亮. 基于 AHP 和 MSE 赋权法的龙南县生态敏感性评价[J]. 生态学杂志，2021，40(9)：2927 – 2935.
HE Suling, ZOU Fengqiong, WANG Jinliang. Ecological sensitivity evaluation of Longnan County based on AHP and MSE weighting method[J]. Chinese Journal of Ecology, 2021, 40(9): 2927 – 2935. (in Chinese)