

# 基于生态安全格局的国土空间生态修复关键区域识别 ——以河北省阜平县为例

张美丽<sup>1</sup>, 李智<sup>1</sup>, 张益琛<sup>1</sup>, 郑建乐<sup>1</sup>, 林常威<sup>1</sup>, 王树涛<sup>2</sup>

(1.河北农业大学 资源与环境科学学院, 河北 保定 071000; 2.河北农业大学 国土资源学院, 河北 保定 071000)

**摘要:**国土空间生态修复对于保障国家生态安全有重要意义,而目前从整体连通性的高度识别与修复国土空间生态系统关键区域的研究尚为欠缺。为全面识别阜平县国土空间生态修复关键区域,运用粒度反推法、Invest模型中的生境质量模块、MCR模型、linkage mapper分析,通过构建国土空间生态安全格局的方法,最终确定阜平县国土空间生态修复关键区域,主要包括待修复生态夹点、待修复生态障碍点、待修复生态断裂点。结果表明:(1)阜平县共计生态源地 518.35 km<sup>2</sup>,主要为林地及水域;生态廊道共计 481.85 km;(2)通过构造生态格局,诊断出待修复生态夹点区域 28 处;待修复生态障碍点 66 处;待修复生态断裂点 23 处;待修复破碎空间共计 100.20 km<sup>2</sup>,集中分布于城南庄镇、龙泉关镇、阜平镇;(3)综合分析识别出的各类型生态修复关键区域的空间分布特征以及土地利用现状,提出相应的修复策略。可为阜平县国土空间生态系统修复及其健康发展提供参考意义。

**关键词:**生态源地; Invest 模型; linkagemapper; 生态安全格局; 生态修复

中图分类号:X171.4

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2021)03-0299-09

## Identification of Key Areas of Ecological Restoration of Land and Space Based on Ecological Security Pattern

—Taking Fuping County of Hebei Province as an Example.

ZHANG Meili<sup>1</sup>, LI Zhi<sup>1</sup>, ZHANG Yichen<sup>1</sup>, ZHENG Jianle<sup>1</sup>, LIN Changwei<sup>1</sup>, WANG Shutao<sup>2</sup>

(1.College of Resources and Environmental Science, Hebei Agricultural University,

Baoding 071000, China; 2.College of Land and Resources, Agricultural University, Baoding 071000, China)

**Abstract:** Ecological restoration of territorial space is of great significance for ensuring national ecological security, but the current research on identifying and restoring key areas of territorial space ecosystem from a high degree of overall connectivity is still lacking. In order to fully identify the key areas of land and space ecological restoration in Fuping County, this study used the granularity inverse method, the habitat quality module in the Invest model, the MCR model and the linkage mapper analysis to finally determine the key areas for the ecological restoration of the land and space mainly including ecological pinch points to be repaired, ecological obstacle points to be repaired, and ecological break points to be repaired in Fuping County through the method of constructing the ecological security pattern of the land and space. The results show that: (1) Fuping County has a total ecological source area of 518.35 km<sup>2</sup> including forestland and water area; ecological corridor totals 481.85 km; (2) by constructing an ecological pattern, 28 ecological pinch areas to be restored, 66 ecological obstacles to be repaired and 23 ecological breakpoints to be repaired were diagnosed; the broken space to be repaired totals 100.20 km<sup>2</sup>, which concentrates in Chengnanzhuang Town, Longquan-guan Town, and Fuping Town; (3) the spatial distribution characteristics and land use status of the key areas of various types of ecological restoration were identified by comprehensive analysis, and corresponding restoration strategies were proposed, which can provide reference significance for the restoration and healthy de-

收稿日期:2020-07-08

修回日期:2020-07-18

资助项目:国土资源部公益性行业科研专项经费项目(201311060);河北省科技支撑计划项目(132276329)

第一作者:张美丽(1995—),女,河北新乐人,硕士研究生,研究方向为土壤与土地资源持续利用。E-mail:965885627@qq.com

通信作者:王树涛(1978—),男,河北威县人,教授,博士,研究方向为土地资源持续利用。E-mail:524300627@qq.com

velopment of the land space ecosystem in Fuping County.

**Keywords:** ecological source; Invest model; linkage mapper; ecological security pattern; ecological restoration

自党的十八大以来,各级自然资源以及生态环境管理相关部门,针对土地综合整治、国土空间生态修复等方面收获颇丰,但不少地区仍然存在过度开发利用自然资源行为,扰乱了生态系统自我恢复能力与稳定性<sup>[1]</sup>。2016年起国家各部门联合促成的山水林田湖草生态修复与保护工程与现阶段所进行的国土空间生态修复思想高度一致<sup>[1]</sup>,山水林田湖草作为一个相辅相成的系统,必须将其“关节”及其“脉络”融会贯通,方可全力促进生态文明建设<sup>[2]</sup>。如何站在生态系统整体连通性的立场,着力促成山水林田湖草生命共同体<sup>[3]</sup>,识别出生态安全格局中的关键地段,据此找到生态修复关键区域,因地制宜的进行国土空间生态修复以及制定相关治理措施,已然成为现阶段为保障国土安全亟待解决的关键问题<sup>[4]</sup>。目前,国土空间生态修复主要以矿山修复、重金属污染修复以及水土流失治理等为主,多局限于较小尺度范围内,从整体性考虑的修复措施较为欠缺<sup>[5-7]</sup>,造成生态修复只是在局部部位取得了较为理想的效果<sup>[8-12]</sup>,但生态系统整体稳定性的恢复仍不理想,难以达到系统修复、综合治理的思想高度<sup>[13]</sup>。伴随生态系统中各类要素矛盾、冲突等现象频发,历来采用的传统修复手段欠缺考虑各生态要素间的相互作用,这一缺陷日益暴露,欠缺将多尺度联合修复与生态系统的完整性考虑其中,造成工作开展遭遇困难,尚需融入新的思想与手段,使得生态修复的系统性、协同性得到提升<sup>[14]</sup>。识别生态安全格局是保障生态系统整体健康的基础,且其可站在系统思维、整体视角、综合治理的角度进行生态修复,故采取此手段识别国土空间待修复关键区域<sup>[15]</sup>,可将系统性思想融入其中,且其更具生态学意义。

生态格局构造时,“源地—阻力面—廊道—节点”的方法已广为采用,如众多学者利用 MCR 模型构造综合阻力面,得到生态廊道,进而根据空间位置类型诊断生态节点,构造生态格局<sup>[15]</sup>。且近年来,有学者开始将 Linkage Mapper 分析引入到格局识别中来,Linkage Mapper 分析中的 Barrier Mapper 可识别出生态障碍点,Pinchpoint Mapper 分析则基于电路理论中电流密度将廊道中需要优先保护的“夹点”区域识别出来,即生物迁徙过程中的必经点,以此作为生态节点<sup>[16]</sup>。生态廊道即为动物交流的必要通道,生态“夹点”则代表动物迁徙过程中的必经区域,生态障碍点及生态断裂点则代表生物在廊道间流动时所遇

到的阻碍区域<sup>[6]</sup>,均是国土空间生态保护与修复关键区域。然现阶段依据廊道及其上述各类型节点区域,进行生态修复关键区域识别,据此提出相关修复策略的研究尚为欠缺。

太行山中北段生态脆弱区阜平县位于“燕山—太行山”国家集中连片特困地区,全县山体稳定性较差,频发滑坡、泥石流等地质灾害,退化的生态环境与欠发达的经济互相制约,是典型的生态型贫困县。因此,阜平县建设开发的迫切性、生态系统的脆弱性和特殊性使得该县进行国土空间生态修复既十分必要又面临挑战。因此本研究综合分析国内外有关国土空间生态修复的研究,选择太行山中北段生态脆弱区阜平县作为研究区,基于景观生态学理论,运用 InVest 模型中的生境质量模块与粒度反推法相结合,识别生态源地,基于 Linkage Mapper 分析识别生态廊道,构建国土空间生态安全格局,基于此,运用 linkage mapper 中的 barrier mapper 与 pinchpoint mapper 分析,识别生态夹点、生态障碍点、生态断裂点,最终确定阜平县国土空间生态修复关键区域,进而给予生态修复相关策略与建议,为以全域、全要素为方向,进行系统治理国土空间生态问题给予决策参考。

## 1 研究区概况与数据来源

### 1.1 研究区概况

太行山中北段生态脆弱区阜平县,地处河北西部,地理坐标为东经 113°45′—114°37′,北纬 38°39′—39°08′,西部、北部均与山西省交界,县域面积 2 527.14 km<sup>2</sup>。县域地形较为复杂,多为土石山区,山峦绵亘,沟壑纵横,地势西北高东南低,气候属大陆性季风气候。在县域西部及北部地区,多中山、高山,同时原始次生林、人工林及灌木林分布都较为广泛,植被覆盖度较高,但耕地分布较少;在县域中南部和东部,主要为低山和丘陵,植被覆盖度相对差,荒山面积较大,水土流失现象发生较为频繁。全县河流水系较为发达,境内河流均属于大清河水系南支沙河,由西北向东南横穿全县,另有胭脂河、平阳河、鹁子河、板峪河、北流河等支流。且其位于冀西北生态涵养区,县域内包含自然保护区、森林公园等多种自然保护地,素有九山半水半田之称,但也存在生态型贫困的现状,是以针对此地区进行生态文明建设成为重中之重。

### 1.2 数据来源

本研究中土地利用数据来自于 2018 年土地利用变更调查库;高程数据 (DEM) 来自地理空间数据云 (<http://www.gscloud.cn/>), 空间分辨率为 30 m × 30 m; 阜平县交通数据来源于 Open Street Map 数据平台。

## 2 研究方法

### 2.1 粒度反推法

粒度反推法依据于反证法思想, 首先采用 Frgas-ta 计算各粒度水平下的景观指数, 以此为依据挑选出最佳组分结构, 就此作为参考选取合适的生态源地<sup>[17]</sup>。本文择其林地、草地、园地、水域作为生态用地, 运用 ArcGIS 生成 100 m, 200 m, 300 m, 400 m, 500 m, 600 m, 700 m, 800 m, 900 m, 1 000 m, 十张不同粒度下的栅格图, 进而选择连接度增加百分率、最大组分斑块数 (NC)、连通性 (CONNECT)、聚合度 (AI)、内聚力 (COHESION)、CONTAG (蔓延度指数)、LSI (景观形状指数) 7 个指标<sup>[18]</sup>, 运用 Fragstats 软件, 计算各个粒度下的上述 7 个指标值, 同时结合主成分分析的方法<sup>[19]</sup>, 把累积贡献率 > 80%、特征值 > 1 作为其提取原则, 计算其各粒度下的整体连通性综合得分, 将综合得分最高的景观组分结构作为初步生态源地选取的依据。

### 2.2 生境质量模型 (Habitat Quality Model)

InVEST 中的生境质量模块, 是从生物多样性角度出发, 对其生境质量作出定量评价<sup>[20-22]</sup>。本研究中的威胁源数据为: (1) 每种威胁的相对影响 (2) 生境栅格与威胁之间的距离、威胁所带来的影响 (3): 每种生境类型对每种威胁的相对敏感性, 根据模型使用手册及相关文献, 本文择取林地、草地、园地和水域作为生态用地, 其余用地类型则为非生态用地; 将建制镇、村庄、采矿用地、公路用地、裸地定义为生境的威胁源; 模型的各类参数, 通过查阅文献, 并向相关专家咨询进行赋值 (表 1 和表 2)。具体计算公式如下<sup>[20-22]</sup>:

$$Q_{xj} = H_j \left[ 1 - \left( \frac{D_{xj}^z}{D_{xj}^z + K^z} \right) \right] \tag{1}$$

式中:  $j$  为生境类型, 为不同的栅格;  $Q_{xj}$  为  $j$  生境栅格的生境质量;  $H_j$  为生境适宜性, 为生境栅格的总威胁水平;  $k$  为半饱和参数,  $D_{xj}$  为  $j$  生境栅格中  $x$  的总的威胁水平;  $k$  为半饱和常数;  $z$  值一般默认取 2.5<sup>[21]</sup>。

### 2.3 生态阻力面及廊道构建

一般的生态阻力面构建, 主要是根据土地利用数据, 进行相关赋值, 但所构造的阻力面不够精准, 因此

本研究参考相关文献, 以土地利用阻力面作为显性阻力面<sup>[23-24]</sup>, 传统显性阻力面忽略了景观间的相互影响和信息交流, 而隐性阻力面能够将事物之间的相互影响考虑在内, 因此本研究构建综合阻力面时, 以土地利用类型作为显性阻力面, 利用 ArcGIS 中的克里金插值法得到隐性阻力值以此构造隐性阻力面, 结合坡度、地形起伏度、植被覆盖度 (表 3), 最终得到综合阻力面。基于综合阻力面, 运用 ArcGIS 的开发软件 Linkage Mapper 工具中的 Linkage Mapper 分析构建生态廊道, 其过程所运用模型 MCR (最小累积阻力) 模型原理如下<sup>[25]</sup>:

$$MCR = f \min_{j=n} \sum_{i=m} D_{xj} \times R_i \tag{2}$$

式中: MCR 为最小累积阻力值;  $f$  为未知正函数, 表示阻力值与生态过程的正相关关系;  $D_{ij}$  为从生态源地  $j$  到空间任意一栅格单元  $i$  的空间距离;  $R_i$  为栅格单元  $i$  对生态过程运动的阻力值<sup>[24]</sup>。

表 1 威胁因子属性

威胁因子	最大影响距离/km	权重	衰减方式
建制镇	8	1	指数
村庄	6	0.8	指数
采矿用地	4	0.7	指数
公路用地	3	0.5	线性
裸地	2	0.3	线性

### 2.4 生态节点识别

2.4.1 生态“夹点”识别 生态“夹点”, McRae 等<sup>[26]</sup>以电路理论为依据所提出的, 是为区域内景观连通性的重要节点, 生物流经此处的概率较大或无其他替代路径, 如去除或损坏此类区域, 会对生态稳定造成较大影响。本研究利用 Linkage mapper 分析中的 Pinchpoint Mapper<sup>[27]</sup> 模块识别生态“夹点”, 其中高电流强度区域即为夹点区域, 此类区域对于防止栖息地退化有关键作用, 因此对于此类区域应当重点保护, 若生态“夹点”恰好位于生态阻力值较高区域, 则表明此类地区退化可能性较大, 更应当优先保护与修复, 因此本研究选取生态“夹点”区域作为生态修复关键区域之一。此工具有 adjacent pair model 和 raster centrality 两种模式<sup>[28]</sup>, 但相关研究表明“adjacent pair model”模式下得到的“夹点”区域对于维持整体景观的连接性没有意义, 生物可以绕道其他核心区在两个核心区之间进行移动, 因此采用 raster centrality 识别生态关键点, 此模式又分为成对 (pairwise) 和多对一 (all-to-one) 两类<sup>[29]</sup>, 本文针对两类分别进行处理, 成对模式指有效电阻将在所有的成对斑块之间进行一系列的迭代运算; 多对一模式则是将一个斑块接地, 遍历景观中所有的生态斑块。

表 2 不同生境类型对各威胁源的敏感度

生境类型	生境得分值	建制镇	村庄	采矿用地	公路	裸地
果园	0.8	0.65	0.55	0.6	0.55	0.45
其他园地	0.75	0.6	0.5	0.55	0.5	0.45
有林地	0.98	0.85	0.75	0.8	0.65	0.45
灌木林地	1	0.9	0.8	0.85	0.7	0.50
其他林地	0.95	0.8	0.7	0.75	0.6	0.40
其他草地	0.85	0.75	0.7	0.75	0.6	0.55
河流水面	1	0.95	0.85	0.9	0.85	0.50
水库水面	0.9	0.9	0.8	0.85	0.75	0.45
坑塘水面	0.85	0.85	0.75	0.8	0.7	0.40
内陆滩涂	0.65	0.8	0.7	0.75	0.65	0.35
沟渠	0.7	0.75	0.65	0.7	0.6	0.30
水工建筑用地	0.5	0.4	0.55	0.6	0.65	0.4

表 3 阻力因子属性

阻力因子	权重	指标	阻力系数	阻力因子	权重	指标	阻力系数
景观类型	0.4	灌木林地、果园、河流水面、坑塘水面、其他草地、其他林地、其他园地、水库水面、有林地	1	植被覆盖度	0.13	>0.7	1
						0.6~0.7	3
						0.4~0.6	5
						0.2~0.4	7
						0~0.2	9
		沟渠、内陆滩涂	3	坡度	0.17	<5°	1
						5°~10°	3
隐性阻力面	0.15	旱地、水浇地、水田、沼泽地	5			10°~15°	5
		采矿用地、风景名胜及特殊用地、设施农用地、水工建筑用地	7			15°~25°	7
						>25°	9
		村庄、公路用地、建制镇、裸地、沙地	9	起伏度	0.15	<25 m	1
						25~50 m	3
						50~75 m	5
						75~100 m	7
		Kriging 插值	—			>100 m	9

2.4.2 生态障碍点识别 生态障碍点即为生物在廊道迁徙过程中,受到阻碍的区域,移除或者改善此类区域可增强区域间的景观连通性。本研究利用 Linkage mapper 插件的 Barrier Mapper<sup>[30]</sup> 分析进行生态障碍点的识别,并且与土地利用类型相结合,确定障碍点的土地利用状况,进而提出相关修复与保护建议。进行 Barrier Mmapper 分析时有两种模式<sup>[31]</sup>,一种模式是选定相对于最小成本路径计算改进分数百分比选项,此类方法可识别出有一定障碍但不完全阻碍区域,另一种模式为不选定此选项,即完全阻碍区域。本研究选择同时选择两种模式下的阻碍区域作为生态障碍点,通过对障碍点进行一定的修复,进而增强区域内景观连通性。

3 结果与分析

3.1 生态源地分析

依托 Fragstats 平台,得到各粒度下的景观指数

见表 4,采用主成分分析的方法得到两个主成分(表 5),主成分 1 上 AI,COHESION,LSI,CONTAG 荷载较高,可体现出景观组分的集聚性质,将其作为整体性指标;主成分 2 上 NC,CONNECT 以及连通性增加百分率荷载较高,表征景观结构的连通性,可将其作为连通性指标。将数据标准化处理,代入函数表达式即可得到各粒度下的整体连通性得分(图 1)。景观组分结随粒度改变而改变,但当其达到某一临界值时会出现质变点,通过分析可知,随着粒度的增加,综合得分整体上表现出下降趋势,主要原因为粒度的升高使得小型斑块不断被去除、融合,从而造成景观破碎化加剧,稳定性不断下降,当景观组分结构极简状态小于其研究尺度时,造成关键局部区域不断减少,使得稳定性发生浮动。而在 600 m 粒度时候,综合得分突然出现升高现象,随后又呈现下降趋势,且在 600 m 粒度时的综合得分,明显高于其周围粒度下的综合得分,



因此可看出 600 m 粒度时是景观组分结构产生改变的质变点,可作为初步生态源地的选取依据。

利用生境质量模块确定阜平县生境质量见图 2。阜平县总体生境质量较低,平均值为 0.30,最高值为 0.99,最低值为 0.1,其生境质量较低主要原因为其裸地较多,因此总体生境质量平均值较低,生态问题急需改善,其中高质量区域主要位于阜平县西部地区,此类地区植被覆盖度都较高,且多处于生态保护红线及自然保护区内,低值区位于高值区周围,用地类型主要为裸地及建设用地,以阜平镇、史家寨乡、大台

乡、砂窝乡分布最多。

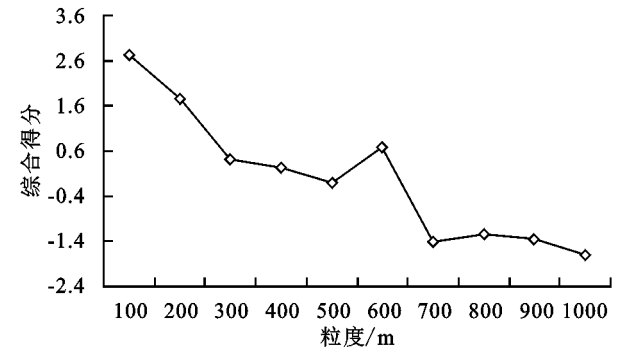


图 1 整体连通性综合得分

表 4 测定指标统计

粒度/m	景观形状 指数 LSI	蔓延度 指数/%	连通性/%	内聚力/%	聚合度/%	连接度增加 百分/%	最大组分斑 块数 NC/个
100	69.3799	51.5199	0.0227	94.3481	71.93	0	5411
200	46.4742	50.4713	0.0472	91.1416	62.28	107.93	7070
300	35.8481	48.2165	0.054	87.7322	49.7	14.41	7599
400	29.1324	47.0569	0.0889	84.3775	52.3	64.63	7489
500	25.0972	44.3424	0.206	83.5721	49.56	131.72	7503
600	25.7889	47.4565	0.8941	85.2195	52.11	334.03	7987
700	21.4359	42.4931	0.3609	77.1925	43.34	−59.64	7439
800	18.1866	44.1388	0.4397	75.8135	41.52	21.83	7460
900	15.918	43.1167	0.545	75.9109	43.29	23.95	7467
1000	15.6182	41.5248	0.6797	76.1914	38.07	24.72	7473

表 5 成分矩阵

指标	$F_1$	$F_2$
LSI	0.9876	−0.0292
CONTAG	0.9281	0.2855
CONNECT	−0.7170	0.4654
COHESION	0.9437	0.2690
AI	0.9719	0.1699
连接度增加百分率	−0.0169	0.9889
最大组分斑块	−0.7893	0.3860

选择源地时,应当将斑块本身的价值,以及各类生态用地在整体景观中的结构及其所发挥的功能,同时考虑在内,而 InVest 模型中的生境质量模块正是基于栅格尺度进行测算,主要估算斑块自身的生态价值,因此,本研究在得出初步生态源地的基础上,统计其各斑块的生态系统服务价值,采用自然断点法将其分为不同级别,将其生境质量最高的一级当作最终的生态源地(图 3)。阜平县生态源地共 518.35 km<sup>2</sup>,主要用地类型为林地、水域、草地、以及部分园地,占生态用地面积的 71.00%,其中以林地所占生态源地最多,达到 65.67%,生态源地以城南庄镇最多为 199.43 km<sup>2</sup>,以阜平镇、大台乡、北果园乡最少,均小于 10 km<sup>2</sup>。

3.2 区域生态安全格局构建

以阜平县综合阻力面为基础,借助 ArcGIS 中的 Linkage Mapper 插件识别出廊道,基于源地及廊道形成阜平县生态格局。阜平县高阻力地区主要集中于砂窝乡、史家寨乡,阜平镇、大台乡、台峪乡、吴王口乡有少量分布,主要是其受城镇建设用地、及交通用地的阻碍,且其含有大量裸地。生态源地主要位于河北省省级银河山自然保护区、河北驼梁国家级自然保护区、水源保护区王快水库范围内,廊道承接各大源地,共计 481.85 km,主要土地利用类型为河流,河流廊道主要包含大沙河、板峪河、鹁子河、北流河、胭脂河、平阳河等河流的部分河段。

3.3 生态修复关键区域识别

3.3.1 生态夹点区域识别与修复 运用 all-to-one 与 all-pairs 两种模式分别识别阜平县生物迁徙流动强度(即廊道的电流强度),成对模式下识别的高电流区域较多最高为 108.163,多对一模式下识别的电流最大值为 189.936,与生态阻力面叠加可发现此类区域多位于高阻力区域,因此本研究选择两种模式下的高电流区域与生态阻力面的高阻力区域叠加,综合分析得出 28 处生态“夹点”区域(附图 4)。共计 73.42

km。其中最长 7.96 km,位于砂窝乡,最短 0.11 km,位于城南庄镇。待修复区域中,共 22 处于河流廊道上,分别为砂窝乡 1 处,龙泉关镇 3 处,天生桥镇 1 处,城南庄镇 6 处,王林口镇 2 处,大台乡 3 处,台峪乡 1 处,史家寨乡 3 处,阜平镇 2 处(表 6)。河流廊道被视为自然形成的生态廊道,其生态作用极强且其地位不可取代,但近年来,由于其他商业用途不断占用以及人类不合理的进行填河造田等活动,使得河流愈加萎缩,且县域公众及相关企业投放的污染物过多,超出其自身的修复能力,使得河流生态功能日况愈下,从而受到不同程度的胁迫。因此针对河流廊道,在其“夹点”区域,应当首先进行清淤及治理相关污染等工程措施,同时可为其修建保护区,实施河流跨界治理与修复工程,多地共享河流污染源监测等相关信息,形成绿色、开放、共享机制,同时应加强监督管理,严防一切损害河流生态功能的现象重现,对于河流入口应当做好土壤修复与保护等措施。另有 4 处待修复区域用地类型属林地,位于史家寨乡,此类区域应当严禁随意占用林地,严控林地退化等现象发生,保护和利用森林植被的自然生态修复功能,加强对退化林地的治理,同时由于阜平属生态型贫困县,因此可适当考虑林业合理开发利用,确保主要林产品产量和产品结构满足市场需求。2 处为草地,位于阜平镇,此类地区应加强退化草地修复,增强植被覆盖度,同时防止此类地区不断被建设用地占用,设置禁建区,对于当地规模发展,政府部门应当严格把控。

乡 5 处(表 6)。从空间分布来看,障碍点均处于高阻力与低阻力交界处,且障碍点多与生态源地紧邻,是源地与廊道联通的关键区域,障碍点的修复或者移除对于加强景观连通性具有重要意义。

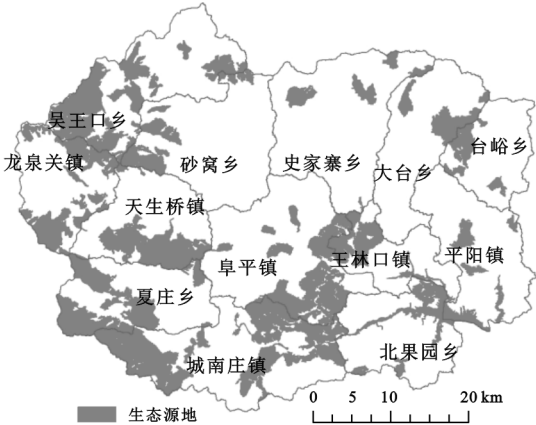


图 3 生态源地

通过分析可知,生态障碍点区域均为非生态用地,主要囊括城镇村及工矿用地、其他土地、耕地。针对不同类型可采取不同措施,对于位于建设用地范围内的障碍区域,可通过打造绿地公园等措施加强城镇绿地建设,提高植被丰富度,对于其他土地,其所对应二级类主要为裸地,对于低海拔地区的裸地,加强植树造林,高海拔地区的裸地多处于荒山位置,应采用天然植被恢复、人工促进植被恢复,修复荒山,对于适宜发展为农业、旅游等用途的荒地,可作出适当调整促其变化为生态价值较高的地区,生态、经济、社会三者相辅相成,综合分析三者总体效益方可促进研究区绿色高质量发展。其中部分节点处于耕地之中,可适当考虑实行退耕还林、还湖等措施,以此提高区域间景观连通性。

3.3.3 生态断裂点区域识别与修复 本研究选择大型交通设施(高速公路、国道、省道)与廊道交汇处,作为生态断裂点(图 4)。主要考虑纵横交叉的道路对生物流动产生阻碍作用,使景观破碎化现象加剧,造成生物迁徙受到威胁。如图所示,生态断裂点共 23 处,其中砂窝乡、吴王口乡、大台乡、平阳镇分布最为集中。5 处与高速相交,5 处与国道相交,与省道交汇区域为 13 处。由于这 3 类都属与不可替代的交通设施,因此不能轻易将其拆卸,故对于断裂点区域可考虑与研究区实际情况相结合,提出相关改良措施,如建造桥下涵洞、或者修建天桥等,作为动物迁徙的廊道,且可在通道处制作标志牌,禁止破坏,保障动物能够较为通畅的完成迁徙,政府部门可考虑实行生态廊道监测,及时为生物流动排除阻碍因素。

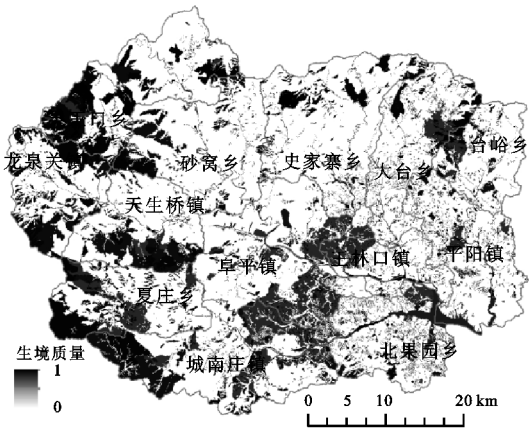


图 2 阜平县生境质量空间分布

3.3.2 生态障碍点区域识别与修复 基于选中相对于 LCD 改进得分选项,与未选定此选项两种模式,本文共识别出生态障碍点 66 处(附图 5),其中北果园乡 1 处,城南庄镇 9 处,大台乡 3 处,阜平镇 8 处,龙泉关镇 8 处,平阳镇 2 处,砂窝乡 11 处,史家寨乡 6 处,台峪乡 1 处,王林口镇 2 处,吴王口乡 10 处,夏庄

表 6 阜平县国土空间生态保护修复关键区域

修复区域	土地利用现状	位置	具体分布	建议修复方向
生态夹点区域	河流	阜平县西北部砂窝乡	大沙河百亩台村河段	加强污染河流治理工作,建造河流保护区,提出河流违法监督相关政策,开展水资源修复等工程;对于退化草地进行人工修复,加强绿地种植,提高植被覆盖度、丰富度;进行退化林地修复等工程,并加强林地保护,建造林地保护区。
	河流、林地、草地	北部史家寨乡	大沙河葛家台沟河段、鸽子河铁岭口沟河段、铁岭口村林地	
	河流	西部龙泉关镇、天生桥镇	北流河支流八里庄村河段、北流河支流平石头村河段、北流河支流朱家营河段	
	河流、草地	中部阜平镇	大沙河城厢村与大元村交界河段、楼房村草地、色岭口村草地	
	河流	西南部城南庄镇	胭脂河岔沟河河段、胭脂河主流大案底村河段	采用植树造林等手段,增加森林覆盖率,适当进行退耕还林,加强生态环境质量,可结合各乡镇发展情况,适当进行荒山治理与修复、公园绿地建造等工程,同时设禁止建设区,防止建设用地占用
		东部王林口镇	大沙河五丈湾村河段	
		东北部大台乡、台峪乡	平阳河平房村河段、板峪河柏崖村河段	
	城镇村及工矿用地、其他用地	西北部吴王口乡、砂窝乡		
生态障碍点区域	其他用地、耕地	西南部夏庄乡、城南庄镇		人工打造生态廊道,建立“天桥”,在桥下建立涵洞,实行野生动物廊道监测
	其他用地	西部龙泉关镇		
	其他用地	中部阜平镇		
	其他用地	北部史家寨乡		
	其他用地、耕地	东北部大台乡、台峪乡、		
生态断裂点区域	其他用地、耕地	东部平阳镇、王林口镇、北果园乡		人工打造生态廊道,建立“天桥”,在桥下建立涵洞,实行野生动物廊道监测
	高速公路	5 处高速公路交叉点		
	省道	13 处省道交叉点		
破碎生态空间	国道	5 处国道交叉点		地形修复,实行异地绿化等人工植树造林工程
	生态用地	—		

3.3.4 破碎生态空间修复 初步源地中生境质量较低的区域,将其作为关键修复区域之一。本研究共得出破碎空间 100.20 km<sup>2</sup>,镶嵌于林地及水域之间,集中分布于城南庄镇、龙泉关镇、阜平镇,分别为 16.58 km<sup>2</sup>,11.76 km<sup>2</sup>,11.61 km<sup>2</sup>(图 5)。造成低质量生态空间原因较多,主要由建设用地不断扩张、频发地质灾害、道路切割等因素造成,此类区域斑块较为分散,无法进行统一修复,因此应当与各个乡镇具体发展方向相结合,重新配置生态用地。例如,可选择较大的斑块修复其地形,稳步提高其景观连通性;对于过于分散的斑块,可因时因地,进行植树造林,联合提高各乡镇森林资源,不断扩大各乡镇绿地面积。

3.4 国土空间生态修复关键区域的修复策略

以生态安全格局为基础,综合考虑阻力面、生态廊道、“夹点”等理论基础,得出阜平县生态修复关键区域,见表 6 所示。研究区“夹点”、断裂点及障碍点区域,存在重合状况,部分断裂点则位于“夹点”之中,障碍点多是位于源地与廊道交汇处,上述 3 类区域,均是维持生物流在系统中正常循环的重要保障。通过分析 3 类节点,提出修复策略,可提高阜平县景观连通性,保障生态稳定性。综上,提出以下修复策略:关键点待修复区域主要包含水域、草地、林地,针对水域类型,增强各乡镇水环境整治力度,加强水质目标管理等工作,全方位控制工业污染源,加强管理各乡镇对于污水的收集与处理,及时有效的针对农业面源污染进行整治,营造高质量河流生态环境,开展河流排污口整治、水环境质量检测、水资源修复与保护监测等工程,加大河流两岸河道管理力度,全方位清污截污,修复受损河流区域,提高其生态水平;针对草地区域,加强退化草地修复,可利用本地特色物种,促进植被演替,提高植被覆盖度;针对林地,加保护和治理,对于退化林地进行生态修复,提高森林覆盖率,严格禁止因其他商业用途占用林地,尽量保证林地逆转流失等现象的发生愈来愈少,保护和利用森林植被的自然修复能力,为当地全面进行生态文明建设给予保障。针对断裂点区域,可与研究区地形地貌相结合,建造生物通道,并实施监测工作,严格禁止其他用途

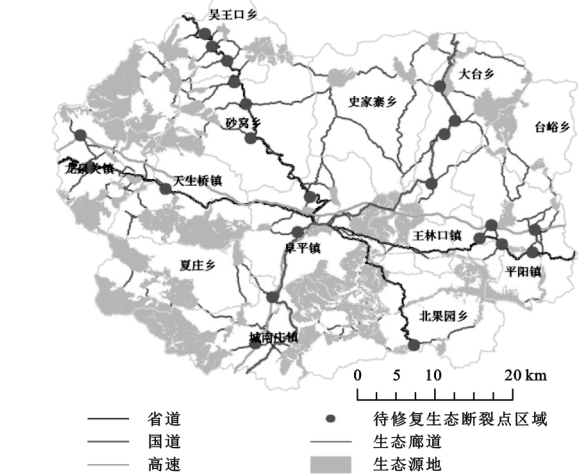


图 4 待修复生态断裂点



占用通道、捕杀动物等行为。针对障碍点区域,县域中心镇待修复区域除加强公园绿地的修建,也应针对居民生活垃圾以及日常排放的污水,采取相应工程措施进行治理,提高城镇中心区域生态环境水平;基本农田保护区以外的耕地,可适当采取退耕还林、退耕还湿等措施,保护区内的,在保障质量不下降前提下,开展农田综合整治项目,促其向生态保育、文化景观等方向发展,促进各地区生态环境质量稳步提升。为保各地区切实落实生态修复的相关政策,且能够及时获取一手信息,可设置长期监管体系,以便及时有效了解进行修复过程中遇到的问题,使其修复方法不断扩充。同时创建生态修复分享与交流平台,树立生态保护意识,切实保证修复区村民的实际利益,不断增强公众生态保护意愿。

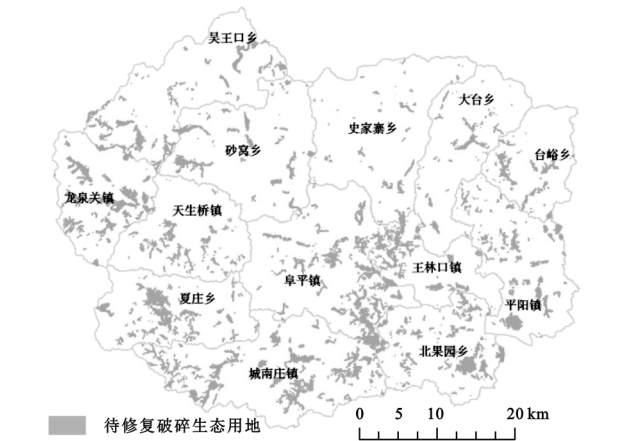


图 5 待修复破碎空间

4 结论

(1) 阜平县生态源地 518.35 km<sup>2</sup>,占生态用地比例为 71.00%,用地类型主要为林地及水域;生态廊道共 481.85 km,以河流廊道为主,包含少量人工廊道。

(2) 生态修复关键区域为:待修复生态“夹点”区共计 28 处,其中 22 处于河流廊道上;待修复生态障碍区共计 66 处,分布较为广泛,多位于较低阻力值与较高阻力值交汇处;待修复生态断裂区共计 23 处,其中与高速公路交汇区域为 5 处,与国道交汇区域为 5 处,与省道交汇区域为 13 处;待修复破碎空间共计 100.20 km<sup>2</sup>,集中分布于城南庄镇、龙泉关镇、阜平镇。

(3) 综合考虑各类型生态修复区用地类型及其空间分布特征,有针对性的提出具体修复策略以及提升方向,为县域生态文明建设提供借鉴意义。

本文以构建县域生态安全格局为基础,识别国土空间生态修复关键区,融入景观生态学的视角,切实符合国土空间生态修复中所强调的生态过程的完整

性与连通性的思想高度,与传统的识别出某一待修复区进而设置生态修复工程相比,本研究更加具有系统性、全局性。选取生态源地时,运用粒度反推法与生境质量评估模型相结合,综合考虑了斑块大小、自身价值以及粒度水平三方面。较为新颖的运用 Linkage Mapper 分析识别出待修复生态“夹点”、生态障碍点、生态断裂点,3 类区域均为景观格局中的重点区域,对维护生态系统整体健康及促进人类福祉稳步上升具有重要意义。但本研究尚存在一些不足,如:在识别出各类型待修复区域后,景观中连通性的增加程度仍然值得进一步研究,且本研究尚未确定修复顺序,今后应当综合考虑区域的地理位置、社会经济条件及生态需求等方面,进一步确定修复的先后顺序,以期可达更加理想的生态修复效果。

参考文献:

[1] 彭建,吕丹娜,董建权,等.过程耦合与空间集成:国土空间生态修复的景观生态学认知[J].自然资源学报,2020,35(1):3-13.

[2] 叶艳妹,林耀奔,刘书畅,等.山水林田湖草生态修复工程的社会—生态系统(SES)分析框架及应用:以浙江省钱塘江源头区域为例[J].生态学报,2019,39(23):8846-8856.

[3] 韩宗伟,焦胜,胡亮,等.廊道与源地协调的国土空间生态安全格局构建[J].自然资源学报,2019,34(10):2244-2256.

[4] 俞孔坚,张健.基于自然,让自然做功:国土空间规划与生态修复之本[J].景观设计学,2020,8(1):6-9,4-5.

[5] 孔令桥,郑华,欧阳志云.基于生态系统服务视角的山水林田湖草生态保护与修复:以洞庭湖流域为例[J].生态学报,2019,39(23):8903-8910.

[6] 倪庆琳,侯湖平,丁忠义,等.基于生态安全格局识别的国土空间生态修复分区:以徐州市贾汪区为例[J].自然资源学报,2020,35(1):204-216.

[7] 李红举,宇振荣,梁军,等.统一山水林田湖草生态保护修复标准体系研究[J].生态学报,2019,39(23):8771-8779.

[8] 吴钢,赵萌,王辰星.山水林田湖草生态保护修复的理论支撑体系研究[J].生态学报,2019,39(23):8685-8691.

[9] 王军,钟莉娜.生态系统服务理论与山水林田湖草生态保护修复的应用[J].生态学报,2019,39(23):8702-8708.

[10] 曹宇,王嘉怡,李国煜.国土空间生态修复:概念思辨与理论认知[J].中国土地科学,2019,33(7):1-10.

[11] 田野,冯启源,唐明方,等.基于生态系统评价的山水林田湖草生态保护与修复体系构建研究:以乌梁素海流域为例[J].生态学报,2019,39(23):8826-8836.

[12] 罗明,于恩逸,周妍,等.山水林田湖草生态保护修复试点工程布局及技术策略[J].生态学报,2019,39(23):8692-8701.



- [13] 王晓玉,冯喆,吴克宁,等.基于生态安全格局的山水林田湖草生态保护与修复[J].生态学报,2019,39(23):8725-8732.
- [14] 李涛,唐涛,邓红兵,等.湖北省三峡地区山水林田湖草系统原理及生态保护修复研究[J].生态学报,2019,39(23):8896-8902.
- [15] 方莹,王静,黄隆杨,等.基于生态安全格局的国土空间生态保护修复关键区域诊断与识别:以烟台市为例[J].自然资源学报,2020,35(1):190-203.
- [16] 王慧.县域生态安全格局关键地段识别研究[D].江苏徐州:中国矿业大学,2018.
- [17] 王朋冲,于强,裴燕如,等.翁牛特旗景观格局尺度效应分析[J].农业机械学报,2020,051(5):223-231,181.
- [18] 陆禹.基于系统动力学和粒度反推法的海口市景观格局优化[D].长沙:中南林业科技大学,2018.
- [19] 陆禹,余济云,罗改改,等.基于粒度反推法和GIS空间分析的景观格局优化[J].生态学杂志,2018,37(2):534-545.
- [20] 肖洋,张路,张丽云,等.渤海沿岸湿地生物多样性变化特征[J].生态学报,2018,38(3):909-916.
- [21] Zhang X, Zhou J, Li G, et al. Spatial pattern reconstruction of regional habitat quality based on the simulation of land use changes from 1975 to 2010[J]. Journal of Geographical Sciences, 2020,30:601-620.
- [22] Rahimi L, Malekmohammadi B, Yavari A R. Assessing and modeling the impacts of wetland land cover changes on water provision and habitat quality ecosystem services[J]. Natural Resources Research, 2020, 29,3701-3718.
- [23] Zhu K, Chen Y, Zhang S, et al. Identification and prevention of agricultural non-point source pollution risk based on the minimum cumulative resistance model[J]. Global Ecology and Conservation, 2020,23:e01149.
- [24] 刘建华,张启斌, YANG Di, 等.基于 MCR-ANN-CA 模型的包头市生态用地演变模拟[J].农业机械学报, 2019,50(2):187-194.
- [25] 黄雪飞,吴次芳,游和远,等.基于 MCR 模型的水网平原区乡村景观生态廊道构建[J].农业工程学报, 2019, 35(10):243-251.
- [26] McRae B H, Dickson B G, Keitt T H, et al. Using circuit theory to model connectivity in ecology, evolution, and conservation[J]. Ecology, 2008, 89(10): 2712-2724.
- [27] Merrick M J, Koprowski J L. Circuit theory to estimate natal dispersal routes and functional landscape connectivity for an endangered small mammal[J]. Landscape Ecology, 2017,32(6):1163-1179.
- [28] Wang C, Yu C, Chen T, et al. Can the establishment of ecological security patterns improve ecological protection? An example of Nanchang, China[J]. Science of the Total Environment, 2020,740:140051.
- [29] Carroll K A, Hansen A J, Inman R M, et al. Testing landscape resistance layers and modelling connectivity for wolverines in the western United States[J]. Global Ecology and Conservation, 2020,23:e01125.
- [30] McRae B H, Hall S A, Beier P, et al. Where to restore ecological connectivity? Detecting barriers and quantifying restoration benefits[J]. Plos One, 2012,7(12):e52604.
- [31] McRae B H, Shah V B, Mohapatra T K. Circuitscape 4 user guide[R]. Seattle Wa;the Nature Conservancy, Seattle, 2013.