

引用格式:秦帮策,方维萱,邢再亮,任建帅,张新生. 河北蔚县山间外流盆地景观格局稳定性[J]. 山地学报, 2023, 41(6): 846-862.

QIN Bangce, FANG Weixuan, XING Zailiang, REN Jianshuai, ZHNAG Xinsheng. Landscape pattern stability of the intermountain open basin in Yuxian county of China [J]. Mountain Research, 2023, 41(6): 846-862.

河北蔚县山间外流盆地景观格局稳定性

秦帮策^{1,2},方维萱²,邢再亮^{1*},任建帅¹,张新生¹

(1. 河北省煤田地质局 第四地质队,河北 张家口 075000;

2. 有色金属矿产地质调查中心 矿山生态环境资源创新实验室,北京 100012)

摘要:蔚县山间外流盆地位于燕山—太行山生态环境涵养区。随着全域旅游示范区建设和城镇化加速发展,其景观格局受到干扰,人、地、环境关系紧张。研究蔚县山间外流盆地景观格局稳定性,对探索区域平衡发展意义重大。已有研究多集中在历史人文景观空间分布和保护更新方面,关于土地类型和地质环境下的景观格局稳定性研究较为缺乏,实践参考意义不足。本文根据土地利用类型特征和构造岩相学特征,对蔚县山间外流盆地景观格局进行了3级解构;选取景观单元表型结构指数和景观区构造岩相学指标,基于GIS平台,分别对景观单元和景观区的稳定性进行评估;讨论景观单元和景观区耦合结构下的景观格局稳定性及影响因素,并提出防治规划建议。结果表明:(1)蔚县山间外流盆地景观格局中包含62种景观类型,由耕地、林地、草地等11类景观单元及剥蚀侵蚀中低山基岩景观区、盆山过渡带景观区等6类景观区耦合构成,整体以壶流河为对称中心呈渐变镶嵌分布。(2)景观单元次稳定和次不稳定区面积分别为1911.61 km²和1093.25 km²,累计占总面积的94%,景观区次不稳定区面积为2223.46 km²,占总面积的69%,景观格局次不稳定区和不稳定区面积分别为1603.36 km²和880.78 km²,累计占总面积的78%。(3)景观格局稳定性受景观单元表型结构和景观区环境地质条件综合影响,基础级景观单元形状简单、分布聚集、规模大,中间级景观区远离断裂、地震活动性低、岩土体结构稳定、地形条件良好,高等级景观格局稳定。本研究成果可为蔚县山间外流盆地减灾防灾、空间规划及景观优化提供科学参考。

关键词:山间外流盆地;分级解构;构造岩相学;景观格局;稳定性

中图分类号: P642.4

文献标志码: A

景观格局稳定性是景观生态学研究的重点及难点^[1],其概念尚未被明确提出^[2-3],一般借用抗性、弹性及脆弱性等生态系统稳定性概念^[4-8]研究景观结构的动态变化特征,进而揭示景观格局稳定性^[9-12]。近年来,借用生态系统稳定性概念基于景观尺度进行稳定性评价,被广泛应用于城市、森林及山地等单一及复合景观系统^[13-22],并达成共识:景观格局破碎化是影响生态系统服务频率和能力,威

胁生态系统演化进程,从而降低景观格局稳定性的主要原因^[23]。然而,以上认识并不能充分解释复杂环境下的景观格局稳定性,缺乏考虑地质环境因素对景观格局稳定性的影响^[24],如断裂、地震及火山爆发对景观造成严重破坏^[25-26]。究其原因是方法和视角主要集中在生态学维度,未能结合构造岩相学综合探究景观格局稳定性。景观区内地形地貌、岩石组合及地质构造等构造岩相学条件是影响和制

收稿日期(Received date): 2023-06-13; 改回日期(Accepted date): 2023-12-23

基金项目(Foundation item): 河北省省级财政一般公共预算资金项目(343-0402-YBN-GY1N) [Provincial General Public Budgeting Fund Project of Hebei Province (343-0402-YBN-GY1N)]

作者简介(Biography): 秦帮策(1995-),男,硕士,河北张家口人,主要研究方向:环境与地质灾害。[QIN Bangce (1995-), male, M. Sc., born in Zhangjiakou, Hebei province, research on environmental and geological disaster] E-mail: 2265468107@qq.com

* 通讯作者(Corresponding author): 邢再亮(1989-),男,工程师,主要研究方向:水文地质、环境地质和地质灾害。[XING Zailiang (1989-), male, engineer, research on hydrogeology, environmental geology, and geological disaster] E-mail: hbmtsdxyzl@163.com

约景观稳定性最根本因素,如在干旱区山间外流盆地中,断层上升泉对平原绿洲景观的支撑作用,河流中泥沙含量对沉积盆地景观的影响作用^[27-28],不同坡度下表层含水率差异性对植被景观的反馈作用等^[29]。

蔚县山间外流盆地位于燕山—太行山生态环境涵养区,是河北省建设首都水源涵养功能区和生态环境支撑区(首都两区)的重要区域,也是首批国家全域旅游示范区创建地区之一。全域旅游是蔚县走向可持续发展的历史性机遇,然而在大力发展文旅产业和推进城镇化建设下,伴生的景观生态条件下降和人地关系矛盾突出等问题,无疑为“首都两区”建设带来新的困难和挑战。优化总体空间布局和功能分区,是应对上述矛盾的关键,研究蔚县山间外流盆地的景观格局稳定性,可为此提供科学参考。

蔚县山间外流盆地位于天山—阴山纬向构造体系和南北向构造带交会处,是华北陆块北缘中生代以来强烈的地壳变动与地质演化造就而成的内陆山间外流断陷沉积盆地^[30-31],具有“两山夹一盆”典型盆、山镶嵌结构,其景观格局受山地-断裂-盆地控制,从边山到盆地内部呈垂向梯度分异,是研究山间外流盆地景观格局稳定性的示范地区^[32-33]。

鉴于蔚县山间外流盆地文旅发展重要性、生态保护迫切性及空间场域示范性,系统研究山间盆地尺度下的景观格局稳定性,对当地生态环境保护和城镇发展规划具有重要意义。针对蔚县山间外流盆地景观格局研究仅集中在历史人文景观空间分布和保护更新方面^[34-35],对景观格局稳定性的研究较为缺乏,在优化总体空间布局和功能分区实践参考层面明显单薄,难以满足建设“首都两区”和全域旅游示范区任务需求。从景观生态学和构造岩相学耦合角度出发,对蔚县山间外流盆地景观格局进行分级解构,进而综合探究其稳定性和影响因素意义重大。

本文基于景观生态学和构造岩相学交叉维度,依据土地功能的景观异质性,对蔚县山间外流盆地进行景观单元划分,结合构造岩相学异质性结构特征,进一步进行景观区划分;选取斑块密度、形状指数及聚集度等8个反映景观单元表型结构的指数和断裂、地震活动性、工程岩组及坡度等7项反映景观区环境条件的构造岩相学指标,通过建模评估法,基于GIS平台,分别对景观单元和景观区的稳定性进行评估;以景观区稳定性为主导,将2项评估结果耦

合,从而对蔚县山间外流盆地的景观格局稳定性进行区划;讨论蔚县山间外流盆地景观格局稳定性影响因素,提出系列防治规划建议,期望为蔚县山间外流盆地减灾防灾、空间规划及景观优化提供科学参考。

1 研究区概况

蔚县盆地地处河北省张家口市南缘,地理坐标 $114^{\circ}13' \sim 115^{\circ}04'E$, $39^{\circ}34' \sim 40^{\circ}10'N$,整体呈北东—南西向分布,具有山间盆地盆—山镶嵌景观结构(图1)。盆地南部中、低山区海拔约1700~2800 m,最高峰小五台山海拔为2882 m,小五山顶残留有崮状台塬面(北台面),海拔在2400~3000 m,地面坡度 $<10^{\circ}$,往下2200 m附近发育甸子梁夷平面,为舒展开阔的高原夷平面,以亚高山高原草甸景观为主。北部低山、丘陵区海拔约1200~1700 m,最高峰月山海拔为1857 m,其中海拔1400~1500 m的驼状—梁状平顶山属甸子梁夷平面(平山期),与坝上草原相似,盆地内平均海拔约900 m(图1)。蔚县盆地属温带半干旱大陆性季风气候区,年均气温为 $6.42^{\circ}C$,年均降雨量为407.41 mm,降雨集中在6—9月,常年性河流主要为壶流河、清水河和安定河,壶流河全长128 km,自西向东贯穿,使蔚县盆地成为山间外流盆地(图1)。

在区域构造上,蔚县盆地处于阴山近东西向构造带与北东向新华夏构造带交接部位,区内主要断裂有松枝口—右所堡断裂、阳原南山断裂、蔚县南山断裂及大湾—暖泉断裂,它们共同围割出一个相对独立的矩形“断块”,该“断块”在喜马拉雅期经北升南降后形成倾向南东的单斜构造^[31]。在蔚县复向斜底衬上,叠加壶流河断裂、月山向斜和蔚县背斜等次级构造(图1)。中新世以来,蔚县盆地南部山区强烈上升隆起,中部盆地区继承性断陷下降,北部低山丘陵区缓慢隆起,形成了蔚县盆地现今的构造地貌景观。蔚县盆地内地层由新到老依次为第四系、古近系、侏罗系、奥陶系、寒武系、蓟县系、长城系及桑干群等,新构造运动具有山区抬升和盆地陷落相对升降幅度大、地壳垂直运动较剧烈的特点,地震峰值加速度为 $0.15 g$,史上共发生过4次5级以上的地震。

蔚县盆地历史文化悠久,古代为“燕云十六州”

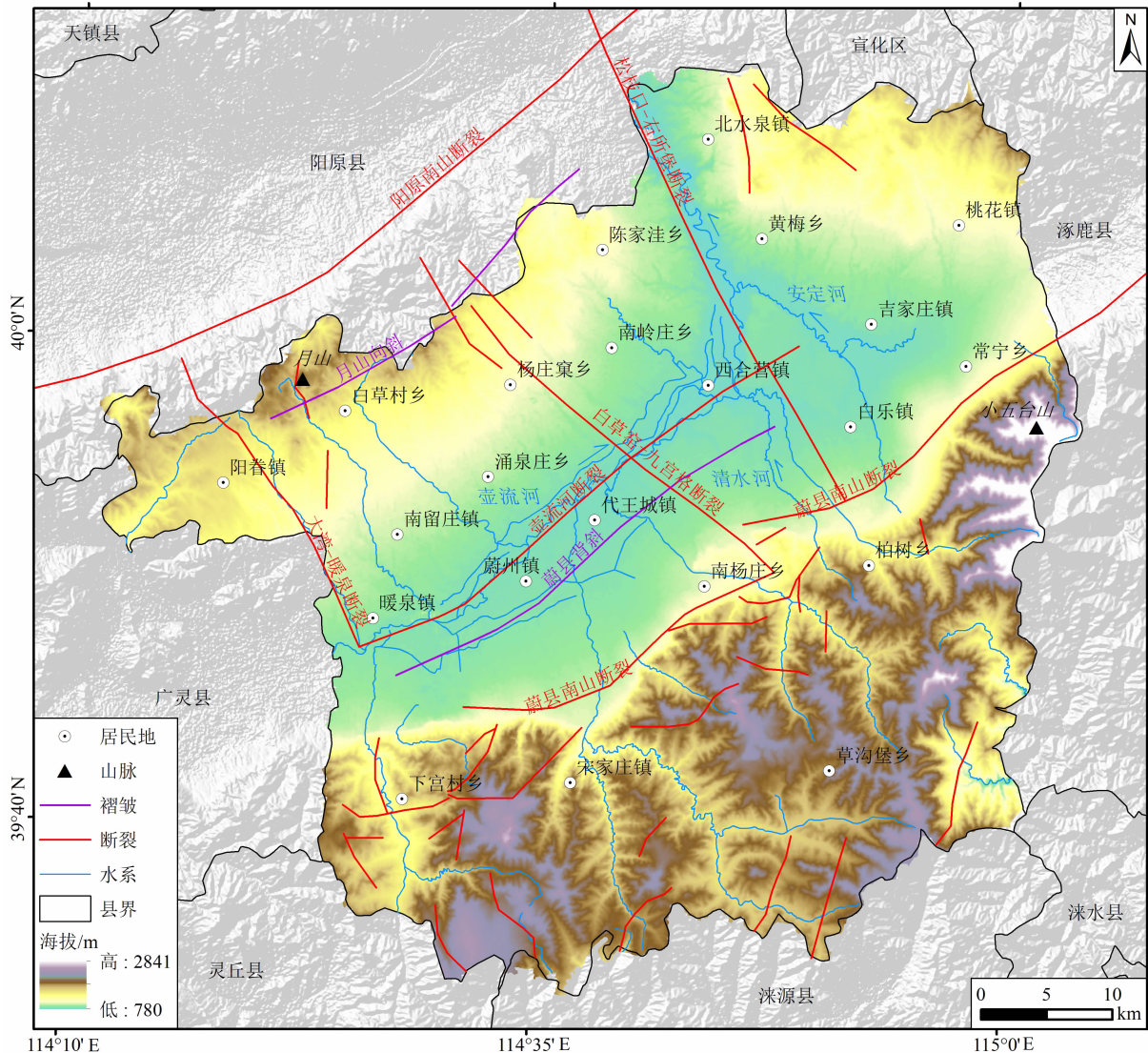


图1 蔚县山间外流盆地地貌特征与构造分布图

Fig. 1 Landform characteristics and structural distribution of the intermountain open basin in Yuxian, China

之一的蔚州。截至2021年1月,蔚县盆地总人口有50万人。蔚县盆地交通便利、煤炭资源丰富、农产品繁多、自然风光秀丽,一个以工业为主导、一二三产业协调发展的新经济格局正在蔚县盆地形成。随着城镇、乡村、交通及采矿等人类工程活动持续进行,边坡失稳、地面塌陷及景观损毁等生态环境问题也日益突出。本研究区为蔚县县域,面积约3200 km²,盆地和山地面积占比分别为44%和56%。

2 研究方法

2.1 数据来源及预处理

收集的资料数据包括蔚县的区域地质图、工程

岩组分布图、地貌单元分布图、构造纲要分布图、历史地震分布图、DEM 高程数据、地理要素数据及第三次全国国土调查数据,这些数据来源于河北省煤田地质局第四地质队和水文地质队、中国科学院资源环境科学与数据中心(<https://www.resdc.cn/>)以及地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn/search>)。

将以上数据导入 GIS 平台,统一投影坐标系为 CGCS2000_GK_Zone_20。对专题图件进行矢量化,提取蔚县县域内的工程岩组分布、地貌单元分布、历史地震点分布及断裂分布数据;利用 DEM 数据提取蔚县县域内的高程、坡度及地形起伏数据;对三调数据中的 41 种 2 级地类,进行合并和重分类,划分为 11 种 1 级地类,获得蔚县土地类型数据。

2.2 景观空间配置分级

景观是指由气候、地貌、岩石、土壤、水文及生物 6 大要素组成的地壳表层地质-地理-生态景象^[1],具有空间尺度效应,景观空间配置从低级到高级可解构为景观单元、景观区和景观格局 3 个级别的空间域,界定原则为:景观单元为基础级空间域,用土地类型表示,是构成景观格局的基本单位;景观区为中级空间域,用自然地理景观区表示,大型控盆断裂往往是景观区边界;景观格局为高级空间域,是山间外流盆地的山地-断裂-盆地整体性格局构型。整体关系为:不同的土地类型表征不同的景观单元,一定区域内景观单元的构造-岩石环境条件为景观区,在景观区内各景观单元具有协调共生关系;各类景观区和景观单元的镶嵌耦合结构组成了整体景观格局。

划分景观单元和景观区,是研究山间外流盆地景观格局稳定性的前提,在划分过程中,要体现出山地-断裂-盆地控制景观形成的主导因素,山地-断裂-盆地所控制的景观单元和景观区是景观异质性结构表征,它们是地形地貌和气候等外在因素综合响应与地下构造岩相学内在因素的综合作用结果。从景观异质性特征出发,利用蔚县山间外流盆地的土地类型数据,对景观单元进行划分,结合山地-断裂-盆地控山镶嵌体系下的构造岩相学异质性,进一步进行景观区划分,其中构造岩相学异质性具体体现在地表高程、坡度等地形地貌和地下岩性、断裂等构造岩相方面。

2.3 景观格局稳定性与构造岩相学关系分析

鉴于景观单元、景观区和景观格局的界定和区别可知,景观单元稳定性是不同土地类型的地理实体镶嵌结构的稳定性,景观区稳定性是不同自然地理景观区在地球内部和外部综合环境地质条件作用下的稳定性,景观格局稳定性是景观单元稳定性和景观区稳定性耦合下的综合稳定性。三者区别在于,景观单元稳定性从景观生态学维度反映了景观单元自身表型结构的抗干扰能力和恢复能力,景观区稳定性从构造岩相学维度反映了景观所处的地质环境场域稳定性,而景观格局稳定性涵盖了景观区环境场域稳定性和景观单元自身结构稳定性,并且以景观区的环境场域稳定性为主导。从构造岩相学角度出发^[36-37],因断裂构造先期活动或后继活动均对景观稳定性造成破坏或损坏,断裂对景观稳定性为负向贡献,如活动断裂诱发地裂缝,活动断裂应力

释放触发地震对景观造成破坏,对于景观稳定性而言,负向影响随着远离断裂而降低,山地和山间盆地对景观稳定性贡献的正、负向需要进行综合评估才能识别。

2.4 景观格局稳定性评估

在景观空间配置分级和景观格局稳定性界定基础上,考察构造岩相学条件的相似性和异质性因素,通过选取稳定性影响参数建模,基于 GIS 平台,分别对蔚县山间外流盆地景观单元和景观区的稳定性进行评估,进而研究其耦合结构下的景观格局稳定性。

2.4.1 景观单元稳定性评估

选取反映景观单元形状、大小和分布的表型结构指数作为景观单元稳定性评估参数,包括最大斑块面积指数(LPI)、平均斑块面积(MPS)、斑块密度(PD)、边缘密度(ED)、形状指数(LSI)、周长面积分维数(PAFRAC)、聚合度指数(AI)和散布与并列指数(IJI)^[38-40],通过 Fragstats4.2 平台来定量计算选取的 8 个评估指数,采用极差变化法对计算出的景观单元评估指数进行标准化,消除量纲影响,基于 SPSS26 平台,以景观单元为单位对标准化后的评估指数进行主成分分析,进而构建景观单元稳定性评估模型。利用评估模型计算各类景观单元的稳定性分值,将稳定性分值从低到高分为 4 个区间,采用“4 分制”打分方式从低值区间到高值区间进行打分,将打分结果重分类后获得蔚县山间外流盆地景观单元稳定性评估结果。

2.4.2 景观区稳定性评估

由于地表地形、地貌等条件对景观区稳定性具有直接反馈、内部构造岩相等条件对景观区稳定性具有深远反馈^[33],据此选取断裂、历史地震、工程岩组、坡度、高程、地形起伏及水系 7 项关键敏感因素,作为蔚县山间外流盆地景观区稳定性构造岩相学评估指标。从内部深远性到浅表直接性,厘定评估指标反馈强度从高到低依次为断裂、地震、工程岩组、坡度、地形起伏、高程、水系,利用层次分析法确定各指标的权重,构建景观区稳定性构造岩相学评估模型。依据景观区稳定性评估模型,对历史地震点要素进行插值分析,对断裂和水系线要素进行多环缓冲区分析,对工程岩组、高程、坡度及地形起伏区要素进行重分类,建立评估指标栅格,对评估指标栅格进行加权叠加后,获得蔚县山间外流盆地景观区稳定性评估结果,将评估结果以景观区为单位进行

归集。

从指标反馈形式和反馈方向来看,断裂活动诱发地质灾害和断裂作为地表水高下渗带导致岩土体不稳定,对景观区稳定性产生负反馈;地震引起强烈的地表面型对景观区产生负反馈;坚硬块状岩浆岩岩组和粒径级配不均匀度高的冲洪积物对景观区稳定性具有正反馈,碎裂状碳酸盐岩岩组、软弱层状碎屑岩岩组和湿陷性黄土状土对景观区稳定性具有负

反馈;坡度和地形起伏通过增大块体的下滑力和突破物质的休止角诱发边坡不稳定,对景观区稳定性产生负反馈;高程通过增大块体势能和增强流水、风力等外力侵蚀作用,对景观区稳定性产生负反馈;水系通过侵蚀作用导致岩土体结构破坏,对景观区稳定性产生负反馈。鉴于各指标对景观区稳定性的反馈作用,结合蔚县山间外流盆地实际情况,选取的 6 项评估指标分级结果如图 2 所示。

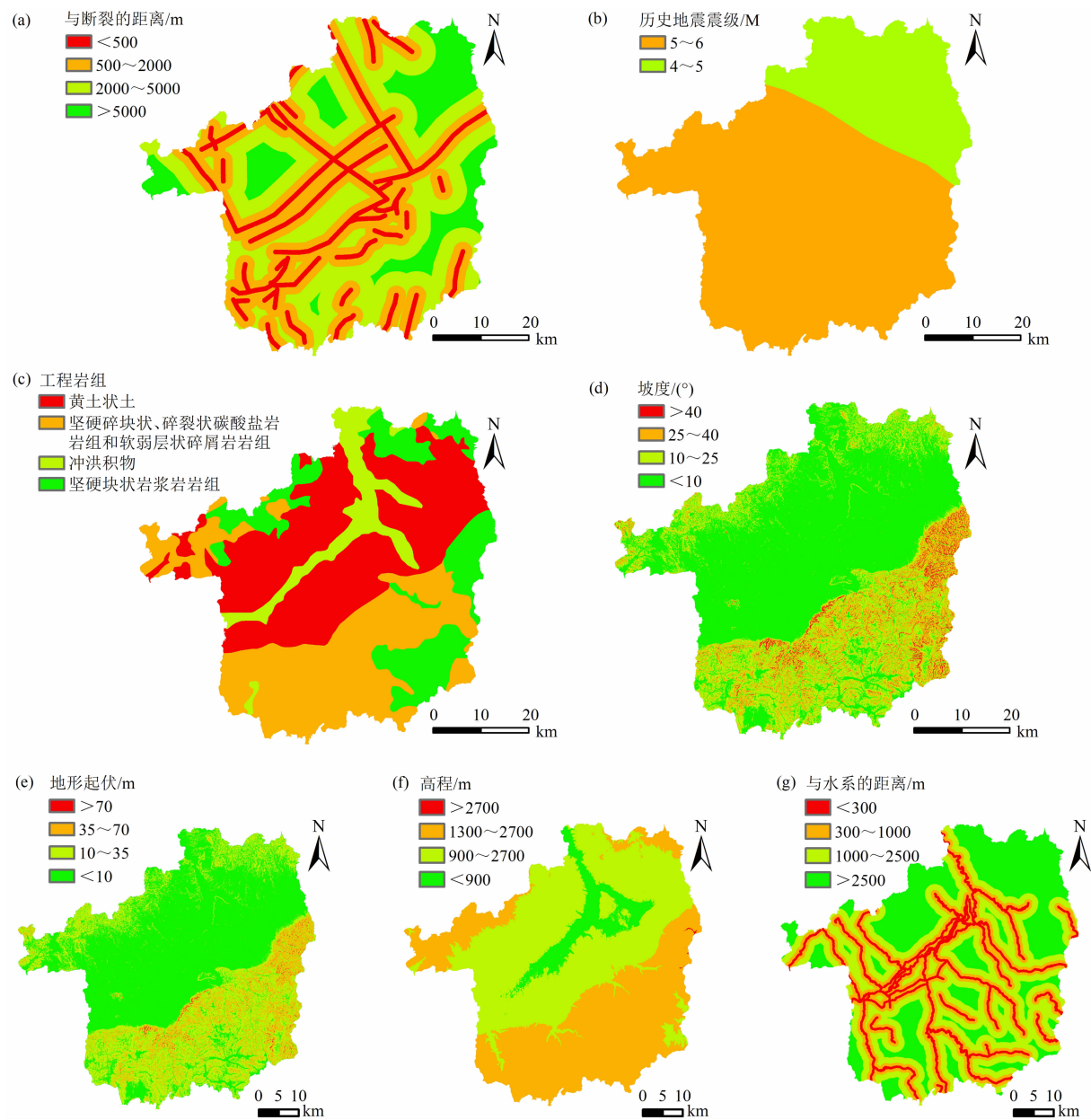


图 2 景观区稳定性评估指标分级图:

(a) 与断裂的距离; (b) 历史地震震级; (c) 工程岩组类型; (d) 坡度; (e) 地形起伏; (f) 高程; (g) 与水系的距离

Fig. 2 Classification of the stability assessment indicators for landscape areas;

(a) distance from the fracture; (b) historical earthquake magnitude; (c) type of engineering rock formations;

(d) slope; (e) terrain undulation; (f) elevation; (g) distance from the water system

2.4.3 景观格局稳定性评估

将蔚县山间外流盆地景观单元稳定性评估结果和景观区稳定性评估结果进行耦合,对整体景观格局稳定性进行区划。在耦合过程中,因景观区稳定性决定景观单元稳定性,故应以景观区稳定性为主导。

3 结果与分析

3.1 景观格局空间特征

根据合并和重分类后的土地类型数据可知,蔚县山间外流盆地中共有林地、草地、园地、水域、耕地、建设用地、工矿用地、盐碱地、裸地、沟渠廊道和道路廊道 11 类景观单元(图 3),面积依次为

905.87 km²、878.83 km²、214.42 km²、44.54 km²、961.20 km²、109.09 km²、19.67 km²、1.73 km²、4.88 km²、4.44 km² 和 53.23 km²。11 类景观单元中,林地、草地、水域和裸地为自然景观单元,建设用地、工矿用地、盐碱地、沟渠廊道和道路廊道为人工景观单元,园地和耕地为经营景观单元。

根据蔚县山间外流盆地的构造岩相学特征异质性(表 1),可划分出 6 类景观区,分别为剥蚀侵蚀中低山基岩景观区、盆山过渡带景观区、湖积台地景观区、山前倾斜洪积平原区、河流冲积平原区和河流湿地水域区(图 4),各景观区面积依次为 1695.63 km²、384.83 km²、420.02 km²、117.55 km²、520.65 km² 及 62.19 km²,面积占比依次为 53%、12%、13%、

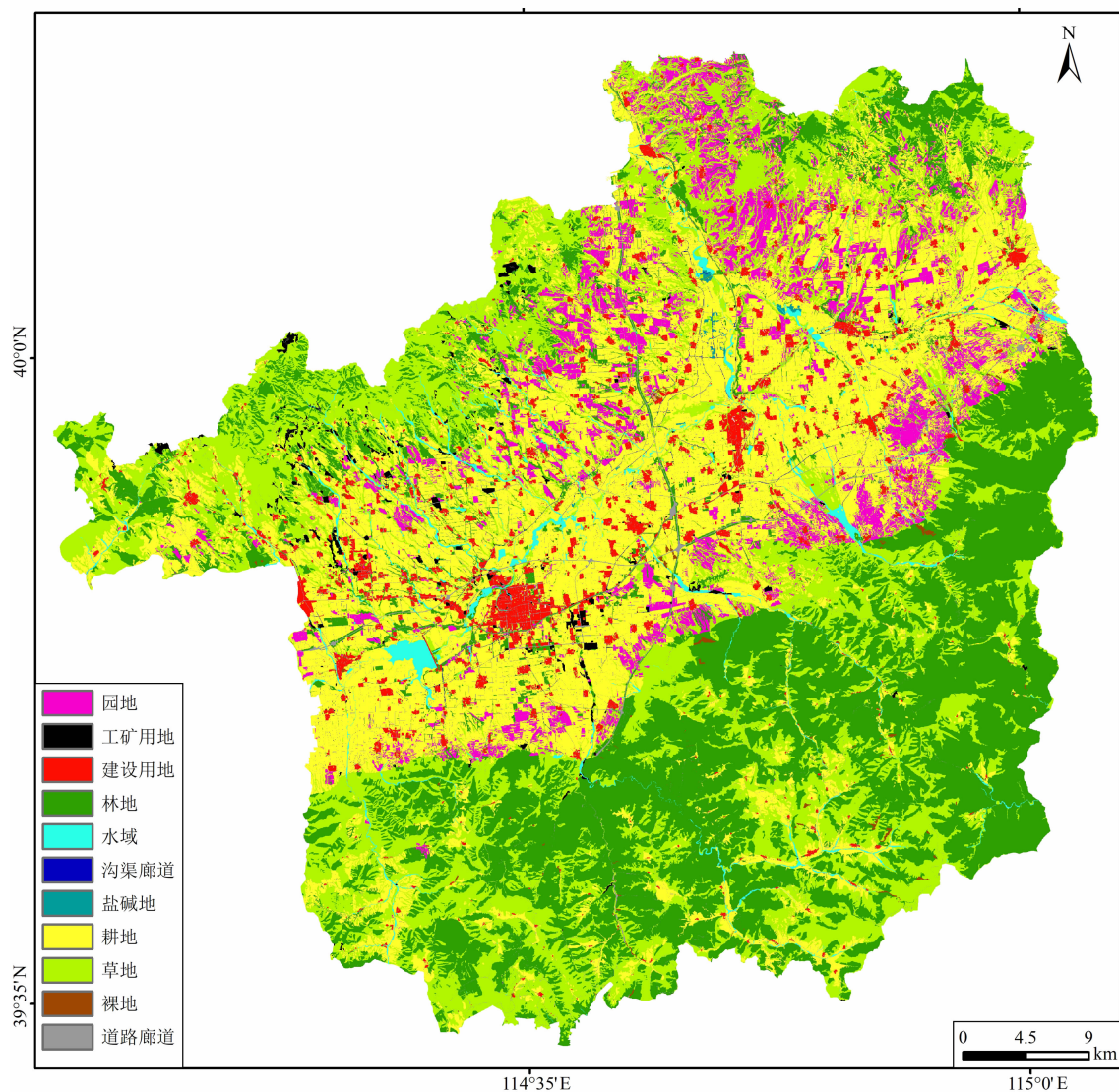


图3 蔚县山间外流盆地景观单元分布图

Fig. 3 Distribution of landscape units in the intermountain open basin of Yuxian, China

表 1 各景观区的景观单元组成和景观异质性特征

Tab. 1 Composition of landscape units and characteristics of landscape heterogeneity in each landscape area

景观区	构造地貌	岩性	平均高程/m	平均坡度/(°)	平均断裂密度/(m·m ⁻²)	景观单元
剥蚀侵蚀中低山基岩景观区	以侵蚀构造中低山区和构造剥蚀中低山区为主	以碎屑岩、岩浆岩和碳酸盐岩等基岩为主	1576.22	17.62	1.21	以林地和草地为主
盆山过渡带景观区	以侵蚀构造低山区、侵蚀堆积黄土丘陵区 and 山前坡洪积裙为主	以更新世马兰黄土、全新世冲洪积砂砾石以及碎屑岩、岩浆岩和碳酸盐岩等基岩为主	1118.13	7.53	3.12	以林地、草地、耕地和园地为主
山前倾斜洪积平原区	以山前坡洪积斜地和山前坡洪积裙为主	以更新世马兰黄土和全新世冲洪积砂砾石为主	984.84	3.12	3.21	以耕地、园地和建设用地为主
河流冲积平原区	以河流冲积平原和河流冲积扇群为主	以泥河湾组粉砂质黏土和全新世冲积砂砾石为主	913.82	2.51	6.23	以耕地、建设用地和工矿用地为主
湖积台地景观区	以侵蚀堆积湖积台地为主	以泥河湾组粉砂质黏土和更新世马兰黄土为主	940.41	5.33	2.05	以耕地、园地、建设用地和草地为主
河流湿地水域区	以河床及河床两岸湿地沼泽为主	以全新世冲积砂砾石为主	880.53	2.72	6.45	以水域、耕地和草地为主

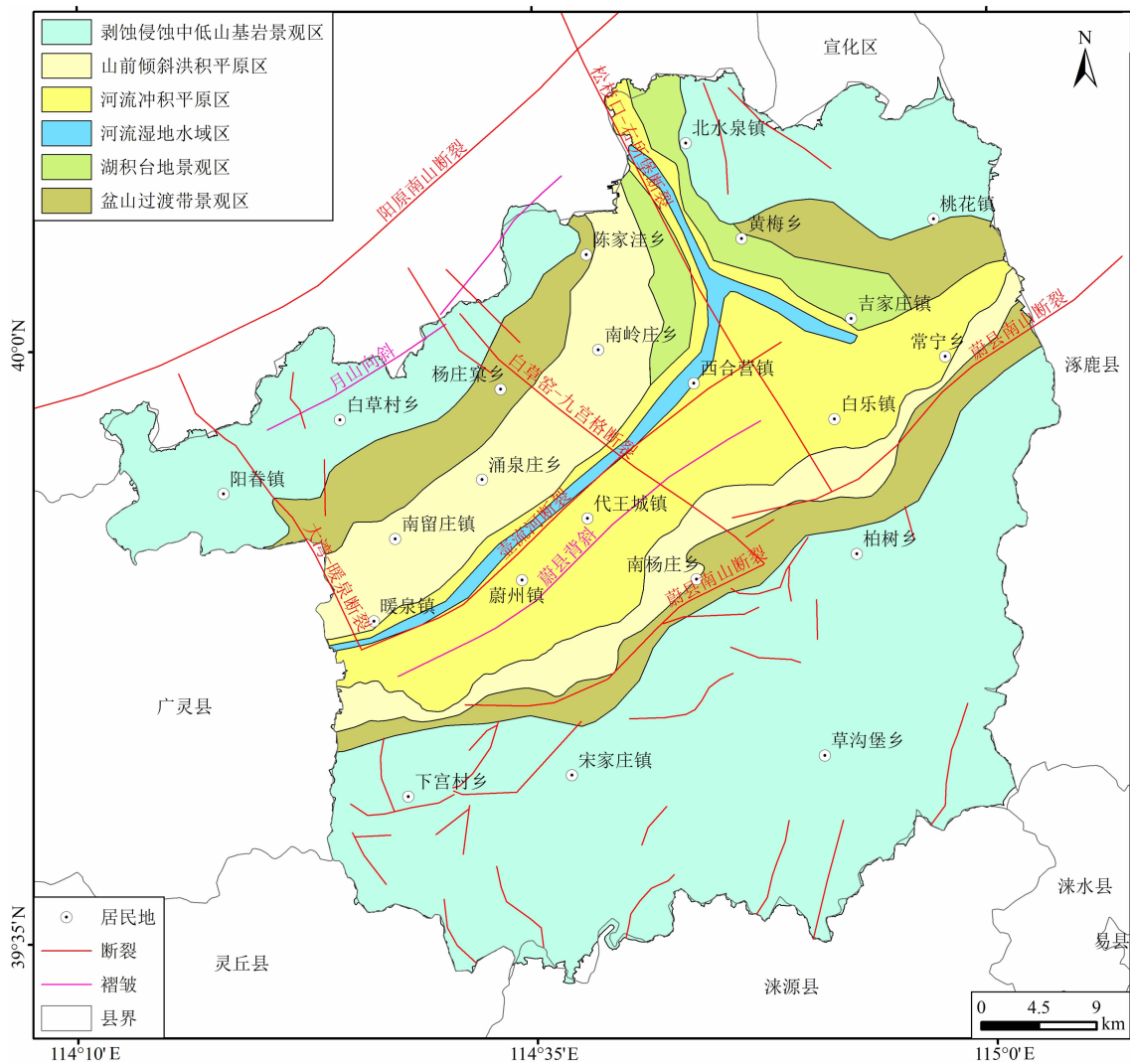


图 4 蔚县山间外流盆地景观区分布图

Fig. 4 Distribution of landscape areas in the intermountain open basin of Yuxian, China

4%、16% 及 2% ,其中,剥蚀侵蚀中低山基岩景观区的规模最大,河流湿地水域区规模最小(图 4)。

将景观单元和景观区划分结果融合叠加,获得蔚县山间外流盆地景观格局分布图(图 5),该图是景观单元-景观区-景观格局三级结构集成体现,采用编码制图^[41],11 类景观单元采用编码 01 ~ 11 表示,6 类景观区采用编码 A ~ F 表示,共同构成景观格局中 A01 ~ F10 共计 62 种景观类型(图 5),其中剥蚀侵蚀中低山基岩景观区林地景观、剥

蚀侵蚀中低山基岩景观区草地景观和河流冲积平原区耕地景观规模最大,面积分别为 794. 34 km²、652. 67 km² 和 334. 13 km²;河流湿地水域区裸地景观、剥蚀侵蚀中低山基岩景观区沟渠廊道景观和湖积台地景观区裸地景观规模最小,面积分别为 0. 053 km²、0. 034 km² 和 0. 033 km²。

从景观分布特征来看,蔚县山间外流盆地景观单元-景观区-景观格局以壶流河为对称中心,随着山地-断裂-盆地地貌梯度变化呈对称 + 镶嵌 + 渐变

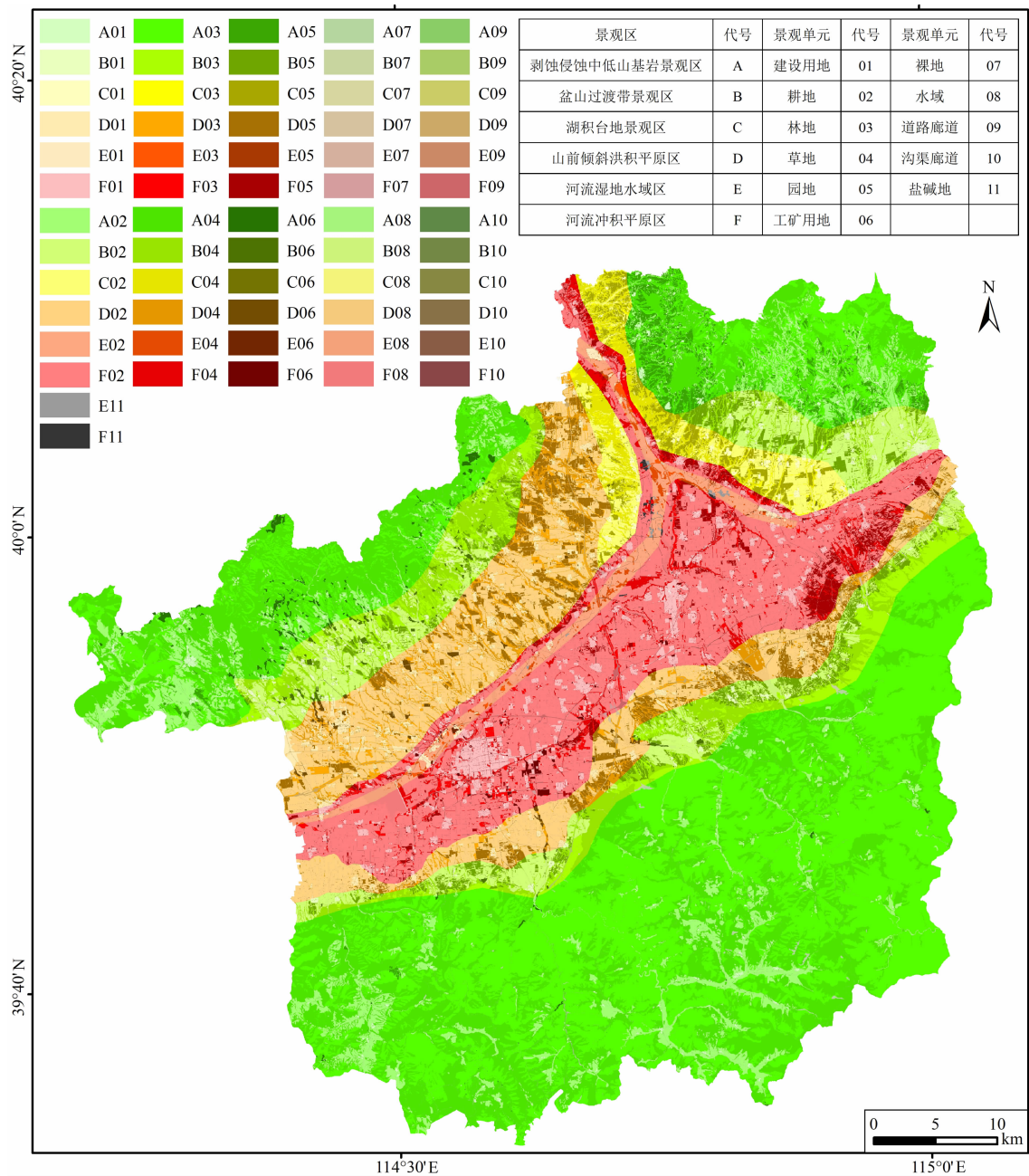


图 5 蔚县山间外流盆地景观格局景观类型分布图

Fig. 5 Landscape pattern and distribution of landscape types in the intermountain open basin of Yuxian, China

格局分布(图 3、图 4、图 5)。从山区至盆地,景观类型从剥蚀侵蚀中低山基岩景观区林地和草地景观,向盆地过渡带景观区园地和草地景观,再向山间外流盆地景观区耕地和建设用地景观过渡(山间外流盆地景观区由河流湿地水域区、河流冲积平原区及山前倾斜洪积平原区构成),这一现象揭示了山间盆地景观类型空间异质性分布,受盆山镶嵌结构下水热条件、地形地貌及构造岩相梯度递变规律控制。

3.2 景观单元稳定性分区

11 类景观单元对应的 8 种指数标准化后的结果如表 2 所示,在蔚县山间外流盆地景观格局中,耕地、林地和草地分布规模较大,为优势景观,形状复杂,景观较为破碎但是呈团聚状分布,优势景观中耕地与其他景观邻接较多,草地次之,林地最少。工矿用地、盐碱地、裸地规模较小,为劣势景观,形状简单,景观破碎度较低。沟渠和道路廊道呈网状分布,聚集度低,形状复杂,廊道(沟渠和道路)是蔚县山间外流盆地中主要物质流和信息流的传输通道。

经主成分分析后,得出的特征值和贡献率、主成分荷载矩阵及因子得分矩阵如表 3 ~ 表 5 所示,成分 1、成分 2 和成分 3 为主成分,并且主成分 1 反映了景观单元的规模,主成分 2 反映了景观单元的形状,主成分 3 反映了景观单元的分布特征。经计算,主成分 1、2 和 3 的权重依次为 0.42、0.38 和 0.20,结合主成分因子得分矩阵(表 5),获得蔚县山间外流盆地景观单元稳定性评估模型如下:

$$F = 0.04ZLPI + 0.14ZMPS + 0.05ZPD - 0.09ZED + 0.01ZLSI + 0.20ZPAFRAC + 0.17ZIJl + 0.20ZAI$$

(1)

式中, F 为景观单元稳定性分值; $ZLPI$ 、 $ZMPS$ 、 ZPD 、 ZED 、 $ZLSI$ 、 $ZPAFRAC$ 、 $ZIJl$ 和 ZAI 为指数经过极差变化法标准化后的值。

利用景观单元稳定性评估模型,计算出的蔚县山间外流盆地 11 类景观单元稳定性分值如表 6 所示,景观单元稳定性分值从高到低排名依次为:工矿用地、裸地、盐碱地、建设用地、耕地、林地、水域、园

表 2 景观表型结构指数标准化后的结果
Tab. 2 Results of standardized landscape phenotypic structure index

景观类型	$LPI/\%$	MPS/ha	$PD/(\text{个}/\text{km}^2)$	$ED/(\text{m} \cdot \text{ha}^{-1})$	LSI	$PAFRAC$	$IJI/\%$	$AI/\%$
工矿用地	0.00	0.29	0.98	0.97	0.90	1.00	0.94	0.88
裸地	0.00	0.12	0.99	0.99	0.93	0.81	0.90	0.75
盐碱地	0.00	0.31	1.00	1.00	1.00	0.81	0.36	0.86
建设用地	0.01	0.31	0.92	0.84	0.68	0.85	0.66	0.87
耕地	0.27	1.00	0.76	0.02	0.31	0.65	1.00	0.95
林地	1.00	0.96	0.77	0.36	0.55	0.68	0.08	1.00
水域	0.01	0.19	0.95	0.90	0.70	0.37	0.54	0.74
园地	0.01	0.28	0.82	0.62	0.44	0.66	0.26	0.82
草地	0.31	0.79	0.73	0.00	0.25	0.50	0.53	0.92
沟渠廊道	0.00	0.00	0.94	0.97	0.73	0.00	0.00	0.00
道路廊道	0.02	0.00	0.00	0.67	0.00	0.27	0.74	0.06

表 3 主成分分析的特征值和贡献率
Tab. 3 Characteristic value and contribution rate of principal component analysis

成分	特征值	贡献率/%	累计贡献率/%
1	3.09	38.60	38.60
2	2.74	34.25	72.85
3	1.42	17.74	90.58
4	0.43	5.33	95.92
5	0.24	2.94	98.86
6	0.06	0.70	99.56
7	0.02	0.30	99.86
8	0.01	0.14	100.00

表 4 主成分荷载矩阵
Tab. 4 Principal component load matrix

指标	主成分荷载		
	主成分 1	主成分 2	主成分 3
LPI	0.79	-0.06	-0.45
MPS	0.97	0.14	-0.11
PD	-0.15	0.84	-0.36
ED	-0.90	0.32	-0.08
LSI	-0.46	0.82	-0.27
PAFRAC	0.27	0.82	0.35
IJI	0.08	0.21	0.93
AI	0.64	0.72	0.07

表5 主成分因子得分矩阵
Tab.5 Main component factor score matrix

指标	主成分因子得分		
	主成分1	主成分2	主成分3
LPI	0.26	-0.02	-0.32
MPS	0.31	0.05	-0.08
PD	-0.05	0.31	-0.26
ED	-0.29	0.12	-0.05
LSI	-0.15	0.30	-0.19
PAFRAC	0.09	0.30	0.25
IJI	0.03	0.08	0.66
AI	0.21	0.26	0.05

地、草地、沟渠廊道及道路廊道。基于 GIS 平台获得的景观单元稳定性分区结果如图 6 所示,景观单元稳定性分为稳定、次稳定、次不稳定和不稳定 4 个级别。景观单元稳定区面积 135.37 km², 占总面积 4%; 次稳定区面积 1911.61 km², 占总面积 60%; 次不稳定区面积 1093.25 km², 占总面积 34%; 不稳定区面积 57.67 km², 占总面积 2%。各景观单元稳定

表6 各类景观单元的稳定性评价分值
Tab.6 Stability evaluation scores of various landscapes

景观单元类型	稳定性分值	排名
工矿用地	5.96	1
裸地	5.49	2
盐碱地	5.34	3
建设用地	5.11	4
耕地	4.70	5
林地	4.41	6
水域	4.38	7
园地	3.91	8
草地	3.72	9
沟渠廊道	2.65	10
道路廊道	1.75	11

性分区概况分述如表 6 所示。
(1)景观单元稳定区多分布在河流冲积平原区,景观单元类型以工矿用地、裸地、盐碱地和建设用地为主(图 6)。
(2)景观单元次稳定区多分布在河流湿地水域区、河流冲积平原区、山前倾斜洪积平原区以及南部

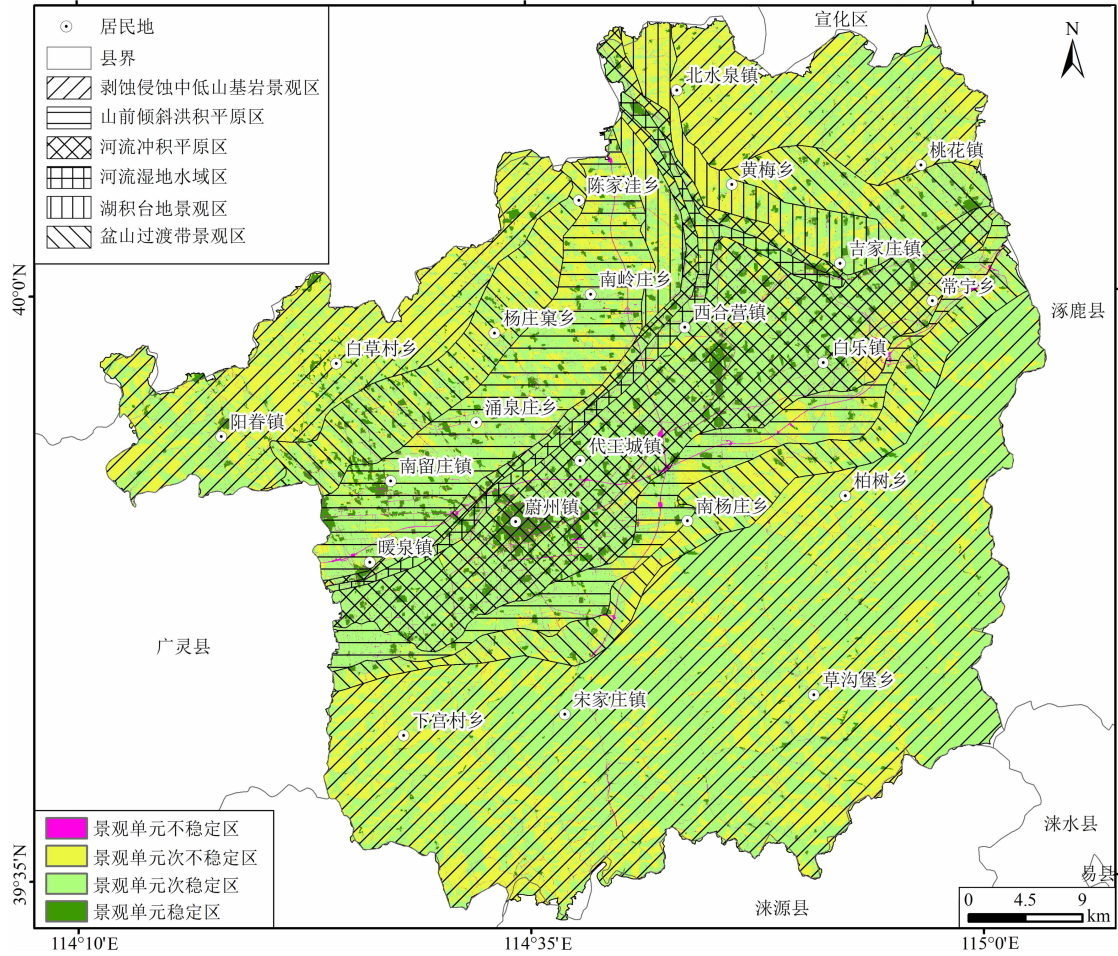


图6 蔚县山间外流盆地景观单元稳定性分区图
Fig.6 Stability zoning of landscape units in the intermountain open basin of Yuxian, China

剥蚀侵蚀中低山基岩景观区,景观单元类型以耕地、林地和水域为主(图 6)。

(3)景观单元次不稳定区多分布在剥蚀侵蚀中低山基岩景观区、盆山过渡带景观区以及山前倾斜洪积平原区,景观单元类型以园地和草地为主(图 6)。

(4)景观单元不稳定区多分布在河流冲积平原区,景观单元类型以沟渠廊道和道路廊道为主(图 6)。

3.3 景观区稳定性分区

利用断裂、地震活动性、工程岩组和高程等 7 项构造岩相学指标,通过指标分析法构建的蔚县山间外流盆地景观区稳定性评估模型如表 7 所示,评估模型中各指标权重经过一致性检验设置合理。

依据景观区稳定性评估模型,基于 GIS 平台获得蔚县山间外流盆地景观区稳定性评价结果(图 7)。

表 7 景观区稳定性构造岩相学评估模型

Tab. 7 Tectonite facies assessment model for landscape area stability

稳定级	与断裂的距离/m	历史地震震级/M	工程岩组	坡度/(°)	地形起伏/m	高程/m	与水系的距离/m	赋值
稳定	>5000	<4	坚硬碎块状岩浆岩岩组	0~10	0~10	780~900	>2500	1
次稳定	2000~5000	4~5	冲洪积物	10~25	10~35	900~1300	1000~2500	2
次不稳定	500~2000	5~6	坚硬碎块状、碎裂状碳酸盐岩岩组和软弱层状碎屑岩岩组	25~40	35~70	1300~2700	300~1000	3
不稳定	0~500	>6	黄土状土	40~75	70~185	2700~2841	0~300	4
权重	0.27	0.22	0.17	0.14	0.10	0.07	0.03	

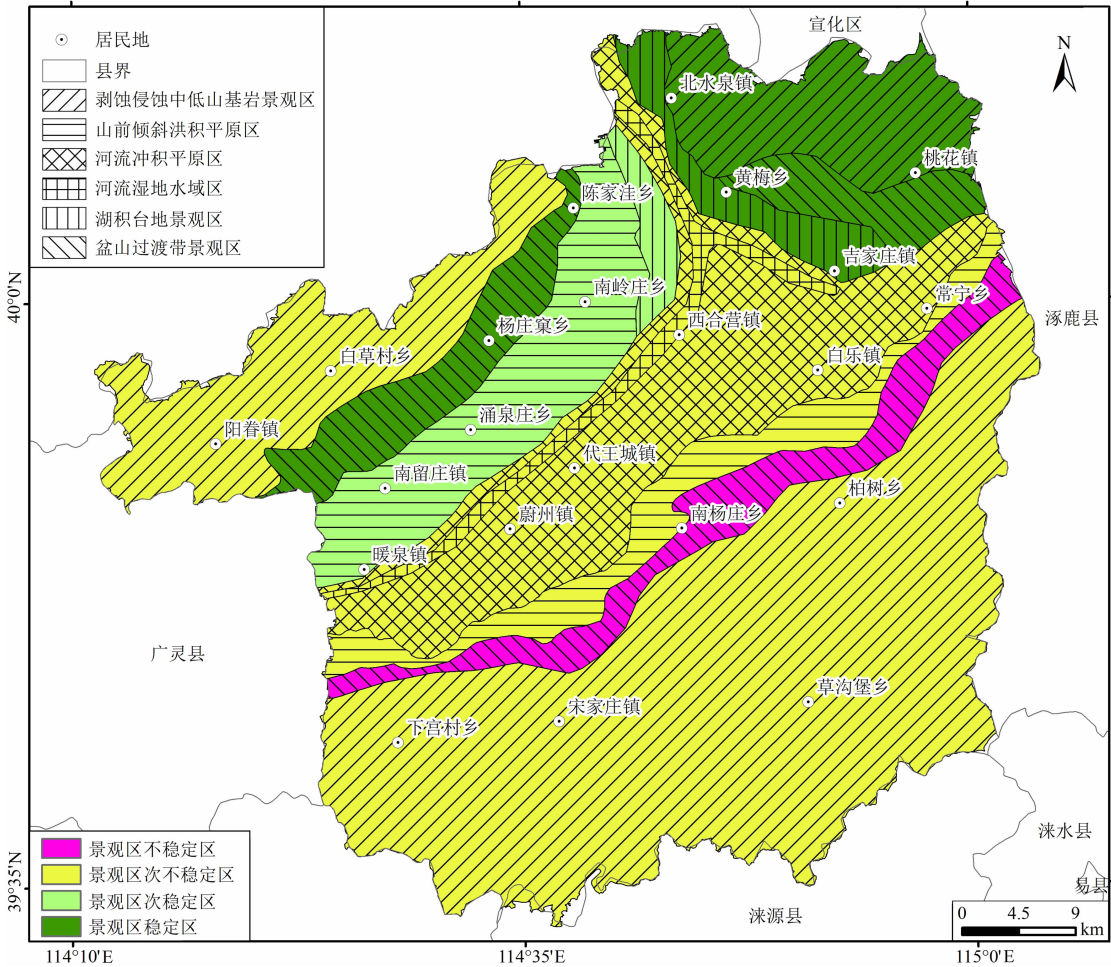


图 7 蔚县山间外流盆地景观区稳定性分区图

Fig. 7 Stability zoning map of the landscape area in the intermountain open basin of Yuxian, China

景观区稳定性同样分为稳定、次稳定、次不稳定和不稳定4个级别,其中稳定区面积507.21 km²,占总面积16%,次稳定区面积304.11 km²,占总面积10%,次不稳定区面积2223.46 km²,占总面积69%,不稳定区面积166.09 km²,占总面积5%。各景观区稳定性分区概况分述如下。

(1)北部剥蚀侵蚀中低山基岩景观区和北西部盆山过渡带景观区为景观稳定区(图7),岩土体以黄土状土和岩浆岩岩组为主,断裂和水系分布较少,历史地震分布少且震级低,海拔为900~1300 m,坡度基本<25°,地形起伏基本<35 m。

(2)北西部山前倾斜洪积平原区和湖积台地景观区为景观次稳定区(图7),土体主要为黄土状土,断裂分布较少,海拔为900~1300 m,坡度基本<10°,地形起伏基本<10 m。

(3)河流湿地水域区、河流冲积平原区、南部的

山前倾斜洪积平原区以及南部、北西部的剥蚀侵蚀中低山基岩景观区为景观次不稳定区(图7),岩土体以黄土状土、坚硬碎块状、碎裂状碳酸盐岩岩组、软弱层状碎屑岩岩组为主,断裂和水系分布较密,历史地震分布少且震级低,地形多变。

(4)南部盆山过渡带景观区为景观不稳定区(图7),岩土体以黄土状土、坚硬碎块状、碎裂状碳酸盐岩岩组、软弱层状碎屑岩岩组为主,大型控盆断裂—蔚县南山断裂分布其中,地形地貌从山地急剧下降为山前平原。

3.4 景观格局稳定性分区

将景观单元稳定性和景观区稳定性评价结果进行融合叠加,获得蔚县山间外流盆地景观格局稳定性评价结果(图8)。稳定区面积247.93 km²,占总面积8%;次稳定区面积467.44 km²,占总面积14%;次不稳定区面积1603.36 km²,占总面积

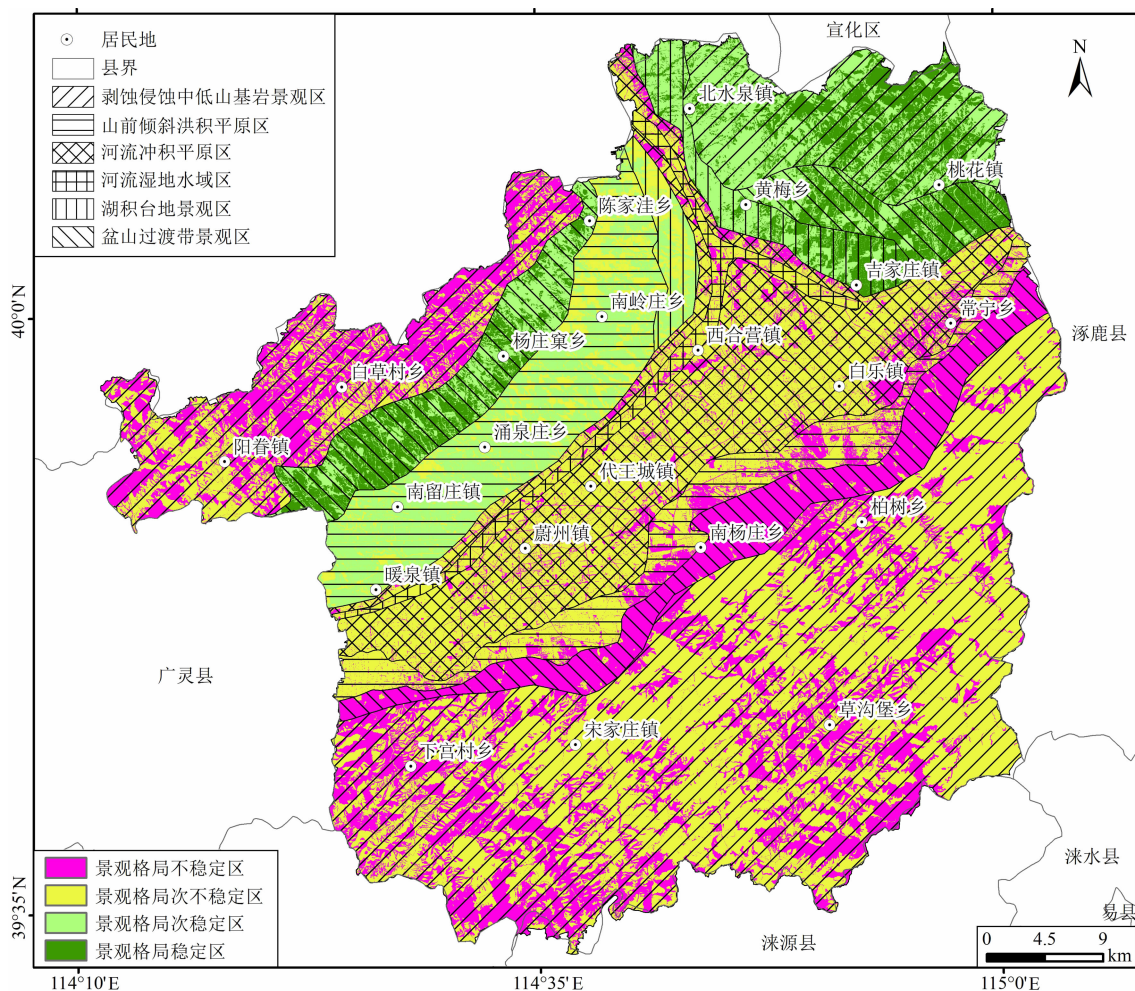


图8 蔚县山间外流盆地景观格局稳定性分区图

Fig. 8 Stability zoning of landscape pattern in the intermountain open basin of Yuxian, China

50%;不稳定区面积 880.78 km², 占总面积 28%。各景观格局稳定性分区概况分述如下。

(1) 景观格局稳定区主要分布在西北部剥蚀侵蚀中低山基岩景观区、盆山过渡带景观区、湖积台地景观区和北部盆山过渡带景观区内, 景观区整体稳定, 景观单元主要为建设用地、耕地和林地, 整体为稳定和次稳定(图6、图7、图8)。

(2) 景观格局次稳定区主要分布在西北部剥蚀侵蚀中低山基岩景观区、盆山过渡带景观区、湖积台地景观区和北部盆山过渡带景观区、山前倾斜洪积平原区、湖积台地景观区内, 景观区整体为稳定和次稳定, 景观单元主要为建设用地、工矿用地、耕地和林地, 整体为稳定和次稳定(图6、图7、图8)。

(3) 景观格局次不稳定区主要分布在河流湿地水域区、河流冲积平原区、南部山前倾斜洪积平原区以及剥蚀侵蚀中低山基岩景观区内, 景观区整体为次不稳定, 景观单元主要为耕地、林地、建设用地、工矿用地及园地, 整体为次稳定和次不稳定(图6、图7、图8)。

(4) 景观格局不稳定区主要分布在南部盆山过渡带景观区、剥蚀侵蚀中低山基岩景观区, 以及西北部剥蚀侵蚀中低山基岩景观区内, 景观区整体为不稳定和次不稳定, 景观单元主要为耕地、园地和草地, 整体为次不稳定和次稳定(图6、图7、图8)。

4 讨论

4.1 景观格局稳定性影响因素

在景观单元稳定性评估中, 评估模型指示景观单元的形状特征对景观单元稳定性的影响程度最大, 分布特征次之, 规模和破碎度特征最小。稳定性分值计算结果显示, 虽然工矿用地、裸地、盐碱地和建设用地规模小、破碎度低, 但是其形状简单、聚集度高、邻接的其他类型景观较多, 从而景观单元稳定性较高^[1,9-10]; 而耕地、林地、草地和园地虽然规模大、聚集度较高、邻接的其他类型景观多, 但其形状复杂、破碎度高, 从而景观单元稳定性表现一般^[1,38]。景观单元稳定性影响因素可概括为: 景观单元形状越简单、聚集度越高、邻接的景观类型越多、规模越大、破碎度越低, 景观单元稳定性越高。

在景观区稳定性评价结果中, 稳定区和次稳定区虽然广泛分布黄土状土, 但地形相对开阔平坦, 地

势低, 以断裂为主的构造分布少, 整体构造岩相学条件较好。但从构造岩相学成灾机制来看, 黄土状土受断裂、坡度及高差等扰动较小, 大气降雨和人类活动是触发黄土湿陷的主要因素^[42], 存在诱发地裂缝和地面塌陷地质灾害可能性。次不稳定和不稳定区分布的黄土状土、碎块状、碎裂状碳酸盐岩岩组和软弱层状碎屑岩岩组岩土体结构不稳定, 同时断裂构造分布密集, 地形相对复杂多变, 特别是南部盆山过渡带景观区中, 蔚县南山山前断裂贯穿而过, 控制盆地形成, 地形从山地急剧下降为山前平原, 整体构造岩相学条件较差。从构造岩相学成灾机制来看, 断裂活动释放应力破坏岩土体结构, 同时断裂带是地表水高下渗带^[38], 加剧岩土体侵蚀破坏, 在基岩区易沿结构面破坏形成崩塌地质灾害, 在黄土区易发生湿陷形成地裂缝和地面塌陷地质灾害。景观区稳定性影响因素可概括为: 距离断裂越远、岩土体结构越稳定、海拔越低、地形越平坦、距离水系越远, 景观区稳定性越高。

综上所述, 景观格局稳定性主要受景观生态学维度下的景观表型结构特征和地质环境维度下的构造岩相学结构特征影响。在景观格局-景观区-景观单元三级结构中, 基础级景观单元表型结构稳定性越高, 中间级景观区的环境地质条件越稳定, 则高等级景观格局稳定性越高, 中间级景观区的构造岩相学结构条件起关键作用。

4.2 建议

(1) 景观优化: 对景观单元不稳定区内的林地、草地和园地等景观, 通过绿化工程和人为修整降低其形状复杂程度和破碎度, 提高景观单元稳定性。

(2) 减灾防灾: 南部剥蚀侵蚀中低山基岩景观区、盆山过渡带景观区及西北部剥蚀侵蚀中低山基岩景观区, 易发生崩塌地质灾害, 可采用危岩清理工程进行治理; 河流湿地水域区、河流冲积平原区和南部山前倾斜洪积平原区, 易发生地裂缝和地面塌陷地质灾害, 可采用人工夯实和空腔注浆方式进行治理, 必要时进行合理避让。

(3) 空间规划: 西北部盆山过渡带景观区、山前倾斜洪积平原区及北部剥蚀侵蚀中低山基岩景观区、盆山过渡带景观区、湖积台地景观区, 可规划为公共服务用地, 开展教育产业基地、工业产业园和大型社区建设^[43]。河流冲积平原区和南部山前倾斜洪积平原区, 采取一定的工程措施后, 宜进行工程建

设。河流湿地水域区及盆山过渡带景观区,可沿河流和断裂带地区建设湿地水域生态廊道和深根系乔木生态廊道^[28]。北西部和南部剥蚀侵蚀中低山基岩景观区,为大型工程避让区,对地质灾害经过治理后,可规划为绿色生态环境涵养区。

5 结论

本文基于景观格局-景观区-景观单元三级结构划分,选取景观单元表型结构指数和景观区构造岩相学指标,通过 GIS 平台,评估了蔚县山间外流盆地景观格局稳定性,讨论了稳定性影响因素和防治规划建议。主要结论如下。

(1) 蔚县山间外流盆地高等级景观格局由剥蚀侵蚀中低山基岩景观区、盆山过渡带景观区、河流冲积平原区等 6 类中间级景观区和耕地、林地、草地等 11 类基础级景观单元构成,包含 62 种景观类型,且景观类型以壶流河为对称中心,呈对称 + 镶嵌 + 渐变格局分布。

(2) 景观单元次稳定和次不稳定区面积分别为 1911.61 km² 和 1093.25 km², 累计占总面积的 94%, 主要由耕地、林地、草地、园地和水域构成。景观区次不稳定区面积为 2223.46 km², 占总面积的 69%, 主要分布在河流湿地水域区、河流冲积平原区和剥蚀侵蚀中低山基岩景观区中。景观格局次不稳定和不稳定区面积为 1603.36 km² 和 880.78 km², 累计占总面积的 78%, 具有景观区环境地质条件较差, 景观单元表型结构稳定性差特点。

(3) 景观单元形状越简单、聚集度越高、邻接的景观类型越多、规模越大、破碎度越低, 景观区距离断裂和水系越远、岩土体结构越稳定、海拔越低、地形越平坦, 景观格局越稳定。在河流湿地水域区和盆山过渡带景观区建设湿地水域生态廊道和深根系乔木生态廊道, 有利于提高景观格局稳定性。

参考文献 (References)

- [1] 周江. 蔚县盆地地热成因分析[J]. 煤炭科技, 2019, **40**(5): 6-10. [ZHOU Jiang. Analysis on geothermal genesis of Yuxian Basin [J]. Coal Science and Technology Magazine, 2019, **40**(5): 6-10] DOI: 10.19896/j.cnki.mtkj.2019.05.002
- [2] 李泓泉, 张树胜, 谢明忠, 等. 冀西北蔚县盆地地热资源赋存特征及勘查开发方向[J]. 地质论评, 2020, **66**(4): 919-932. [LI Hongquan, ZHANG Shusheng, XIE Mingzhong, et al. The occurrence characteristics and exploration and development direction of geothermal resources in Yuxian Basin, northwest Hebei province [J]. Geological Review, 2020, **66**(4): 919-932] DOI: 10.16509/j.georeview.2020.04.010
- [3] 方维萱. 论沉积盆地内成岩相系划分及类型[J]. 地质通报, 2020, **39**(11): 1692-1714. [FANG Weixuan. Classification and types of diagenetic lithofacies system in the sedimentary basin [J]. Geological Bulletin of China, 2020, **39**(11): 1692-1714]
- [4] 秦帮策, 方维萱, 张建国, 等. 基于景观单元稳定性的晋中盆地北部区域地壳稳定性评价[J]. 山地学报, 2022, **40**(2): 165-182. [QIN Bangce, FANG Weixuan, ZHANG Jianguo, et al. Crustal stability in northern Jinzhong Basin of China based on the stability of landscape units [J]. Mountain Research, 2022, **40**(2): 165-182] DOI: 10.16089/j.cnki.1008-2786.000663
- [5] 肖笃宁, 李秀珍, 高峻, 等. 景观生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 1-35. [XIAO Duning, LI Xiuzhen, GAO Jun, et al. Landscape ecology [M]. Beijing: Science Publishing, 2003: 1-35]
- [6] VAN LANGEVELDE F. Modelling the negative effects of landscape fragmentation on habitat selection [J]. Ecological Informatics, 2015, **30**: 271-276. DOI: 10.1016/j.ecoinf.2015.08.008
- [7] FILGUEIRAS B K C, TABARELLI M, LEAL I R, et al. Dung beetle persistence in human-modified landscapes: Combining indicator species with anthropogenic land use and fragmentation-related effects [J]. Ecological Indicators, 2015, **55**: 65-73. DOI: 10.1016/j.ecolind.2015.02.032
- [8] FORMAN R T T, GODRON M. Landscape ecology [M]. New York: New York John Wiley & Sons, 1986: 1-38.
- [9] MACARTHUR R. Fluctuations of animal populations and a measure of community stability [J]. Ecology, 1955, **36**(3): 533-536. DOI: 10.2307/1929601
- [10] HOLLING C S. Resilience and stability of ecological systems [J]. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics, 1973, **4**(1): 1-23. DOI: 10.1146/annurev.es.04.110173.000245
- [11] SENHAUSER E B. The concept of stability in connection with the gallery forests of the Chaco region [J]. Vegetation, 1991, **94**(1): 1-13. DOI: 10.1007/BF00044911
- [12] GRIMM V, WISSEL C. Babel, or the ecological stability discussions: An inventory and analysis of terminology and a guide for avoiding confusion [J]. Oecologia, 1997, **109**: 323-334. DOI: 10.1007/s004420050090
- [13] 刘宽梅. 祁连山自然保护区景观格局变化及其稳定性研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2021: 1-35. [LIU Kuanmei. Study on the change and stability of landscape pattern in Qilian Mountain Nature Reserve [D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2021: 1-35]
- [14] 徐秋阳, 王巍巍, 莫耀. 京津冀地区景观稳定性评价[J]. 生态学报, 2018, **38**(12): 4226-4233. [XU Qiuyang, WANG Weiwei, MO Li. Evaluation of landscape stability in Beijing-

- Tianjin-Hebei region [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, **38**(12): 4226–4233] DOI: 10.5846/stxb20181110087
- [15] GOBATTONI F, LAURO G, MONACO R, et al. Mathematical models in landscape ecology: Stability analysis and numerical tests [J]. *Acta Appl Math*, 2013, **125**: 173–192. DOI: 10.1007/s10440-012-9786-z
- [16] TIHNAN D, REICH P B, KNOPS J, et al. Diversity and productivity in a long-term grassland experiment [J]. *Science*, 2001, **294**: 843–845. DOI: 10.1126/science.1060391
- [17] 张欣, 王志杰. 黔中喀斯特山地城市景观稳定性评价与特征分析[J]. *生态学报*, 2022, **42**(13): 5243–5254. [ZHANG Xin, WANG Zhijie. Evaluation and characteristic analysis of urban landscape stability in karst mountainous cities in the central Guizhou province [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2022, **42**(13): 5243–5254] DOI: 10.5846/stxb202105201324
- [18] 张忠辉, 杨雨春, 谢朋, 等. 松原市近 20 年土地利用景观格局动态变化[J]. *中国农学通报*, 2014, **30**(2): 222–226. [ZHANG Zhonghui, YANG Yuchun, XIE Peng, et al. Dynamic variation of landscape pattern of land use in Songyuan city in nearly 20 years [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2014, **30**(2): 222–226]
- [19] 吕思彤, 曹萍麟, 舒清态, 等. 高寒山区森林景观稳定性评价模型分析—以碧塔海保护区为例[J]. *山东林业科技*, 2015, **45**(2): 31–35. [LYU Sitong, CAO Pinglin, SHU Qingtai, et al. Analysis and evaluation of forest landscape stability of natural reserve in Bitahai [J]. *Shandong Forestry Science and Technology*, 2015, **45**(2): 31–35] DOI: 10.3969/j.issn.1002-2724.2015.02.008
- [20] 梁艳艳, 周年兴, 谢慧玮, 等. 庐山森林景观格局变化的长期动态模拟[J]. *生态学报*, 2013, **33**(24): 7807–7818. [LIANG Yanyan, ZHOU Nianxing, XIE Huiwei, et al. Long-term dynamic simulation on forest landscape pattern changes in Mount Lushan [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, **33**(24): 7807–7818] DOI: 10.5846/stxb201302270320
- [21] 李月辉, 吴文, 李娜娜, 等. 森林所有制对景观格局和动物生境的影响研究进展[J]. *应用生态学报*, 2013, **24**(7): 2056–2062. [LI Yuehui, WU Wen, LI Nana, et al. Effects of forest ownership regime on landscape pattern and animal habitat: A review [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2013, **24**(7): 2056–2062] DOI: 10.13287/j.1001-9332.2013.0403
- [22] 王旭丽, 刘学录. 基于 RS 的祁连山东段山地景观稳定性分析[J]. *遥感技术与应用*, 2009, **24**(5): 665–669. [WANG Xuli, LIU Xuelu. Analysis on the stability of eastern Qilian mountainous landscape based on RS [J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2009, **24**(5): 665–669]
- [23] 刘吉平, 马长迪. 1985—2015 年向海沼泽湿地斑块稳定性的空间变化[J]. *生态学报*, 2017, **37**(4): 1261–1269. [LIU Jiping, MA Changdi. The spatial variation in the patch stability of marshes in Xianghai between 1985 and 2015 [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, **37**(4): 1261–1269] DOI: 10.5846/stxb201606301329
- [24] 罗格平, 周成虎, 陈曦. 干旱区绿洲景观斑块稳定性研究: 以三工河流域为例[J]. *科学通报*, 2006, **51**(S1): 73–80. [LUO Geping, ZHOU Chenghu, CHEN Xi. Research on the stability of oasis landscape patches in arid areas: Taking the Sangong River basin as an example [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2006, **51**(S1): 73–80] DOI: 10.3321/j.issn:0023-074X.2006.z1.012
- [25] 焦全军, 张兵, 赵晶晶, 等. 基于航空高光谱影像的青海省玛多县高寒草原景观格局特征分析[J]. *草业学报*, 2012, **21**(2): 43–50. [JIAO Quanjun, ZHANG Bing, ZHAO Jingjing, et al. Landscape pattern analysis of alpine steppe based on airborne hyperspectral imagery in Maduo county, Qinghai province [J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2012, **21**(2): 43–50]
- [26] 陆晴, 刘丽娟, 王玉刚, 等. 新疆三工河流域农业绿洲近 30 年景观格局变化及其驱动力[J]. *生态学杂志*, 2013, **32**(3): 748–754. [LU Qing, LIU Lijuan, WANG Yugang, et al. Landscape pattern change and its driving forces in agricultural oasis of Sangong River basin in Xinjiang, Northwest China in recent 30 years [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2013, **32**(3): 748–754] DOI: 10.13292/j.1000-4890.2013.0098
- [27] 张欣, 王志杰. 黔中喀斯特山地城市景观稳定性评价与特征分析[J]. *生态学报*, 2022, **42**(13): 5243–5254. [ZHANG Xin, WANG Zhijie. Evaluation and characteristic analysis of urban landscape stability in karst mountainous cities in the central Guizhou province [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2022, **42**(13): 5243–5254] DOI: 10.5846/stxb202105201324
- [28] CUI Lu, ZHAO Yonghua, LIU Jianchao, et al. Landscape ecological risk assessment in Qinling Mountain [J]. *Geological Journal*, 2018, **30**: 1–10. DOI: 10.1002/gj.3115
- [29] 田雪, 吴建召, 杨鸿飞, 等. 汶川地震灾区典型小流域景观格局的演变特征——以龙溪河流域为例[J]. *应用与环境生物学报*, 2023, **29**(2): 449–459. [TIAN Xue, WU Jianzhao, YANG Hongfei, et al. Landscape pattern evolution characteristics of a typical small watershed in an earthquake disaster area—a case study in the Longxi River Basin [J]. *Chinese Journal of Applied Environment Biology*, 2023, **29**(2): 449–459] DOI: 10.19675/j.cnki.1006-687x.2021.11009
- [30] ZARATE M, KEMP R, TOMS P. Late Quaternary landscape reconstruction and geochronology in the northern Pampas of Buenos Aires province, Argentina [J]. *Journal of South American Earth Sciences*, 2009, **27**(1): 88–99. DOI: 10.1016/j.jsames.2008.10.001
- [31] LI Shengnan, WANG Genxu, DENG Wei, et al. Influence of hydrology process on wetland landscape pattern: A case study in the Yellow River Delta [J]. *Ecological Engineering*, 2009, **35**(12): 1719–1726. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2009.07.009
- [32] 秦帮策, 方维萱, 张建国, 等. 汾河裂谷晋中盆地内第四纪沉

- 积序列与沉积环境恢复[J]. 地质力学学报, 2021, **27**(6): 1035–1050. [QIN Bangce, FANG Weixuan, ZHANG Jianguo, et al. Quaternary sedimentary sequence and sedimentary environment restoration in the Jinzhong Basin, Fenhe Rift Valley [J]. Journal of Geomechanics, 2021, **27**(6): 1035–1050] DOI: 10.12090/j.issn.1006-6616.2021.27.06.084
- [33] ZASLAVSKY D, ROGOWSKI A S. Hydrologic and morphologic implications of anisotropy and infiltration in soil profile development [J]. Soil Science Society of America Journal, 1969, **33**(4): 594–599. DOI: 10.2136/sssaj1969.03615995003300040031x
- [34] 宋晓英, 李文娟, 傅学庆, 等. 基于 GIS 的蔚县地名文化景观分析[J]. 干旱区资源与环境, 2015, **29**(12): 63–68. [SONG Xiaoying, LI Wenjuan, FU Xueqing, et al. The analysis of place name cultural landscape based on the database design for rural settlement place name [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2015, **29**(12): 63–68] DOI: 10.13448/j.cnki.jalre.2015.401
- [35] 刘丹书, 胡雪松. 河北蔚县多堡聚落空间形态及其保护策略研究[J]. 自然与文化遗产研究, 2020, **5**(2): 113–124. [LIU Danshu, HU Xuesong. Study on spatial form and protection strategy of fort settlements in Yu county, Hebei province [J]. Study on Natural and Cultural Heritage, 2020, **5**(2): 113–124] DOI: 10.19490/j.cnki.issn2096-698X.2020.02.113-124
- [36] 方维萱. 论沉积盆地构造岩相变形史研究方法及应用[J]. 地质力学学报, 2022, **28**(1): 1–21. [FANG Weixuan. On research methodology for deformation history of tectonic lithofacies in sedimentary basin and their application [J]. Journal of Geomechanics, 2022, **28**(1): 1–21] DOI: 10.12090/j.issn.1006-6616.20222801
- [37] 方维萱. 论热水沉积岩相及其构造古地理[J]. 古地理学报, 2023, **25**(3): 525–553. [FANG Weixuan. Hydrothermal sedimentary lithofacies and their tectono-palaeogeography [J]. Journal of Palaeogeography, 2023, **25**(3): 525–553] DOI: 10.7605/gdxb.2023.03.035
- [38] 秦帮策. 典型山间盆地景观格局与地质灾害耦合结构研究——以晋中盆地和个旧盆地为例[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2021: 13–19. [QIN Bangce. Research on the coupling structure of landscape patterns and geological hazards in typical mountain basin; Taking the Jinzhong Basin and Gejiu Basin as examples [D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 2021: 13–19] DOI: 10.27200/d.cnki.gkmlu.2021.002224
- [39] UUEMAA E, MANDER U, MARJA R. Trends in the use of landscape spatial metrics as landscape indicators; A review [J]. Ecological Indicators, 2013, **28**: 100–106. DOI: 10.1016/j.ecolind.2012.07.018
- [40] ZHANG Ce, ATKINSON P M. Novel shape indices for vector landscape pattern analysis [J]. International Journal of Geographical Information Science, 2016, **27**: 1–20. DOI: 10.1080/13658816.2016.1179313
- [41] 师庆东, 王智, 贺龙梅, 等. 基于气候、地貌、生态系统的景观分类体系——以新疆地区为例[J]. 生态学报, 2014, **34**(12): 3359–3367. [SHI Qingdong, WANG Zhi, HE Longmei, et al. Landscape classification system based on climate, landform, ecosystem; A case study of Xinjiang area [J]. Acta Ecologica Sinica, 2014, **34**(12): 3359–3367] DOI: 10.5846/stxb201309302401
- [42] 刘弋博, 陈慧娥, 许晓慧, 等. 非饱和增湿条件下典型黄土湿陷性研究[J]. 工程地质学报, 2020, **28**(5): 973–981. [LIU Yibo, CHEN Huie, XU Xiaohui, et al. Laboratory study on collapsibility of typical loess under unsaturated humidified conditions [J]. Journal of Engineering Geology, 2020, **28**(5): 973–981] DOI: 10.13544/j.cnki.jeg.2020-357
- [43] 肖文进, 张建国, 朱继良, 等. 基于 GIS 平台的太原南部区域地壳稳定性评价[J]. 矿产勘查, 2021, **12**(7): 1655–1661. [XIAO Wenjin, ZHANG Jianguo, ZHU Jiliang, et al. Evaluation of crustal stability in southern Taiyuan based on GIS platform [J]. Mineral Exploration, 2021, **12**(7): 1655–1661]

Landscape Pattern Stability of the Intermountain Open Basin in Yuxian County of China

QIN Bangce^{1,2}, FANG Weixuan², XING Zailiang^{1*}, REN Jianshuai¹, ZHANG Xinsheng¹

(1. The Fourth Geological Team, Hebei Coalfield Geological Bureau, Zhangjiakou 075100, Hebei, China;

2. Innovation Laboratory of Mine, Environment and Mineral, China Non-Ferrous Metals Resource Geological Survey, Beijing 100012, China)

Abstract: Intermountain exorheic basin in Yuxian county (abbreviated as the Yuxian basin), Hebei, China lied in the ecological conservation area of the Yanshan Mountains-the Taihang Mountains. With continue construction of

tourism infrastructure and accelerated urbanization in the basin, regional landscape pattern has been altered, leading to an increasingly tense relationship between humans and the land. It is of great significance to study the stability of landscape pattern in the Yuxian basin for a regional balanced development.

Earlier economic exploitation in the basin primarily cared about the spatial organization and conservation of historical and cultural landscapes. Little attention was paid to the landscape pattern stability in relation to land categorizations and geo-environment matrix, consequently lacking of practical reference significance.

In this paper, a 3-level deconstruction of the landscape pattern of the Yuxian basin was carried out based on land use type characteristics and tectonic petrographic features; phenotypic structure index of landscape units and tectonic petrography index of landscape zones were selected to assess the stability of landscape units and landscape zones, respectively, based on GIS platform; it discussed the stability of landscape patterns and factors affecting them under the coupled structure of landscape units and landscape zones, and made recommendations for prevention and control planning.

It found that (1) the landscape pattern of the Yuxian basin was organized by coupling landscape units with landscape zones, which contained 62 landscape types, consisting of 11 types of landscape units such as cropland, woodland, grassland, etc., and 6 types of landscape zones such as low mountain zones in eroded bedrock areas and landscape zones in the transition area of basin-mountain, etc. The overall layout of the basin landscape exhibited gradual mosaic with the Jueliu River as its symmetrical center. (2) The sub-stable and sub-unstable areas of the landscape unit covered an area of 1911.61 km² and 1093.25 km², respectively, cumulatively accounting for 94% of the total area; the sub-stable area of the landscape area was 2223.46 km², which was 69% of the total area; the sub-unstable and unstable landscape patterns occupied 1603.36 km² and 880.78 km², respectively, cumulatively representing 78% of the aggregate area. (3) The stability of the landscape pattern was comprehensively affected by the phenotypic structure of landscape unit and environmental and geological conditions. Elementary landscape units were simple in shape, clustered in distribution, and large in scale; Middle-level landscape zones were far away from faults, with low seismicity, stable geo-structure and favorite terrain, which built a stable high-level landscape pattern.

This research can provide scientific references for spatial planning and landscape optimization for the Yuxian basin.

Key words: intermountain exorheic basin; hierarchical deconstruction; tectonic petrography; landscape pattern; stability

(责任编辑 李嵘)