

基于 GIS 的雅鲁藏布大峡谷景观格局与生态敏感性分析

李江荣^{1,2} 卢杰^{1,2} 郑维列^{1,2} 陈甲瑞^{1,2} 杨文凤³ 牛腾^{1,4}

(1. 西藏农牧学院高原生态研究所, 林芝 860000; 2. 西藏高原森林生态教育部重点实验室, 林芝 860000;
3. 西藏农牧学院资源与环境学院, 林芝 860000; 4. 北京林业大学林学院, 北京 100083)

摘要: 针对近期高寒山区生态景观急剧变化、严重影响生态敏感性的问题,为了更好地评价和分析这种变化带来的一系列生态现象,选取大峡谷为研究区,利用面向对象的分类方法确定景观类型,以多样性指数、优势度指数、均匀度指数和聚合度指数等作为指标,对研究区的生态敏感性进行评价和分析。采用面向对象的分类方法最终得到 10 类景观类型的斑块共 1 761 个,其中林地景观和草地景观的面积占比最大,分别为 48.84% 和 22.68%,冰雪/冰川景观的占比为 17.39%。从景观指数来看,研究区景观多样性指数为 1.374,优势度指数为 0.982,均匀度指数为 0.597,聚合度指数为 97.374。可以看出,大峡谷研究区拥有较高的多样性,单一景观优势度相对较低,不同景观空间分配情况更好,总体上该区域景观以原始森林、高山草甸和冰川为主,人类活动干扰较小,并主要集中在河谷地带农田和草地的转换中。综合 6 类影响因子对大峡谷研究区生态敏感性进行加权分析,生态敏感性主要集中在中度和高度敏感区域,占比合计 95.71%。中度敏感区域集中分布于河谷周边低海拔、低坡度区域,以水域、草地、灌木林为主;高度敏感区域集中分布于山地高海拔区域,以林地景观、冰雪/冰川景观为主。

关键词: 雅鲁藏布大峡谷; 景观格局; 景观格局指数; 面向对象分类; 生态敏感性

中图分类号: X171.1 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2021)05-0195-09

OSID:



Analysis of Landscape Pattern and Ecological Sensitivity of Yarlung Zangbo Grand Canyon Based on GIS

LI Jiangrong^{1,2} LU Jie^{1,2} ZHENG Weilie^{1,2} CHEN Jiarui^{1,2} YANG Wenfeng³ NIU Teng^{1,4}

(1. Institute of Tibet Plateau Ecology, Tibet Agriculture and Animal Husbandry University, Nyingchi 860000, China

2. Key Laboratory of Forest Ecology in Tibet Plateau, Ministry of Education, Nyingchi 860000, China

3. College of Resources and Environment, Tibet Agriculture and Animal Husbandry College, Nyingchi 860000, China

4. College of Forestry, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: Due to human over-exploitation and utilization in recent years, the landscape types of Tibet's alpine mountains have been severely damaged. The landscape pattern index can effectively evaluate the evolution of landscape types on the time scale. Therefore, an object-oriented classification method was used to determine landscape types, and the diversity index, dominance index, uniformity index and aggregation index were selected as indicators to evaluate and analyze the ecological sensitivity of the study area. The grand canyon was selected as the study area, and the object-oriented classification method was used to algorithmically classify the Tibetan artificial disturbance zone. Finally, a total of 1 761 patches of ten types of landscapes were obtained, of which the woodland landscape and grassland landscape with the largest areas, respectively were 48.84% and 22.68%, and the proportion of snow/glacier landscape was 17.39%. From the landscape index, the landscape diversity index in the study area was 1.374, the dominance index 0.982, the evenness index 0.597, and the polymerization index 97.374. The grand canyon research area had high diversity, the single landscape had a relatively low dominance, and the distribution of different landscape spaces was better. In general, the landscape in this area was dominated by virgin forests, alpine meadows and glaciers, with less disturbance of human activities, and was mainly concentrated in the conversion of farmland and grasslands in the valley. Based on the weighted analysis of

收稿日期: 2020-07-27 修回日期: 2020-09-02

基金项目: 科技部西藏林芝高山森林生态系统国家野外西藏农牧学院科学观测研究站运行补助项目(2015—2020)

作者简介: 李江荣(1984—),男,副教授,博士生,主要从事森林生态学研究,E-mail: ljrong06@xza.edu.cn

通信作者: 郑维列(1963—),男,教授,博士生导师,主要从事高原生态学与植物学研究,E-mail: zhengweilie@xza.edu.cn

the ecological sensitivity of the grand canyon study area, the six types of impact factors were combined. The ecological sensitivity was mainly concentrated in moderate and highly sensitive areas, with a total of 95.71%. Moderately sensitive areas were concentrated in low-altitude and low-slope areas around river valleys, and the land was mainly waters, grasslands and shrubs. Highly sensitive areas were concentrated in high-altitude areas of the mountains, with steep slopes. The landscape was dominated by woodland landscapes and glaciers/ice landscapes.

Key words: Yarlung Zangbo grand canyon; landscape pattern; landscape pattern index; object-oriented classification; ecological sensitivity

0 引言

西藏高寒山区是青藏高原自然生态系统的主体,由于海拔高、干旱、寒冷等特点,该地区自然属性十分脆弱^[1]。作为全球中低纬度地区海拔最高、面积最大的多年冻土分布区,青藏高原被称为世界“第三极”,其热力和动力作用将对区域气候和全球环境产生重要影响^[2]。同时,西藏是我国重要的生态功能调节区、气候变化敏感区和生物多样性高度集中区,其生态战略地位极为重要^[3-4]。近年来,随着人类活动和旅游开发建设的推进,导致景观斑块破碎化、生态功能日益下降。因此,亟需对西藏重点生态建设区进行相关研究。

景观格局是景观异质性的具体体现,是大小不同、形状各异、功能不一的景观组分斑块在空间上参差分布的结果^[5-6]。景观生态学重点关注景观格局与生态过程的相互作用,随着地理空间信息技术的发展,ArcGIS 与 Fragstats 综合运用方法已逐渐成熟,景观指数成为景观格局数量分析的一种主要手段,它可以高度概括量化景观结构、空间配置等格局特征信息,是景观生态状况的集中体现^[7-8]。目前,相关研究主要用到景观格局指数中的斑块密度、平均形状指数、聚集度指数、蔓延度指数、香农多样性指数等^[9-10]。生态敏感性是指在不损失或不降低环境质量的情况下,生态因子对外界压力或变化的适应能力^[11]。深入分析和评价区域生态敏感性、了解其空间分布状况,可为生态环境治理和相关区域政策的制定提供科学依据。生态敏感性分析评价已广泛应用于土地生态敏感性评价、自然保护区的生态敏感性评价、湿地保护开发利用规划、城市生态敏感性分析、景区生态规划等生态环境研究领域^[12]。将景观格局指数应用于生态敏感性的分析中,可有效解释人类活动导致的景观斑块变化对生态系统和环境的影响^[13]。

本文选取近年来旅游开发明显的林芝市大峡谷地区作为研究区,利用面向对象多尺度分类算法,对研究区内景观类型进行精细化分类,在此基础上,利用 Fragstats 软件计算该地区的景观格局指数,并对

研究区进行景观格局空间分析。分别选取自然要素和人为要素共 6 种敏感性因子,通过专家评价法加权划分出重点敏感区,对重点敏感区内景观类型及景观格局指数进行分析,从斑块的角度解释不同景观生态敏感性的变化规律。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

大峡谷核心区位于林芝市米林县派镇(东经 94°52',北纬 29°30',海拔 2 980 m),距林芝市市区约 130 km(图 1)。以派镇派村为入口,沿江北上约 20 km 至直白村为终点。雅鲁藏布大峡谷旅游区南以高尤拉与丹巴江北部分水岭为界,北抵纳雍嘎簸雪山、帕龙藏布江与嘎日嘎布山脉主脊,西至东喜马拉雅山脉主脊线、白努巴和则巴弄巴西侧分水岭,东达更日嘎布主峰。总面积达 916 800 hm²。



图 1 大峡谷位置示意图

Fig. 1 Location map of grand canyon

1.2 数据来源与处理

生态敏感性分析所用数据主要来源于统计、遥感和规划 3 类。统计类数据包括林芝市统计年鉴(2012—2015 年)、林芝市旅游统计年鉴(2012—2015 年)、中华人民共和国植被图集等;遥感类数据包括:大峡谷 Landsat - TM 影像数据,获取时间为 2015 年 4 月 20 日,并参考 2014 年 12 月 29 日和 2008 年 11 月 10 日的 Landsat - TM 数据,以及研究区 DEM 数据等;规划类数据包括:林芝市行政区划

图、西藏植被区划图、大峡谷规划图等。

采用面向对象分类的技术,引入非影像光谱信息强化目标的识别能力,特别是空间关系信息的判别,技术流程主要包括分类系统的建立、解译标识库建立、影像预处理、尺度分割、层次分类、数据质量检查与验证等步骤。野外考察工作是解译人员积累先验知识的重要途径,通过考察可掌握各类土地覆被类型的空间分布区域、形状、大小等特征及其与周边地物之间的联系,通过野外考察有助于建立验证点数据库,验证解译分类结果。

1.3 基于面向对象的分类方法

面向对象多尺度分割算法综合考虑遥感影像的纹理、形状、紧实度以及光谱信息,通过多次递归判断合并前后斑块的多特征加权准则指标值来合并分割斑块,使“分割斑块内的一致性达到最大,分割斑块与相邻斑块之间的异质性达到最大”^[14]。与邻域绝对均值差分方差比(Ratio of mean difference to neighbors to standard deviation,RMAS)既能反映斑块对象内部“均质”,又能反映与邻域斑块之间的外部“异质”^[15]。

(1) 基本原理

面向对象多尺度分割算法的基本原理为:首先,仅利用色调信息进行多种子点区域生长,然后以光谱、形状及纹理等多特征加权准则为区域生长算法分割后合并的指数指标,将分割斑块逐步合并,进行多尺度分割,提取大尺度分割对象多边形的节点,建立 Vorior 图,并提取泰森多边形与 Vorior 图的交点,依次循环,直到满足停止生长条件,停止生长^[16-17]。

分割尺度 F 直接影响通过面向对象分割算法分割生成的分割对象的大小,它决定了分割对象所允许的最大限度,主要由光谱异质性 H_{colour} 和形状异质性 H_{shape} 及纹理参数 $H_{texture}$ 共同决定^[18]。

(2) 分割尺度选择

分割斑块对象的标准差代表了种内同质性,分割斑块对象与邻域均值差分绝对值表示分割对象与邻近分割斑块对象的异质性,以“种内同质性最大、类间异质性最大”的原则为依据,通过最优分割尺度选择方法,定量选择最优分割尺度^[19]。本文根据不同地物不同波段分割对象与邻域绝对均值差分值标准差标准化的方法,计算不同分割尺度对应的 RMAS。

(3) 影像分类

在充分利用高分辨率遥感影像空间及光谱特征信息基础上,采用面向对象多尺度分割 (Multiresolution segmentation) 算法分割影像^[20]。通过 RMAS 指数选取特定地物的最优分割尺度,结合加权对象匹配度指数 (ASFI) 确定适合整个研究区域的最适分割尺度,并以棋盘分割法 (Chessboard segmentation) 为最适分割尺度的补充分割策略,使得对遥感影像分割后的影像达到最佳分割效果,实现“种内异质性最小、种间异质性最大”的目的,进而建立地物提取参数规则集,如光谱、纹理、拓扑以及分割对象的形状、面积、大小等信息参数,对研究区进行分类。

具体分类流程如图 2 所示。

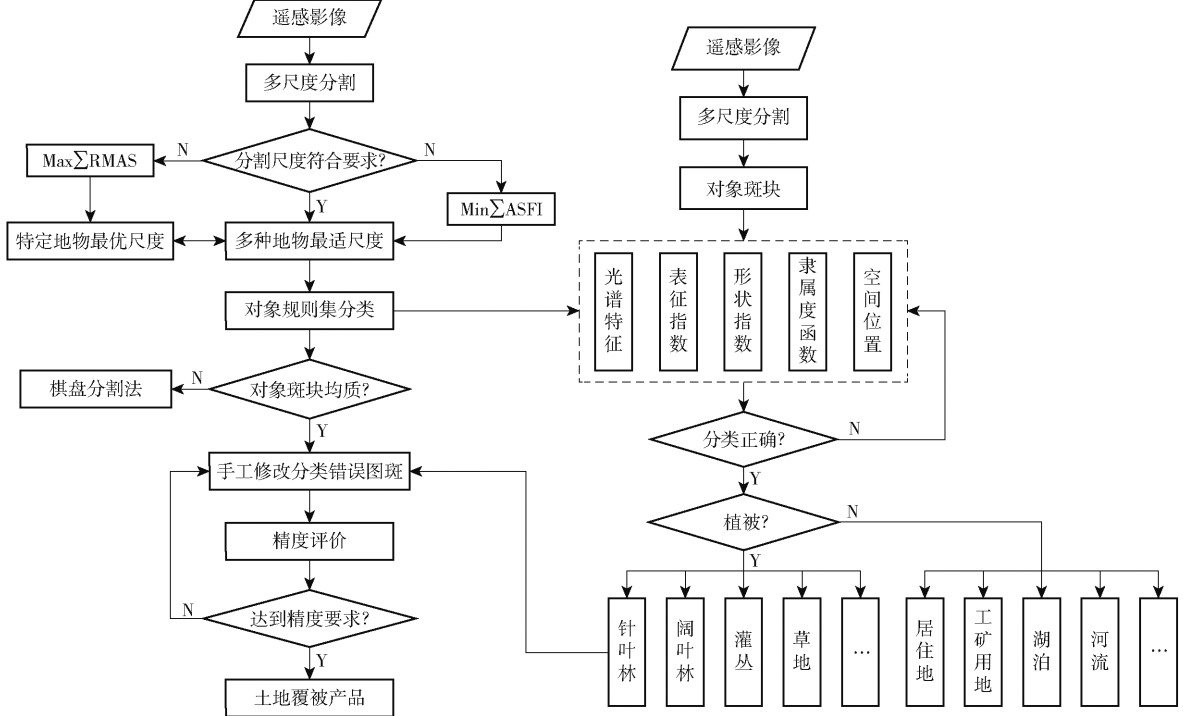


图2 影像分类流程图

Fig.2 Image classification flowchart

1.4 景观格局指数

景观是由形态各异的斑块相互作用并以一定的规律布局形成的具有空间异质性的区域。景观空间格局包括空间异质性、空间相关性和空间规律性等,是生态系统属性空间变异性的综合表现^[21]。土地利用的景观空间格局决定着地理生态环境的组分和分布形式,制约着各种生态过程,与生物多样性和生态系统的稳定性有着紧密联系^[22-23]。对于区域土地利用景观空间格局的分析有助于深入理解土地利用景观格局的特征和形成以及与生态过程的相互关系。景观由形状各异的斑块组成,斑块是景观的基本空间单元,各种不同类型斑块的空间分布与组合构成区域的景观格局^[24-26]。景观斑块是影响景观功能和过程的主要决定因子^[27]。形状、大小各不相同的各种土地利用类型的斑块分散或集聚,从而在空间上形成了独具特色的土地利用景观格局,这是生物、自然和社会综合作用的产物^[28]。

本文在土地利用现状图的基础上,运用景观生态学数量研究方法,对地区景观斑块的组合结构和特征,以及景观格局的变化进行定量描述和分析。将土地利用类型重新分类,归入相应的景观类型中,建立景观类型分类标准,如表 1 所示。

表 1 基于土地利用类型的景观类型分类
Tab.1 Classification of landscape types based on land use

景观类型	土地利用类型
冰雪/冰川景观	冰雪/冰川
草地景观	草地、草甸、稀疏草地
道路景观	交用地
工矿景观	工矿用地、水利设施
灌木林景观	常绿针叶灌木林、常绿阔叶灌木林、落叶阔叶灌木林
居住景观	居住地、旅游设施
林地景观	常绿针叶林、常绿阔叶林、落叶阔叶林、针阔混交林、稀疏林
裸地景观	裸地、沙地
农田景观	旱地、水田
水域湿地景观	河流、湖泊、运河/水渠、水库/坑塘、湿地、滩涂

通过景观格局分析软件 Fragstats 计算,得到大峡谷不同景观类型和整个景观水平上的景观指数,根据计算结果从各景观类型的斑块类型面积、斑块面积比例、斑块数、斑块密度、斑块平均面积、最大斑块指数、景观分离度、破碎度等方面,分析研究区的景观空间格局。本文主要用到了多样性指数、优势度指数、均匀度指数、聚合度指数 4 个景观指数,并着重对其进行分析。

1.5 敏感性因子选取与敏感等级划分

大峡谷是林芝市最具代表性人为干预地之一,

所处的地理位置、土壤植被、地质地貌条件、水文气候条件以及社会经济条件构成了其独特的生态环境^[29]。以大峡谷生态敏感性为研究切入点,针对社会经济和生态环境现状,对各种生态环境问题和生态因子进行有效的筛选和分析,为更好地对研究区生态敏感性状况进行科学准确的判断服务,从而为建设资源环境和经济社会协调发展提供科学依据。参照 2003 年国家环保总局制定的《生态功能区划暂行规程》,选择合理的评价指标和方法,将各类敏感性因子划分为 5 级,敏感度从高到低依次为极敏感、高度敏感、中度敏感、轻度敏感和不敏感,首先得到各类因子的敏感性分布图,然后在此基础上进行加权叠置分析,进一步得到研究区的自然影响要素、社会影响要素和综合影响要素敏感性分布图,对其进行评价并给出相应对策。

造成生态敏感性区域差异的因素可概括为人为因素和自然因素两种。自然因素所造成的生态环境的敏感性主要是指由于自然环境的变化,区域内某类系统的生态平衡被打破,从而使系统向不利的方向演化发展。人为因素引起的生态系统敏感性是指由于人类各种不合理的社会、经济活动所导致的生态失衡,其表现形式如不合理的建设开发、乱排乱放、乱砍滥伐、过度垦殖、过度放牧以及人口膨胀所造成的资源环境的超负荷压力等。通过查阅文献以及对研究区生态环境的实地调查和分析,并考虑数据的可获得性,选取高程、坡度、坡向、土地利用、土地覆盖、景观格局 6 个因子,将生态敏感性分为极敏感、高度敏感、中度敏感、轻度敏感和不敏感 5 个等级,分布赋值为 9、7、5、3、1 分,在单因子评价的基础上,采用专家评价法加权如表 2 所示,进一步制作综合敏感性分布图,对其进行评价并给出相应对策。生态综合敏感性分级如表 3 所示。对于生态敏感性评价指标阈值的划定,高程和坡度通过 ArcGIS 软件中的自然断点法进行界定,高程越高,坡度越大,生态稳定性越低,越敏感;坡向敏感性主要表现对植被类型的影响上,研究区阴坡、阳坡植被类型差异显著,形成了较为丰富的景观类型;土地利用和景观格局评价指标的划定主要依据生态保护情况;植被类型依据植被覆盖程度,植被覆盖度越高,生态敏感性越高,需要进行相应的保护。

2 结果与分析

2.1 大峡谷空间格局分析

大峡谷研究区 10 种景观类型共有 1 761 个斑块,其中林地景观面积占比最大,所占比例达 48.84%,此外,草地景观所占比例为 22.68%,冰

表 2 生态敏感性评价指标及其分级

Tab.2 Ecological sensitivity evaluation index and its classification

影响因子	不敏感	轻度敏感	中度敏感	高度敏感	极敏感	权重/%
高程/m		0 ~ 3 300	3 300 ~ 3 500	3 500 ~ 4 000	> 4 000	15
坡度/(°)	0 ~ 5	5 ~ 10	10 ~ 18	18 ~ 25	> 25	20
坡向	平面	南坡	东坡、西坡、东南坡、西南坡	东北坡、西北坡	北坡	10
土地利用	工业用地、居住地、交通用地、旅游设施	旱地	草地类用地、冰雪/冰川	森林类用地、灌木林类用地	水域湿地、河流等用地	20
土地覆盖	建筑、裸地、冰雪等覆盖	耕种作物	灌木类植被、草地类植被	森林类植被	水域湿地覆盖	15
景观格局	工矿、道路、裸地等景观	居住景观、农田景观	草地景观	林地景观、灌木林景观	水域湿地景观、冰川景观	20

表 3 生态环境综合敏感性评价分级

Tab.3 Grading of comprehensive sensitivity assessment of ecological environment

敏感性等级	分级	分级赋值	分级标准
不敏感	1	1	1.0 ~ 2.0
轻度敏感	2	3	2.1 ~ 4.0
中度敏感	3	5	4.1 ~ 6.0
高度敏感	4	7	6.1 ~ 8.0
极度敏感	5	9	> 8.0

雪/冰川景观所占比例为 17.39% ,灌木林景观占比 5.21% ,水域湿地景观占比 2.84% ,农田景观占比 2.41% ,其余景观占比均未达到 1%。从景观指数来看,研究区景观多样性指数为 1.374(参考最大值为 2.302) ,优势度指数为 0.982(参考最小值为 0) ,均匀度指数 0.597(参考最大值为 1) ,聚合度指数 97.374。大峡谷研究区拥有较高的多样性,单一景观优势度相对较低,不同景观空间分配情况好,与实地调查情况基本吻合,如图 3、4 所示。不难看出,大

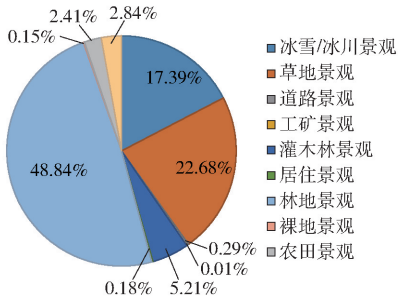


图 3 大峡谷研究区景观类型占比

Fig.3 Proportion of landscape types in study area of grand canyon

峡谷是一个以林地景观、草地景观为景观基质的地区,山顶有较多冰雪/冰川覆盖。草地景观占比较大,畜牧业相对发达。水域湿地景观、农田景观主要集中在河谷地带,但占比较小,说明农业、工业(占比 0.01%)在当地经济组成中贡献率较低。道路景观占比 0.29%,道路可达性较高,但交通仍不发达,

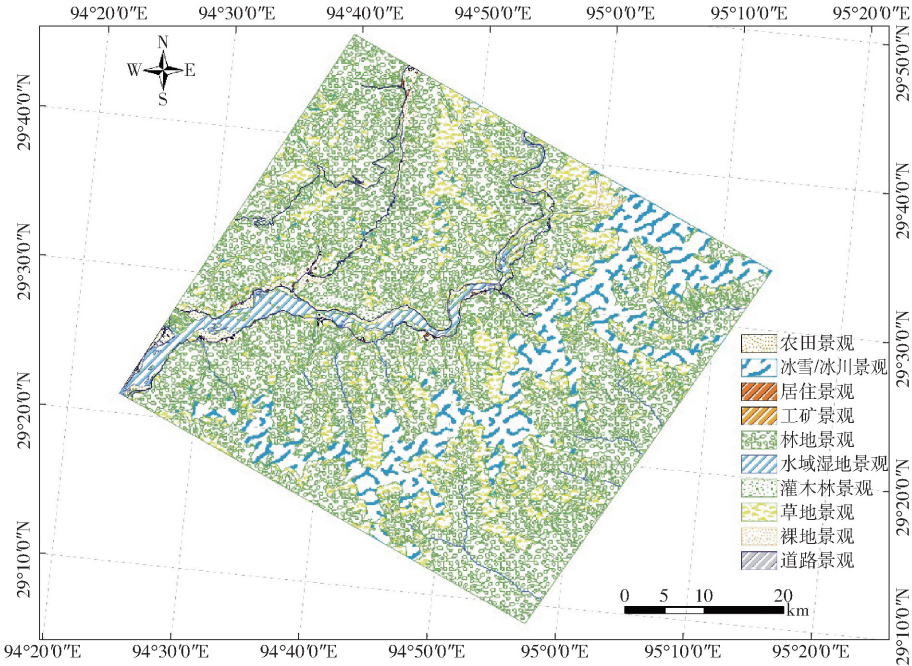


图 4 大峡谷研究区景观格局图

Fig.4 Landscape pattern map of study area of grand canyon

可能会对当地经济发展起到抑制作用。

如图 5 所示,大峡谷研究区斑块数以草地景观为最多(614 个),林地景观次之(394 个),道路景观(3 个)和裸地景观(3 个)。农田景观斑块面积占比与水域湿地景观斑块面积占比相当,斑块数比值为 91: 34,说明水域湿地的连通性、整体性更好,农田景观成片性较差,分布较为分散。另外,裸地景观斑块数较少,说明该区域土地覆盖较好。

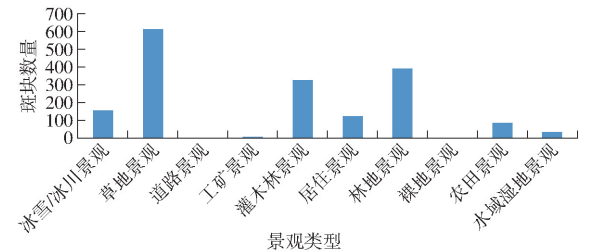


图 5 大峡谷研究区斑块数量分布

Fig. 5 Patch quantity distribution in research area of grand canyon

如图 6 所示,林地景观、冰雪/冰川景观、道路景观、水域湿地景观斑块平均面积较大,说明其同质性相对较好,斑块面积较大,分布相对集中;居住景观和工矿景观斑块平均面积较小,说明居住地、工矿企业未能成片分布,相对较为分散。此外,农田景观斑块平均面积相对较小,说明农田分布整体性较差,不利于耕种和集约化生成。

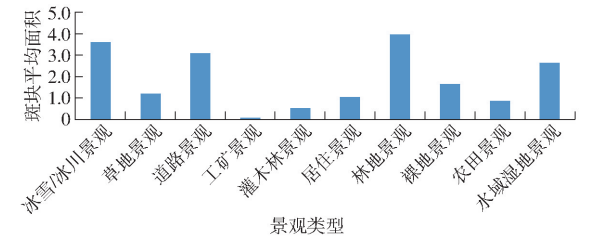


图 6 大峡谷研究区斑块平均面积分布

Fig. 6 Distribution of average patch area in research area of grand canyon

如图 7 所示,工矿景观、居住景观斑块密度极大,破碎度相对较高;林地景观、冰雪/冰川景观斑块密度较小,破碎度相对较低,该类景观绝对分布面积较大、单一斑块面积较高,分布相对集中,具有较高的景观价值,这与实地调查情况基本一致。

如图 8 所示,冰雪/冰川景观最大斑块指数较高,说明该类景观分布更为集中;林地景观、草地景观、水域湿地景观也形成了较为集中的分布区域,是该区域主要的景观类型,可作为该区域旅游开发的优先选择景观类型。

如图 9 所示,工矿景观分离度较高,说明工矿企业在整个区域分布较为分散,未能形成规模化、集约化生产。其次,居住景观分离度相对较高,这与实地

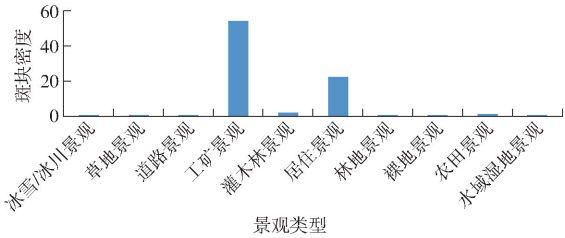


图 7 大峡谷研究区斑块密度分布

Fig. 7 Patch density distribution in study area of grand canyon

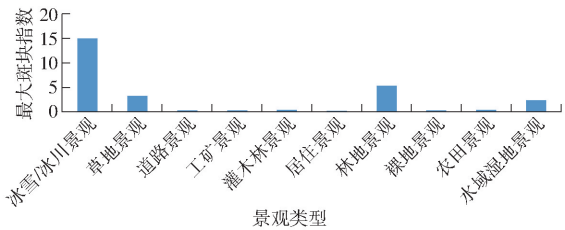


图 8 大峡谷研究区最大斑块指数分布

Fig. 8 Distribution of the largest patch index in study area of grand canyon

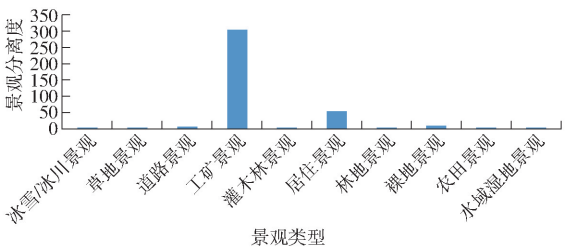


图 9 大峡谷研究区景观分离度分布

Fig. 9 Distribution of landscape separation degree in study area of grand canyon

调查的该区域地广人稀、村落分布分散相吻合。

如图 10 所示,大峡谷研究区斑块破碎度以工矿景观为最高。居住景观、道路景观、农田景观次之,说明该类型景观在研究区分布较为分散。林地景观、水域湿地景观、冰雪/冰川景观破碎度较小,具有更大的斑块面积和更多的斑块数量,抗干扰能力较强。这与实地调查结果相吻合。

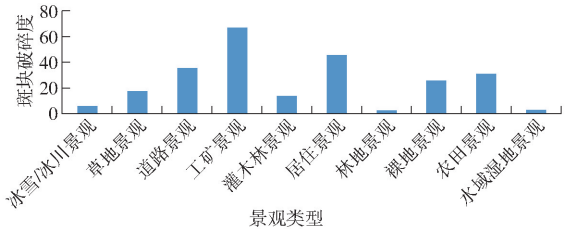


图 10 大峡谷研究区斑块破碎度分布

Fig. 10 Distribution of patch fragmentation in study area of grand canyon

综上所述,在大峡谷景观结构中,以大斑块为主体(面积均值 1 830 hm²)的空间格局和基本构型,具有较好的景观多样性,优势景观优势度明显。其中,林地景观面积占比最大,所占比例达 48.84%,其次

为草地景观, 冰雪/冰川景观、农田景观占比不足3%。按照斑块—廊道—基质模式结构, 大峡谷是以林地、草地为基质, 道路和河流为廊道连接, 冰雪/冰川景观、灌木林景观、居住景观、水域湿地景观为重要斑块, 以林、草景观为主景观区域, 具有一定的景观异质性和丰富度。当前已开发的旅游景区与区域优势景观较为吻合。农田景观与居住景观较为分散, 并与草地景观、水域湿地景观相互混杂, 主要集中在河谷地带低海拔区域。冰雪/冰川景观、林地景观、草地景观、农田景观、水域湿地景观在海拔上形成一个由高到低的总体分布趋势, 垂直分布较为明显。该区域裸地景观占比较少, 地被覆盖较好, 工矿景观较少, 工业基础薄弱, 旅游接待设施较少, 接待能力欠佳。此外, 该区域道路景观占比较少, 交通用地的比重较小, 主要有国道318, 其余为县、乡级公路, 乡镇间连通性较差, 派镇—米瑞—鲁朗环线暂未连通, 交通对整个旅游业发展限制较大。总体上该区域景观以原始森林、高山草甸和冰川为主, 人类活动干扰较小, 且主要集中在河谷地带农田和草地连接区域。

2.2 生态敏感性分析

2.2.1 自然影响因子评价

如表4所示, 自然要素(高程、坡度、坡向)综合不敏感区域占比为3.46%, 轻度敏感区域占比8.13%, 中度敏感区域占比26.96%, 低敏感区域(不敏感、轻度、中度)主要分布于河谷低海拔、缓坡区域, 以雅鲁藏布江河谷和鲁朗河谷地带为代表。高度敏感区域占比53.54%, 极度敏感区域占比7.91%, 高度敏感区域、极度敏感区域主要分布于山地高海拔区域, 坡度更为陡峭的阴坡、半阴坡区域。敏感性分布图如图11所示。

表4 大峡谷自然影响因子分区面积统计结果
Tab.4 Statistical results of area of grand canyon's natural impact factors

敏感度	面积/hm ²	比例/%
不敏感	11 147. 64	3. 46
轻度敏感	26 189. 12	8. 13
中度敏感	86 842. 09	26. 96
高度敏感	172 430. 06	53. 54
极度敏感	25 459. 86	7. 91

2.2.2 人为影响因子评价

如表5所示, 与自然要素综合相比, 轻度、极度敏感区域占比减少明显, 中度敏感区域占比增加显著。低敏感区域空间分布与自然要素的低海拔、缓坡度区域重叠较大, 主要用地类型为耕地和草地。水域湿地则呈相反趋势, 受干扰破坏的可能性较大, 成为极度敏感区域。高敏感区域主要为林地、水域

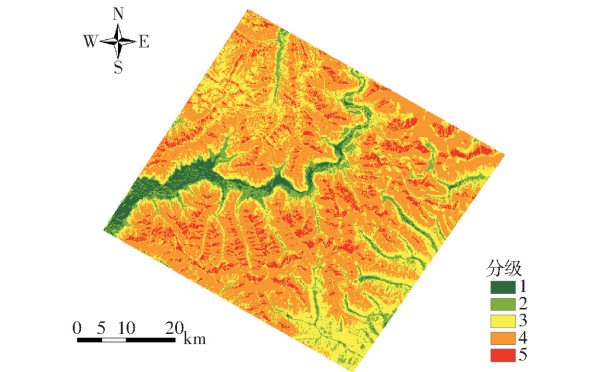


图11 大峡谷自然因素敏感性分级图
Fig. 11 Sensitivity grading map of grand canyon

表5 大峡谷人为影响因子分区面积统计结果
Tab.5 Statistical results of areas of man-made impact factors

敏感度	面积/hm ²	比例/%
不敏感	919. 95	0. 29
轻度敏感	7 386. 67	2. 29
中度敏感	143 999. 28	44. 71
高度敏感	159 430. 49	49. 50
极度敏感	10 332. 37	3. 21

湿地等景观类型, 植被类型为各类针叶林、阔叶林, 其敏感性很大程度上表现为人类活动干扰。大峡谷人为因素敏感性分级如图12所示。

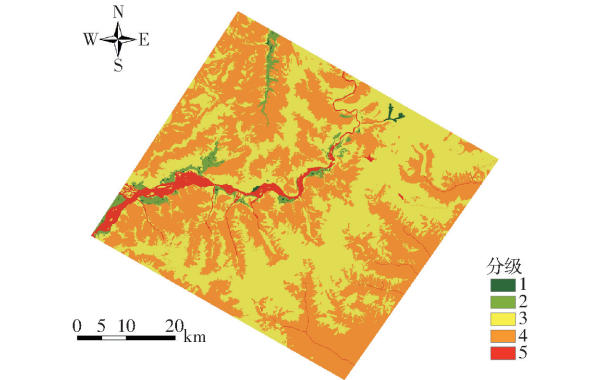


图12 大峡谷人为因素敏感性分级图
Fig. 12 Grand canyon human factor sensitivity grading map

2.2.3 综合评价

大峡谷研究区6类影响因子加权分析结果如表6所示, 生态敏感性区域主要集中在中度和高度敏感区域, 合计面积占比为95.71%, 并以高度敏感为主。从空间分布来看, 轻度敏感区域主要分布在谷地低海拔缓坡区域, 用地类型以耕地、草地为主, 植被类型主要为农作物植被、草地类植被, 景观类型以居住景观、农田景观为主。敏感性主要表现为耕地用地性质的转变, 住宅、工业、旅游设施侵占, 草场过载等方面。中度敏感区域集中分布于河谷周边低海拔、低坡度区域, 用地以水域、草地、灌木林为主, 植被类型主要为草地、灌木林、低海拔类森林植被,

景观以草地、灌木林、水域湿地景观为主,敏感性主要表现为水域湿地污染与破坏、草地用地性质的转变和畜牧业超载等方面。高度敏感区域集中分布于山地高海拔区域,山高坡陡,用地类型以林地为主,植被类型为森林类植被,景观以林地景观、冰雪/冰川景观为主;敏感性主要表现为高海拔水土流失和植被破坏,特别是植被破坏后受高寒、陡坡、植物生长缓慢等因素影响很难恢复,且极易形成泥石流、水土流失等不可挽回的生态破坏问题。大峡谷综合敏感度分级如图 13 所示。

表 6 大峡谷多因子分区面积统计结果
Tab.6 Grand canyon multi-factor zone area statistics results

敏感度	面积/hm ²	比例/%
不敏感	1 131. 69	0. 35
轻度敏感	12 658. 36	3. 93
中度敏感	146 352. 58	45. 44
高度敏感	161 904. 53	50. 27
极度敏感	20. 71	0. 01

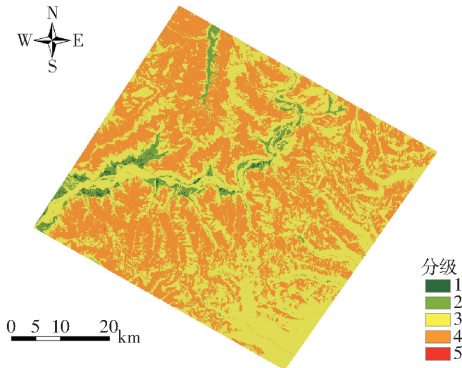


图 13 大峡谷综合敏感性分级图

Fig.13 Grand canyon comprehensive sensitivity grading map

3 结论

(1)采用面向对象的分类方法对大峡谷研究区

划分为 10 个景观类型,包括冰雪/冰川景观、草地景观、灌木林景观、道路景观、林地景观、工矿景观、居住景观等。10 种景观类型共有 1 761 个斑块,其中林地景观面积占比最大,达 48. 84%,草地景观占比 22. 68%,冰雪/冰川景观占比 17. 39%,灌木林景观占比 5. 21%,水域湿地景观占比 2. 84%,农田景观占比 2. 41%,其余景观占比均未达到 1%。大峡谷是一个以林地景观、草地景观为景观基质的地区,山顶有较多冰雪/冰川覆盖,畜牧业相对发达。

(2)从景观指数来看,研究区景观多样性指数为 1. 374,优势度指数为 0. 982,均匀度指数 0. 597,聚合度指数 97. 374。大峡谷研究区拥有较高的多样性,单一景观优势度相对较低,不同景观空间分配情况更好。按照斑块—廊道—基质模式结构,大峡谷是以林地、草地为基质,道路和河流为廊道连接,冰雪/冰川景观、灌木林景观、居住景观、水域湿地景观为重要斑块,以林、草景观为主的景观区域,具有一定的景观异质性和丰富度。

(3)综合 6 类影响因子对大峡谷研究区生态敏感性进行加权分析,不敏感区域占比 0. 35%,轻度敏感区域占比 3. 93%,中度敏感区域占比 45. 44%,高度敏感区域占比 50. 27%,极度敏感区域占比 0. 01%,其生态敏感性主要集中在中度和高度敏感区域,合计 95. 71%,并以高度敏感为主。中度敏感区域集中分布于河谷周边低海拔、低坡度区域,以水域、草地、灌木林为主,敏感性主要表现为水域湿地污染与破坏、草地用地性质的转变和畜牧业超载等方面。高度敏感区域集中分布于山地高海拔区域,以林地景观、冰雪/冰川景观为主,敏感性主要表现为高海拔水土流失和植被破坏,特别是植被破坏后,受高寒、陡坡、植物生长缓慢等因素影响生态很难恢复,且极易导致泥石流、水土流失等不可挽回的生态破坏问题。

参 考 文 献

[1] 王玮. 西藏草地生态系统碳源汇时空变化及其与气候因子关系[D]. 西安:长安大学,2019.
WANG Wei. Temporal and spatial variation of carbon source carbon sinks in Tibet grassland ecosystem and its relationship with climate factors[D]. Xi'an: Chang'an University,2019. (in Chinese)

[2] 赵金鹏. 1961—2016 年青藏高原极端气候事件变化特征研究[D]. 兰州:兰州大学,2019.
ZHAO Jinpeng. Study on the variation characteristics of extreme climate events on the Qinghai - Tibet plateau during 1961—2016[D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2019. (in Chinese)

[3] 牛泽鹏,王晓峰,罗广祥,等. 基于 SOFM 的西藏流域尺度生态功能分区[J]. 水土保持通报,2020,40(4):116 - 123.
NIU Zepeng, WANG Xiaofeng, LUO Guangxiang, et al. Ecological function zoning of Tibet based on SOFM at watershed scale [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation,2020,40(4):116 - 123. (in Chinese)

[4] 赵旺林,罗天祥,张林. 气候变化与放牧对西藏典型高寒荒漠草地植被指数变化的相对影响[J]. 生态学报,2019, 39(22):8494 - 8503.
ZHAO Wanglin, LUO Tianxiang, ZHANG Lin. Relative impact of climate change and grazing on NDVI variations in typical alpine desert grasslands in Tibet[J]. Acta Ecologica Sinica, 2019,39(22):8494 - 8503. (in Chinese)

[5] 姚际托,陈阳,肖玖军,等. 贵州荔波森林景观格局现状与分析[J]. 贵州科学,2020,38(3):42 - 46.

- YAO Jituo, CHEN Yang, XIAO Jiujun, et al. Present situation and analysis of forest landscape pattern in Libo, Guizhou[J]. Guizhou Science, 2020, 38(3): 42–46. (in Chinese)
- [6] 董雅雯, 余济云, 陈冬洋, 等. 基于景观格局及生态敏感性的三亚市景观脆弱度研究[J]. 西南林业大学学报, 2016, 36(4): 103–108.
- DONG Yawen, SHE Jiyun, CHEN Dongyang, et al. Landscape vulnerability analysis of Sanya City based on the landscape pattern and ecological sensibility[J]. Journal of Southwest Forestry University, 2016, 36(4): 103–108. (in Chinese)
- [7] 王永, 刘春玲, 贺鹏, 等. 基于GIS与景观指数的黄骅市景观格局分析[J]. 安徽农业科学, 2017, 45(16): 63–67.
- WANG Yong, LIU Chunling, HE Peng, et al. Landscape pattern analysis based on GIS and landscape index in Huanghua City[J]. Journal of Anhui Agri. Sci., 2017, 45(16): 63–67. (in Chinese)
- [8] 赵行双. 基于GIS和RS的西藏地区生态环境评价[D]. 武汉: 华中师范大学, 2018.
- ZHAO Xingshuang. Assessment of the ecological environment in Tibet based on GIS & RS[D]. Wuhan: Central China Normal University, 2018. (in Chinese)
- [9] LEILA R, ALI A M, NASER D, et al. Soil quality indices of paddy soils in Guilan Province of northern Iran: spatial variability and their influential parameters[J]. Ecological Indicators, 2020, 117: 106566.
- [10] THOMAS F, PAUL M. A high-resolution suitability index for solar farm location in complex landscapes[J]. Renewable Energy, 2020, 158: 520–533.
- [11] SANDRA P, FUENSANTA S H, MARTYN G K, et al. European aquatic ecological assessment methods: a critical review of their sensitivity to key pressures[J]. Science of the Total Environment, 2020, 740: 140075.
- [12] 孙道成, 杨立. 基于多种生态分析的生态空间格局构建和研究——以长治“双修”为例[J]. 国土与自然资源研究, 2020(3): 4–9.
- SUN Daocheng, YANG Li. Construction and research of ecological spatial pattern based on multiple ecological analysis—a case study of the “Urban Renovation and Restoration” in Changzhi[J]. Territory & Natural Resources Study, 2020(3): 4–9. (in Chinese)
- [13] 李昂. 基于生态敏感性评价的朗乡镇镇域景观格局研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2014.
- LI Ang. Research on landscape pattern in administrative region of Langxiang Town based on ecological sensitivity evaluation[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2014. (in Chinese)
- [14] 王小刚. 基于分水岭变换的多尺度遥感影像分割算法[J]. 北京测绘, 2019, 33(8): 886–890.
- WANG Xiaogang. Multi-scale remote sensing image segmentation algorithms based on watershed transform[J]. Beijing Surveying and Mapping, 2019, 33(8): 886–890. (in Chinese)
- [15] 林高山. 基于高分二号卫星影像的乡村聚落信息提取及空间格局分析[D]. 成都: 四川师范大学, 2019.
- LIN Gaoshan. Information extraction and pattern analysis of rural settlements based on GF-2 satellite imagery: a case study of Youxin Town, Jintang County, Chengdu[D]. Chengdu: Sichuan Normal University, 2019. (in Chinese)
- [16] 李婷婷. 喀斯特地区地理国情普查地表覆盖影像多尺度分割技术研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2018.
- LI Tingting. Research on multiscale segmentation technology of land cover images based on national census geography in karst[D]. Guiyang: Guizhou University, 2018. (in Chinese)
- [17] 邓海龙. 高分辨率遥感图像面向对象分割与分类方法研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2015.
- DENG Hailong. Research on object-oriented segmentation and classification methods of high resolution remote sensing image[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2015. (in Chinese)
- [18] 王更. 高分辨率遥感影像多尺度分割算法研究与应用[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2016.
- WANG Geng. Research and application of multi-scale segmentation for high-resolution remote sensing image[D]. Xuzhou: China University of Mining and Technology, 2016. (in Chinese)
- [19] 张仙. 遥感影像分割及其对面向对象分类精度影响的定量研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2017.
- ZHANG Xian. The research of remote sensing image segmentation and its quantitative relationship to object-oriented classification accuracy[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2017. (in Chinese)
- [20] 刘一哲. 多尺度分割技术在高分辨率遥感影像地物提取方法的研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2016.
- LIU Yizhe. Research on the method of multi-scale segmentation in high resolution remote sensing image feature extraction[D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 2016. (in Chinese)
- [21] FENG Xinghua, XIU Chunliang, BAI Limin, et al. Comprehensive evaluation of urban resilience based on the perspective of landscape pattern: a case study of Shenyang City[J]. Cities, 2020, 104: 102722.
- [22] PALMERO-INIESTA M, ESPELTA J M, GORDILLO J, et al. Changes in forest landscape patterns resulting from recent afforestation in Europe (1990–2012): defragmentation of pre-existing forest versus new patch proliferation[J]. Annals of Forest Science, 2020, 77(43): 1–15.
- [23] 张启斌, 岳德鹏, 于强, 等. 磴口县景观格局 AES-LPI-CA 模型演化模拟[J/OL]. 农业机械学报, 2017, 48(5): 128–134.
- ZHANG Qibin, YUE Depeng, YU Qiang, et al. Simulation of landscape pattern evolution in Dengkou County using AES-LPI-CA model[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(5): 128–134. http://www.jcsam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20170515&flag=1. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2017.05.015. (in Chinese)
- [24] ENRICO T, VALENTINO C, GIOVANNI B, et al. Climate and landscape heterogeneity drive spatial pattern of endemic plant diversity within local hotspots in South-Eastern Alps[J]. Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics, 2020, 43: 125512.

- [10] KANEKO M, KAZATANI T, SHIKATA H. Occupational lead poisoning in a patient with acute abdomen and normocytic anemia[J]. *Internal Medicine*, 2020, 59(12):1565 – 1570.
- [11] VAHABZADEH M, MEGARBANE B. Abdominal pain related to adulterated opium: an emerging issue in drug addicts[J]. *World Journal of Psychiatry*, 2020, 10(5):95 – 100.
- [12] XIE Z H, MENG L W, FENG X A, et al. Identification of heavy metal-contaminated tegillarca granosa using laser-induced breakdown spectroscopy and linear regression for classification[J]. *Plasma Science & Technology*, 2020, 22(8):085503.
- [13] 杨可明, 张伟, 王晓峰, 等. 基于空间谱的玉米叶片铜铅污染区分及程度监测[J]. *光谱学与光谱分析*, 2018, 38(7):2200 – 2208.
YANG Keming, ZHANG Wei, WANG Xiaofeng, et al. Differentiation and level monitoring of corn leaf stressed by Cu and Pb derived from spatial spectrum[J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2018, 38(7):2200 – 2208. (in Chinese)
- [14] 付萍杰, 杨可明, 王晓峰, 等. 重构玉米叶片光谱的铜铅污染区分与其含量反演方法[J]. *科学技术与工程*, 2018, 18(23):134 – 145.
FU Pingjie, YANG Keming, WANG Xiaofeng, et al. Copper – lead pollution distinctions and a content retrieval method for the reconstruction of maize leaf spectra[J]. *Science Technology and Engineering*, 2018, 18(23):134 – 145. (in Chinese)
- [15] 张龙, 潘家荣, 朱诚. 基于近红外光谱的重金属汞、镉和铅污染水稻叶片鉴别[J]. *浙江大学学报(农业与生命科学版)*, 2013, 39(1):50 – 55.
ZHANG Long, PAN Jiarong, ZHU Cheng. Discrimination of mercury, cadmium and lead polluted rice leaves based on near infrared spectroscopy technology[J]. *Journal of Zhejiang University(Agriculture and Life Sciences)*, 2013, 39(1):50 – 55. (in Chinese)
- [16] HONG Y S, LIU Y, CHEN Y Y, et al. Application of fractional-order derivative in the quantitative estimation of soil organic matter content through visible and near-infrared spectroscopy[J]. *Geoderma*, 2019, 337(12):758 – 769.
- [17] HONG Y S, GUO L, CHEN S C, et al. Exploring the potential of airborne hyperspectral image for estimating topsoil organic carbon: effects of fractional-order derivative and optimal band combination algorithm[J]. *Geoderma*, 2020, 365:114228.
- [18] LI Y L, PAN C, MENG X, et al. Haar wavelet based implementation method of the non-integer order differentiation and its application to signal enhancement[J]. *Measurement Science Review*, 2015, 15(3):101 – 106.
- [19] SCHMITT J M. Fractional derivative analysis of diffuse reflectance spectra[J]. *Applied Spectroscopy*, 1998, 52(6):840 – 846.
- [20] TONG P J, DU Y P, ZHENG K Y, et al. Improvement of NIR model by fractional order Savitzky – Golay derivation (FOSGD) coupled with wavelength selection[J]. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 2015, 143:40 – 48.
- [21] WANG J Z, TIYIP T, DING J L, et al. Desert soil clay content estimation using reflectance spectroscopy preprocessed by fractional derivative[J]. *Plos One*, 2017, 12(9):e0184836.
- [22] WANG F H, GAO J, ZHA Y. Hyperspectral sensing of heavy metals in soil and vegetation: feasibility and challenges[J]. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2018, 136(2):73 – 84.

(上接第 203 页)

- [25] 王朋冲, 于强, 裴燕如, 等. 翁牛特旗景观格局尺度效应分析[J/OL]. *农业机械学报*, 2020, 51(5):223 – 231, 181.
WANG Pengchong, YU Qiang, PEI Yanru, et al. Scale effect analysis of landscape pattern in Wengniute Banner[J/OL]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2020, 51(5):223 – 231, 181. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20200525&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2020.05.025. (in Chinese)
- [26] 王戈, 于强, 刘晓希, 等. 包头市景观格局时空演变研究[J/OL]. *农业机械学报*, 2019, 50(8):192 – 199.
WANG Ge, YU Qiang, LIU Xiaoxi, et al. Temporal and spatial evolution of landscape pattern in Baotou City[J/OL]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2019, 50(8):192 – 199. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20190821&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2019.08.021. (in Chinese)
- [27] 陈柚竹. 基于“斑块—廊道—基质”模式的城市综合体景观结构研究[D]. 成都: 四川农业大学, 2013.
CHEN Youzhu. Research of landscape structure of urban complex based on “Patch – Corridor – Matrix” model[D]. Chengdu: Sichuan Agricultural University, 2013. (in Chinese)
- [28] 许晓波, 张婷, 张文辉. 纸坊沟流域近 25 年景观斑块功能类型及动态[J]. *林业科学*, 2009, 45(8):154 – 160.
XU Xiaobo, ZHANG Ting, ZHANG Wenhui. Function types and dynamic of landscape patches along Zhifanggou watershed in last 25 years[J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2009, 45(8):154 – 160. (in Chinese)
- [29] 高郅, 卢杰, 李江荣, 等. 林芝市不同生态功能区空气负离子特征研究[J]. *西北林学院学报*, 2019, 34(4):70 – 75, 165.
GAO Tan, LU Jie, LI Jiangrong, et al. Characteristics of negative air ions in different ecological functional areas of Linzhi of Tibet[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2019, 34(4):70 – 75, 165. (in Chinese)