

文章编号: 1008-2786-(2020)2-231-10

DOI:10.16089/j.cnki.1008-2786.000505

天山野果林区滑坡景观时空演变及生态风险预测

范贺娟^{1,2}, 来风兵^{1,2*}, 曹家睿^{1,2}, 陈蜀江^{1,2}, 许超宗²

(1. 新疆师范大学 地理科学与旅游学院, 新疆 乌鲁木齐 830054; 2. 乌鲁木齐空间遥感应用研究所, 新疆 乌鲁木齐 830025)

摘 要: 以天山大小莫合流域野果林区为例, 探究其景观格局的时空演变特征及揭示滑坡对野果林区造成的生态风险具有重要意义。以 Corona 和 Spot-5 等高分辨率遥感影像为数据源, 通过 RS 技术解译 1964、1980、2000、2017 年空间数据, 利用 Fragstats 4.0 软件计算景观特征指数, 并探讨了滑坡景观格局时空变化特征与演化的驱动因素, 从而进行景观生态风险预测。结果表明: (1) 1964—2017 年野果林面积持续减少了 3942.15 hm², 主要向草地、耕地转移面积为主, 滑坡区面积增加了 203.48 hm², 其主要转入景观类型为野果林、草地。(2) 野果林区各景观破碎程度加剧, 景观边界形状总体上趋于复杂。不同景观斑块面积呈现不均匀状态, 景观的空间异质性增强。(3) 滑坡景观类型变化受自然因素和人文因素共同影响作用。人口增加和人为干扰度是主要的人文驱动因子, 气温、坡度、坡向和降水是主要的自然驱动因子。(4) 2017 年景观生态风险以高风险等级和较高生态风险等级为主, 此阶段, 野果林区生态系统稳定性低, 其生态环境脆弱; 2034 年滑坡景观生态风险有减弱趋势, 野果林区生态系统趋于稳定, 但滑坡等自然灾害仍不容忽视。

关键词: 野果林; 滑坡景观; 时空演变; 生态风险预测; 天山

中图分类号: P694

文献标志码: A

天山野果林是中亚野果林生态系统重要的组成部分^[1], 尤其是分布在伊犁河谷地的野果林, 是现存特有珍贵种质资源, 被称为天然的种质资源基因库^[2]。然而, 由于冰雪冻害、病虫害、过度放牧及山区人类活动频繁等原因, 造成野果林面积锐减, 种质资源不断消失^[3-6]。近些年, 受极端气候影响, 天山野果林区大小莫合流域滑坡、崩塌等地质灾害频发。经遥感解译和实地调研发现研究区存在形态不一的滑坡体, 对该地区牧民生命、财产安全和生态环境构成严重威胁。野果林区滑坡景观生态风险预测研究为该区域的生态演化与滑坡灾害防治提供了支持, 对天山野果林区生态环境保护、野果林经济发展、社

会和谐发展具有重要意义。

早在 20 世纪 90 年代, 国内外学者开展了滑坡灾害风险评价研究工作^[7-8], 提出滑坡灾害预测框架、建立风险预测模型^[9-11]。目前, 我国滑坡灾害风险评价研究主要集中在滑坡灾害的风险特征和风险评价^[12]、风险区划和风险预测^[13-14]、易发性评价和敏感性分析^[15-16]等方面。近年来, 生态风险评价与区域生态学和景观生态学结合研究, 得到快速发展^[17-18], 在以人为本的同时, 更加注重生态系统的保护^[19-21]。但从景观尺度上, 对滑坡景观生态风险评估研究尚未见报道。天山野果林是生态环境极为脆弱区域, 本研究基于 1964—2017 年遥感影像数

收稿日期 (Received date): 2019-11-07; 改回日期 (Accepted date): 2020-03-20

基金项目 (Foundation item): 国家自然科学基金 (41661002); 国家重点研发计划专题 (2016YFC0501503-7)。[National Natural Science Foundation of China (41661002); National Key Research and Development Program of China (2016YFC0501503-7)]

作者简介 (Biography): 范贺娟 (1995-), 女, 河南上蔡人, 硕士研究生, 主要研究方向: 资源环境遥感应用。[FAN Hejuan (1995-), female, born in Shangcai, Henan province, M. Sc. candidate, research on remote sensing of resources and environment] E-mail: fanhejuan0118@163.com

* 通讯作者 (Corresponding author): 来风兵 (1977-), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向: 地理信息、资源环境遥感。[LAI Fengbing (1977-), male, Ph. D., associate professor, specialized in geographic information, remote sensing of resources and environment] Tel: 13639903177, E-mail: laifengbing@163.com

据,结合景观生态学理论,以天山野果林区大小莫合流域为例,以滑坡景观为研究对象,利用 GIS、RS 技术,对不同时期的滑坡景观类型及其时空演变过程进行分析,预测该区域滑坡景观的空间动态变化趋势,为预防山体滑坡灾害对天山野果林的破坏提供数据支持。

1 研究区概况

研究区位于新疆维吾尔自治区的西北角,天山山脉西部伊犁河二级支流吉尔格朗河南岸,伊犁河谷南侧的那拉提山北侧大小莫合流域(图 1; $81^{\circ}34' \sim 83^{\circ}35'E$ 、 $42^{\circ}54' \sim 43^{\circ}38'N$)。该地区为典型的高山峡谷地貌,地势东高西低,高程 1100 ~ 1600 m,地面相对高差 200 ~ 350 m,属温带大陆性气候^[22]。年降水量 300 ~ 700 mm,山麓地带和山区地带降水以 4—6 月最大,造成该时段极易发生滑坡。研究区分布的树种极为丰富,包括野苹果 (*Malussieversi*)、野杏 (*Armeniaca vulgaris*)、山楂 (*Crataegus chlorocarpa*)、花楸 (*Sorbus tianschanica*)、稠李 (*Padus racemosa*)、蔷薇 (*Rosa acicularis*)、桦树 (*birch*)等野生果树植物资源。研究区所在地是中国境内七片野果林区中种类最多、面积最大、资源最丰富区域。

2 数据与方法

2.1 数据来源及预处理

本文选用云量少、分辨率均在 10 m 以内的高清

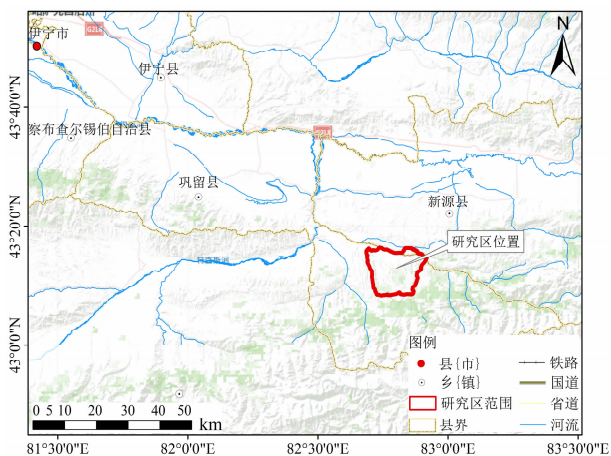


图 1 研究区位置示意图

Fig. 1 Location map of the study region in Xinjiang province, China

卫星遥感数据(表 1)。应用 ENVI 遥感处理软件对遥感数据进行图像辐射校正、几何精校正、图像拼接和融合,采用监督分类和目视解译,应用 Google Earth 地图、林地资源调查和现地调查数据对解译结果进行精度检验。通过检验得出 4 期 Kappa 系数均大于 80%,景观分类精度满足研究要求标准^[23],参考 2017 年全国土地利用现状分类系统(GB/T21010—2017)和中科院土地分类系统的分类标准分类,把研究区的景观类型分为野果林、滑坡区、耕地、居民建设用地(居民区和道路)、水体(河流和水域)、草地(天然草地和人工草地)和其他林地(针叶林和阔叶林)7 种景观类型。

林地调查数据、社会经济统计数据来源于新疆伊犁林草保护局和统计年鉴,DEM 数据源于日本宇宙航空研究开发机构(JAXA)发射的 ALOS 卫星的 PRISM 数据,观测区域在 $82^{\circ}N$ 至 $82^{\circ}S$ 之间,像元大小 $12.5\text{ m} \times 12.5\text{ m}$,空间坐标系为 WGS_1984_UTM_zone_44N。

表 1 遥感数据来源

Tab. 1 Remote sensing data sources

卫星来源	编号	日期	分辨率/m
CORONA	DS1041-2113DF060	1964-05-28	2.5
CORONA	DS2113DF060	1980-06-05	10
SPOT	42082630011030546462M	2000-11-03	2.5
高分 2 号	4221681	2017-10-17	1

2.2 景观类型信息提取

在 ENVI 遥感处理软件技术支持下,完成 1964 年、1980 年、2000 年、2017 年四期遥感影像预处理,并结合实地调查数据和不同影像的色彩表现特征建立植被分类标志;依据分类体系,结合实地调查获取的样点和样地资料,在充分了解实际景观类别的基础上,制定了本研究区域的遥感图像解译标志;基于分类类型和解译标志,辅助大量相关的非遥感信息源,利用最大似然法^[24-25],完成研究区域各种景观类型的定量提取。

2.3 研究方法

2.3.1 景观指数分析

依据研究区景观指数的生态学意义和景观类型特征^[26]。本文从景观水平上选取最大斑块指数(Largest Patch Index, LPI)、边界密度(Edge Density,

ED)、蔓延度指数(Contag Contagion Index, CONTAG)、香农多样性指数(Shannon's Diversity Index, SHDI);从斑块类型水平上选取了斑块密度(Patch Density, PD)、斑块平均面积(Average Patch area, Area-MN)、最大斑块指数(LPI)、边界密度(ED)等指标。在Fragstats4.0软件里进行计算,重点分析不同年份的景观指数变化特征。

2.3.2 转移矩阵变化网络可视图

基于1964年、1980年、2000年和2017年的景观类型,得到各阶段的景观类型面积变化转移矩阵,再利用社会网络分析软件Ucinet及可视化工具NetDraw,获得景观面积转移可视化图,用来表达景观类型的转移方向及其空间演化过程^[27]。

2.3.3 驱动力分析

为了探讨自然因素及人为因素对野果林区景观变化的影响机制,自然驱动因素主要考虑气温、降水、高程、坡度、坡向,人为因素主要考虑人口数量、GDP、耕地面积、人为干扰度等因素,应用主成分分

析法对景观变化进行驱动力分析。

2.3.4 构建生态风险评价体系

选取景观干扰性指数、敏感性指数、脆弱性指数、适应性指数等能描述概括生态过程的景观格局指数构建景观生态风险评价指标体系并进行评价,景观生态风险指数计算方法如表2所示。根据评价结果分析景观生态风险时空变化状况。

3 结果与分析

3.1 景观类型变化特征

1964—2017年大小莫合流域天山野果林区景观类型面积统计如表3所示。野果林区土地利用方式以野果林、草地、耕地和其他林地为主,从1964—2017年,滑坡区、草地、耕地、居民建设用地和水体面积增加,野果林、其他林地面积减少。1964—2017年野果林减少面积总计3942.15 hm²,其中1964—1980年之间年减少面积最大,是野果林破坏最严重时期;

表 2 景观生态风险指数计算方法
Tab. 2 Calculation method of landscape ecological risk index

指数名称	计算公式	参数含义
景观干扰度指数 E_i	$E_i = aC_i + bN_i + cD_i$ (1)	a, b, c 为权重,分别为 0.5、0.3、0.2; C_i 为景观破碎度, N_i 为景观分离度, D_i 为景观优势度。
生态风险损失指数 R_i	$R_i = E_i \times F_j$ (2)	R_i 为第 i 类土地利用类型的景观损失指数; F_j 代表不同景观类型的破碎度。
景观生态风险指数 ERI	$ERI = \sum_{i=1}^n \frac{A_{ki}}{A_k} \times \sqrt{R_i}$ (3)	A_{ki} 是风险小区 k 内 i 类土地利用类型的面积; A_k 是风险小区 k 的面积。
景观脆弱性指数	针对研究区实际情况,将研究区景观类型的易损度分为 9 级,从小到大赋值依次为,居民建设用地赋值 1,针叶林赋值 2,其他阔叶林赋值 3,山杏赋值 4,塞威氏苹果赋值 5,草地赋值 6,耕地赋值 7,水体赋值 8,崩塌区赋值 9,进行归一化处理后得到各景观类型的脆弱度指数。	

表 3 景观类型面积统计表
Tab. 3 Landscape type area statistics

景观类型	1964 年		1980 年		2000 年		2017 年	
	面积	百分比	面积	百分比	面积	百分比	面积	百分比
野果林	6374.91	25.01	4537.4	17.79	2493.84	9.79	2432.82	9.54
滑坡区	93.17	0.37	93.17	0.37	303.64	1.19	296.65	1.16
草地	11 987.16	47.02	13 447.87	52.75	14 339.86	56.25	14 481.20	56.81
耕地	1425.25	5.59	1735.7	6.81	2986.75	11.72	2940.9	11.54
居民建设用地	83.96	0.33	138.34	0.54	508.06	1.99	520.47	2.04
水体	154.71	0.61	154.71	0.61	219.87	0.86	217.31	0.85
其他林地	5372.23	21.07	5384.25	21.12	4639.82	18.2	14 602.40	18.05
总计	25 491.44	100	25 491.44	100	25 491.44	100	25 491.44	100

注:面积单位为 hm²,面积百分比单位为 %。

1980—2000 年减少面积次之,此时期已进行一些相应保护,破坏形势有所缓解;2000—2017 年之间,虽总体上形势趋向好转,依然存在局面积减少的现象。与此同时,野果林区滑坡面积增加了 203.48 hm^2 。

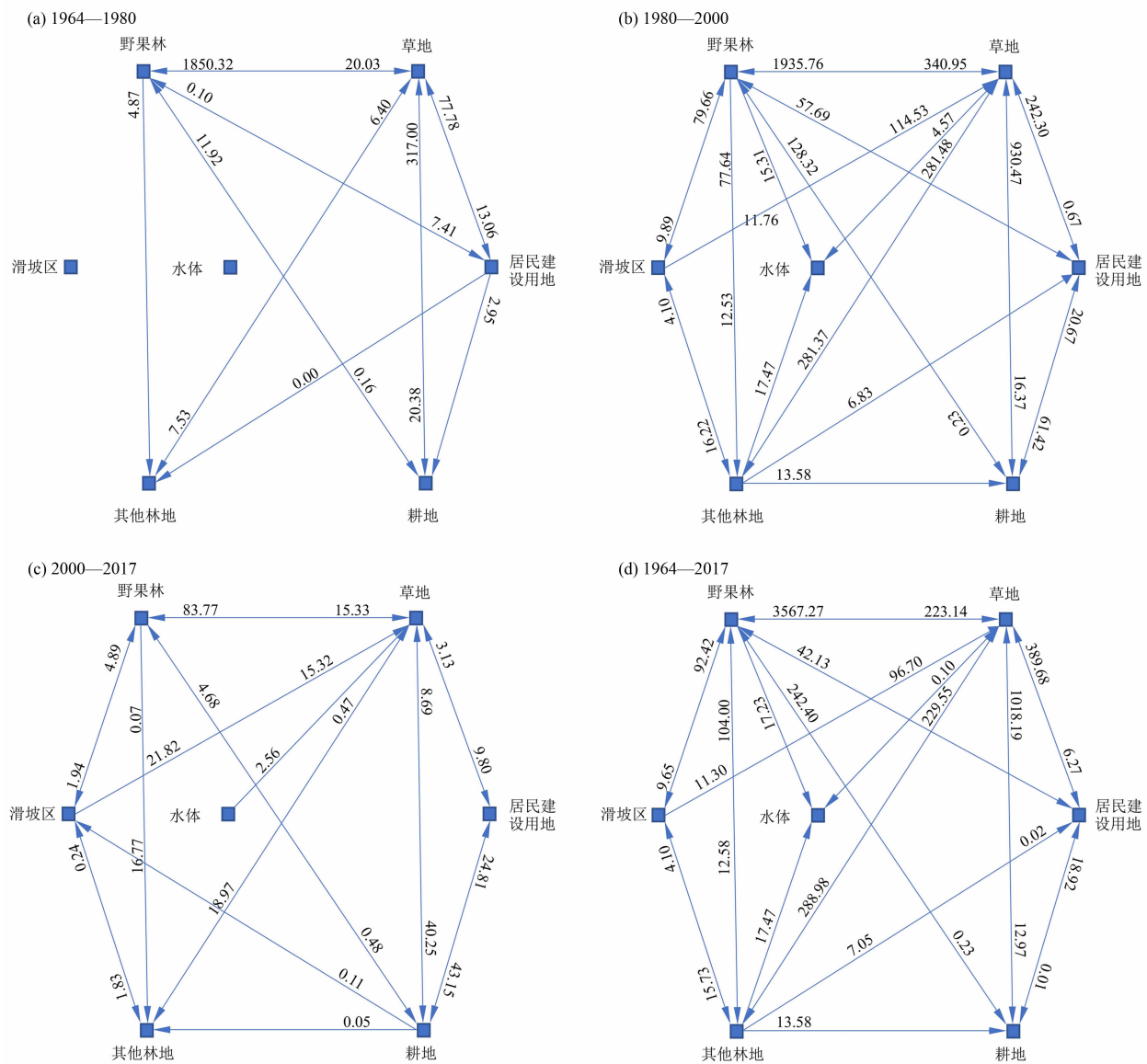
由图 2 可知,1964—1980 年,野果林向草地、耕地转移面积分别为 1850.32、11.92 hm^2 。1980—2000 年,野果林向草地、耕地和滑坡区转移为 1935.76、128.32 和 79.66 hm^2 ,耕地面积增加 1251.05 hm^2 ,此时段野果林面积在不断减少,耕地持续面积扩张,这与当地农牧业发展和农牧民人口数量增加有关。2000—2017 年,野果林向草地转移了 83.77 hm^2 ,滑坡

区和耕地次之,分别为 4.89、4.68 hm^2 ,总体上趋于稳定,这与国家“退耕还林、退耕还草”的政策相关。1964—2017 年,野果林向草地、耕地转移面积最多,分别为 3567.27 和 242.40 hm^2 。同时,野果林、草地转移为滑坡区面积分别为 92.4、96.7 hm^2 ,说明野果林受到人为干扰和滑坡灾害的损害较严重。

3.2 景观指数变化特征

3.2.1 斑块类型指数分析

1964—2017 年,野果林区斑块类型水平景观指数变化趋势如图 3 所示。期间野果林和草地的 PD 较大,其他林地、耕地、滑坡区均呈上升趋势,说明各



注:图中箭头上数值代表不同景观类型转化的面积,双箭头表示两种景观类型相互转化。

图 2 景观类型变化可视图

Fig. 2 Views of landscape pattern changes

景观类型破碎化程度不断增加;草地的 LPI 最大,说明草地为优势景观类型,此外,滑坡区的 LPI 有所增加,说明在 53 年间,滑坡相对活跃;Area-MN 表示斑块破碎化程度,野果林景观的 Area-MN 逐渐减少,说明野果林景观破碎程度加剧,受到人为和自然环境的干扰程度变多。

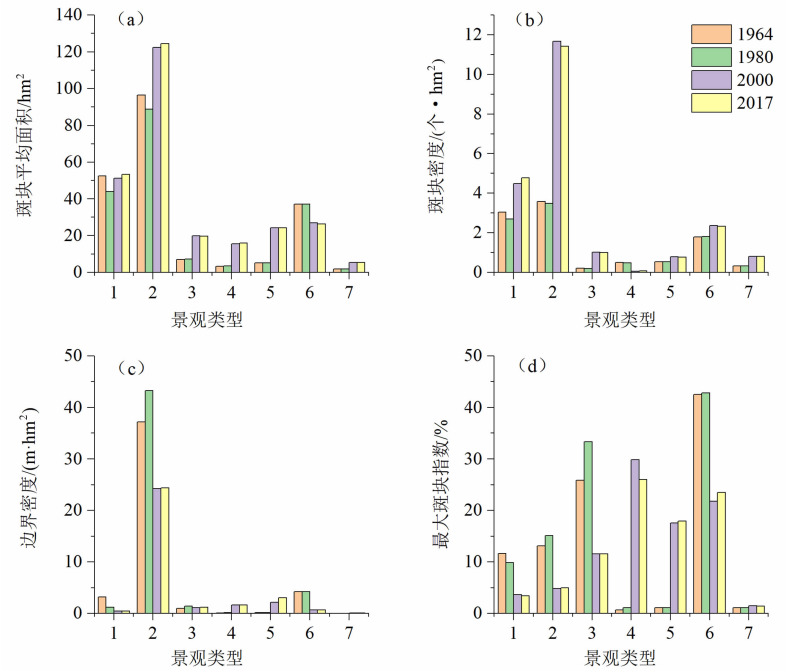
3.2.2 景观水平指数分析

1964—2017 年,野果林区景观类型期景观指数变

化趋势如图 4 所示。期间,LPI 总体呈减少趋势,表明草地、野果林优势景观类型蔓延的趋势逐渐减弱;ED 先减小后增加,表明野果林区景观格局边界形状总体上趋于复杂;总体来看,1964—2017 年 CONTAG 和 SHDI 呈减少趋势,表明野果林区各不同景观斑块面积呈现不均匀状态,景观的空间异质性增强。

3.3 滑坡景观变化的驱动因素

景观变化是自然因素和人文因素相互作用的结



注:景观类型中,1-野果林;2-草地;3-耕地;4-居民建设用地;5-滑坡区;6-其他林地;7-水体

图 3 野果林区斑块水平指数变化图

Fig.3 Index variation of patch level in wild fruit forest area

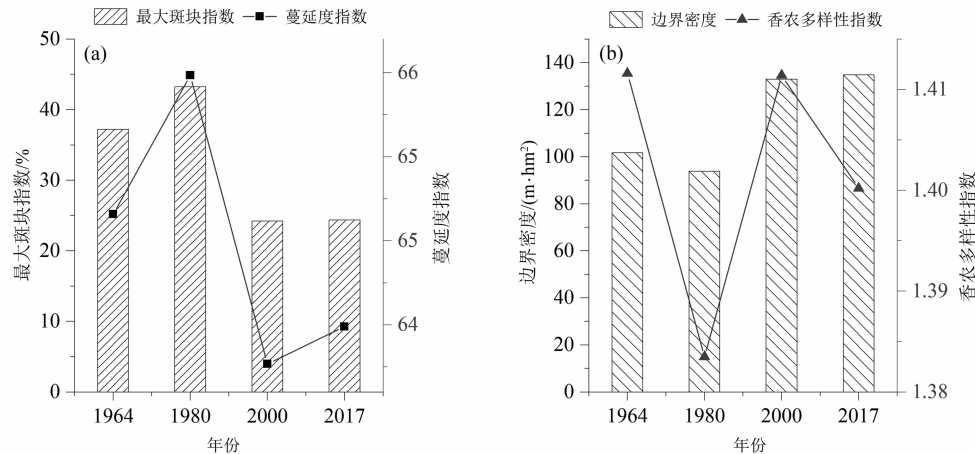


图 4 野果林区景观水平指数变化图

Fig.4 Index variation of landscape level in wild fruit forest area

果。运用 SPSS19 软件对驱动力因素进行主成分分析,得出滑坡景观演变的驱动力因子的特征值和贡献率(表 4),按照特征值大于 1 及累计贡献率大于 95% 的原则提取了前两个主成分(主成分载荷矩阵见表 5)。各变量的载荷值基本上都在 90% 以上,其中 X1(平均气温)、X2(高程)、X3(坡度)、X4(坡向)、X5(人口)、X6(人为干扰度)这些因子的载荷值都达到了 95% 以上。第二主成分仅和 X2(年降水)的相关程度较大,载荷值达到了 50% 以上,可以看出自然因素是滑坡景观变化的驱动力因子。因此,将两个主成分分别概括为自然因素和人文因素。

表 4 驱动因素特征值及主贡献率
Tab.4 Driver eigenvalues and main contribution rate

指标因子	特征值	贡献率/%	累积贡献率/%
平均气温 X1	10.72	89.36	89.36
年降水 X2	0.94	7.85	97.2
高程 X3	3.35E-16	2.79E-15	100
坡度 X4	2.36E-16	1.97E-15	100
坡向 X5	1.75E-16	1.46E-15	100
人口数量 X6	1.96E-16	1.64E-15	100
耕地面积 X7	5.54E-16	4.61E-15	100
人为干扰度 X8	2.19E-16	4.15E-15	100

表 5 主成分旋转载荷矩阵
Tab.5 Loading matrix of principal component factors

指标因子	主成分 F1	主成分 F2
平均气温 X1	0.96	0.19
年降水 X2	0.87	0.50
高程 X3	0.97	0.12
坡度 X4	0.97	0.13
坡向 X5	0.97	0.04
人口数量 X6	0.99	-0.01
耕地面积 X7	0.86	-0.51
人为干扰度 X8	0.99	0.08

3.3.1 自然因素分析

气温和降水变化对区域景观格局的分布具有重要的影响,同时,海拔、坡向等因素影响着降水和光照状况的空间分布。天山大小莫合流域属于温带大陆性气候,具有典型的山地垂直带谱。经实地调查,结合野果林区 DEM 数据,发现野果林主要分布面积

海拔在 1250 ~ 1550 m 之间,该区间正是滑坡集中分布区域。根据坡度特征和地质灾害发育情况,将坡度分为 6 级,分别为: <5°(平坡)、5° ~ 15°(缓坡)、15° ~ 25°(斜坡)、25° ~ 35°(陡坡)、35° ~ 40°(急坡)和 >40°(险坡)。据统计,发生在斜坡和陡坡上的滑坡灾害数量占总灾害的 60%(图 5)。坡度是形成滑坡的一个重要因素。

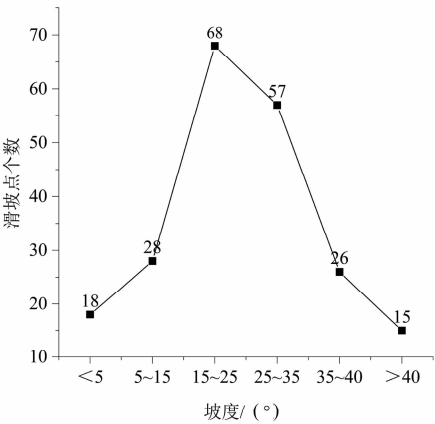


图 5 滑坡数量分布与坡度关系
Fig.5 Relationship between quantity distribution and slope of landslide

3.3.2 人文因素分析

通过研究发现,研究区耕地面积增加速度快,从 1964—2017 年,面积增加了 1515.65 hm²。同时,该地区拥有优良的牧场资源优势,境内季风气候温和湿润、草场广阔,为畜牧业生产提供了良好的自然条件,大量的农牧民进入研究区核心区域,牧民为增收扩大牲畜数量,造成野果林区过度放牧,使得原本稳定的山坡和植被遭到严重破坏,给降水渗入创造了有利条件,加剧了滑坡等地质灾害的发生。

3.4 景观生态风险预测

本研究团队以 1964 年、1980 年、2000 年和 2017 年遥感解译结果数据为基础,应用 IDRISI 软件里的多标准评价模块创建适应性图集,采用 CA-Markov 模型进行模拟预测^[28]。先以 2000 年为基期,模拟 2017 年景观变化,然后对模拟结果与实际数据做对比来验证模型的有效性,在模型满足应用要求的基础上,对大小莫合流域 2034 年景观格局进行模拟预测。

根据研究区特点及采样工作量,运用 ArcGIS 的渔网工具,将研究区划分为 0.5 km × 0.5 km 的格

网,共 831 个大小相同的网格,即为风险评价小区。计算每个风险样区的生态风险指数,利用克里金插值方法对野果林区 2017 年和 2034 年 831 个网格的生态风险值进行空间插值。依据研究区特点,将格网的综合生态风险指数划分为低生态风险($ERI < 0.15$)、较低生态风险($0.15 < ERI < 0.25$)、中生态风险($0.25 < ERI < 0.35$)、较高生态风险($0.35 < ERI < 0.45$)、高生态风险($ERI > 0.45$)5 个等级,生成大小莫合河流域景观格局生态风险分布图。

从研究区 2017 年和 2034 年景观生态风险等级分布图(图 6)可以看出,2017 年生态风险等级主要表现为高风险、较高风险等级,高风险大体分布于研究区的中部和西部,较高风险占比最大,覆盖研究区的绝大地区,低、较低风险仅分布于研究区南部的高海拔区域,受到自然灾害、人为干扰较少,生态系统

结构较稳定。2034 年与 2017 年生态风险等级相比变化较大,总体来看,高风险、较高风险等级的类型面积减少,较低风险、低风险等级所占面积增加。主要变化情况集中在研究区的中部及北部,北部是人类活动的平原区域,近些年生态保护政策的实施使得耕地和建设面积得到控制。研究区东部高风险区呈减弱趋势,南部的高海拔区域在 2034 年风险等级中较为稳定。通过叠加滑坡景观的生态风险等级并对比分析可知,2017 年滑坡景观生态风险以高风险、较高生态风险等级为主,主要分布在中部和中西部的中海拔地区。说明此阶段野果林区生态系统稳定性低,生态环境脆弱,不合理的人为干扰和极端天气,造成水土流失、山体滑坡灾害等现象严重。2034 年滑坡景观生态风险以较高风险等级为主,分布比较集中连片。虽然野果林保护政策起到一定效果,滑坡景观呈现的较高生态风险依旧不可忽视。

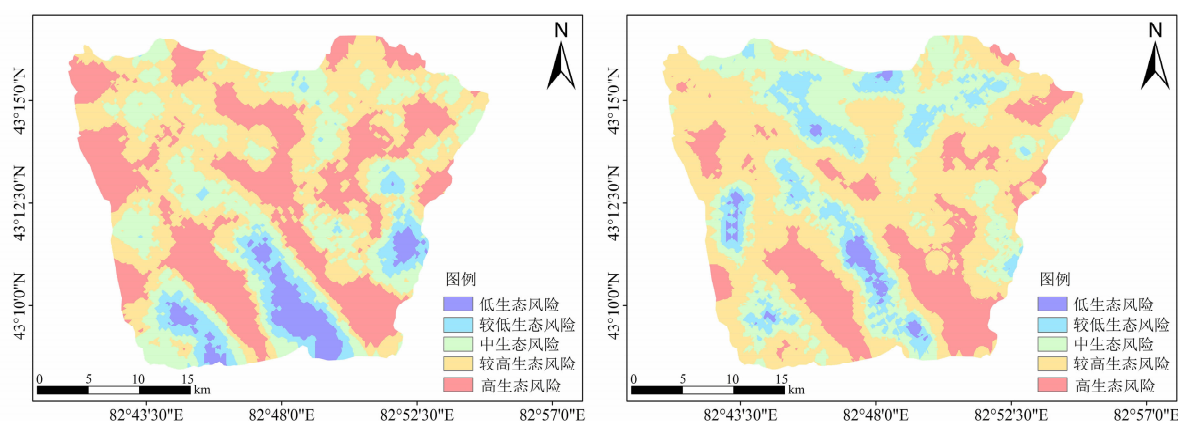


图 6 2017 年和 2034 年景观生态风险等级分布图

Fig. 6 Distribution of landscape ecological risk level in 2017 and 2034

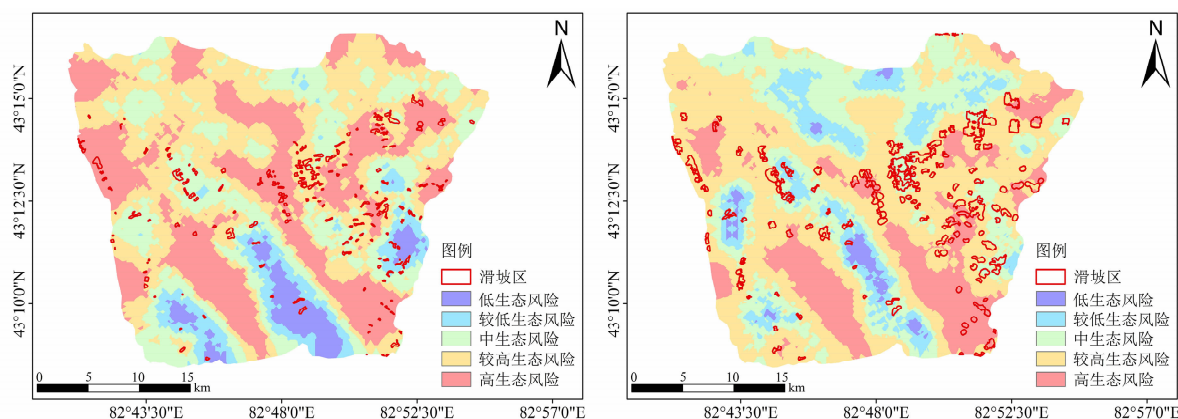


图 7 2017 年和 2034 年滑坡景观生态风险等级分布图

Fig. 7 Ecological risk distribution of landslide landscape in 2017 and 2034

4 结论与讨论

本文以 1964—2017 年遥感影像数据为数据源,提取西天山大小莫合流域野果林区景观类型变化信息,利用 GIS、RS 分析近 53 年来野果林区滑坡景观时空变化及驱动因素,并进行生态风险预测。主要结论如下:

(1) 1964—2017 年天山大小莫合流域野果林区各景观发生较大变化。期间,野果林面积持续减少了 3942.15 hm²,主要转入景观类型为草地、耕地,分别为 3567.27、242.40 hm²。滑坡区面积增加了 203.48 hm²,主要转入景观类型为野果林、草地。

(2) 景观指数分析表明,野果林区各景观破碎程度加剧;草地、野果林为优势景观,滑坡区最大斑块指数有所增加,说明滑坡相对活跃;景观格局边界形状总体上趋于复杂,不同景观斑块面积呈现不均匀状态,景观的空间异质性增强。

(3) 自然因素和人文因素共同影响着滑坡景观类型的变化。其中,自然因素(包括气温、坡度、坡向和降水)是影响滑坡景观变化的主要驱动因子;人口和人为干扰指数是影响滑坡景观变化的主要人文因素。

(4) 从生态风险评价分析,2017 年滑坡景观生态风险以高风险等级和较高生态风险等级为主,说明此阶段野果林区生态系统稳定性低,生态环境脆弱;2034 年滑坡景观生态风险有减弱趋势,野果林区生态系统趋于稳定,但滑坡等自然灾害的影响仍不容忽视。

近 50 年,天山野果林区受人类干扰、苹小吉丁虫害、极端天气等影响,生态系统严重受损,出现了大面积缩减和死亡的现象。为了保护天山野果林珍贵基因库,2016 年国家科技部正式启动天山野果林保护项目。保护退化野果林生态系统重要物种种群刻不容缓,在以往的野果林资源保护的的研究中,主要侧重于人类干扰和病虫害方面研究。经实地调查发现野果林区存在大面积的滑坡体,通过数据分析滑坡区流入面积大部分为野果林流出面积,野果林区生态风险变化趋势与滑坡景观变化趋势一致。从短期看,自然灾害影响比人文因素影响的变化缓慢,对景观格局变化的影响不明显,但从长期来看,它对景

观格局变化的影响显著而深远^[29]。本文从景观生态学角度探究野果林区滑坡景观时空分布规律、预测生态风险演变趋势,在衡量景观类型变化对生态环境产生的影响方面具有现实意义,为后续野果林资源保护等相关研究开拓出新视角。

参考文献 (References)

- [1] 林培均,崔乃然. 天山野果林资源——伊犁野果林综合研究 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2007: 10 - 26. [LIN Peijun, CUI Nairan. Resources of wild fruit forest in Tianshan—a comprehensive study on wild fruit forest in Yili [M]. Beijing: China Forestry Press, 2007: 10 - 26]
- [2] 陈灵芝. 中国的生物多样性现状及其保护对策 [M]. 北京: 科学出版社, 1993: 194 - 197. [CHEN Lingzhi. The status of biodiversity in China and protection measures [M]. Beijing: Science Press, 1993: 194 - 197]
- [3] 曹倩, 廖康, 孙琪, 等. 霍城县大西沟野杏枝叶形态多样性 [J]. 经济林研究, 2016, 34(3): 193 - 198. [CAO Qian, LIAO Kang, SUN Qi, et al. Morphological diversity of branches and leaves in *Armeniaca vulgaris* at Daxigou of Huocheng [J]. Economic Forest Researches, 2016, 34(3): 193 - 198]
- [4] 崔志军, 张彦龙, 罗朝辉, 等. 苹果小吉丁虫 (*Agrilus mali Matsumura*) 对野苹果林的危害及其评估 [J]. 干旱区研究, 2018, 35(5): 1153 - 1159. [CUI Zhijun, ZHANG Yanlong, LUO Chaohui, et al. Damage of *Agrilus mali Matsumura* in wild apple forest and its assessment [J]. Arid Zone Research, 2018, 35(5): 1153 - 1159]
- [5] 方紫妍, 李林瑜, 艾克拜尔·毛拉. 西天山野果林冰雪灾害后林木受损的生态学评估 [J]. 经济林研究, 2018, 36(2): 175 - 182 + 199. [FANG Ziyen, LI Linyu, ekbair MULA. Ecological assessment of forest damage after snow and ice disaster in wild fruit forest of west Tianshan mountain [J]. Nonwood Forest Research, 2008, 36(2): 175 - 182 + 199]
- [6] 方紫妍, 李林瑜, 艾克拜尔·毛拉. 人为干扰对西天山野果林群落结构和物种多样性的影响 [J]. 水土保持通报, 2019, 9(2): 267 - 274. [FANG Ziyen, LI Linyu, ekbair MULA. Effects of human disturbance on community structure and species diversity of wild fruit forest in West Tianshan mountain [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2019, 9(2): 267 - 274]
- [7] 徐曙光. 国外滑坡风险评价的进展 [J]. 国土资源情报, 2002(6): 47 - 52. [XU Shuguang. Progress of landslide risk assessment abroad [J]. Land and Resources Intelligence, 2002(6): 47 - 52]
- [8] 金江军, 潘懋, 李铁锋. 区域滑坡灾害风险评价方法研究 [J]. 山地学报, 2007, 25(2): 197 - 201. [JIN Jiangjun, PAN Mao, LI Tiejing. Research on risk assessment method of regional landslide disaster [J]. Mountain Research, 2007, 25(2): 197 - 201]
- [9] VAN WESTEN C, VAN ASCH T W J, SOETE RS R. Landslide

- hazard and risk zonation-why is it still so difficult[J]. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 2005, **65**(2): 167 – 184.
- [10] ZORN M, KOMAC B. Deterministic modeling of landslide and rockfall risk[J]. *Acta Geographica Slovenica*, 2004, **44**(2): 53 – 100.
- [11] RAUTELA P, LAKHERA R C. Landslide risk analysis between Giri and Tons Rivers in Himachal Himalaya (India) [J]. *International Journal of Applied Earth Observation and Geo-information*, 2000, **2**: 150 – 160.
- [12] 谢全敏, 边翔, 夏元友. 滑坡灾害风险评价的系统分析[J]. *岩土力学*, 2005, **26**(1): 71 – 74. [XIE Quanmin, BIAN Xiang, XIA Yuanyou. Systematic analysis of landslide risk assessment [J]. *Rock and Soil Mechanics*, 2005, **26**(1): 71 – 74]
- [13] 赵良军, 陈冬花, 李虎, 等. 基于二元逻辑回归模型的新疆果子沟滑坡风险区划[J]. *山地学报*, 2017, **35**(2): 203 – 211. [ZHAO Liangjun, CHEN Donghua, LI Hu, et al. Risk regionalization of Xinjiang Guozigou landslide based on binary logistic regression model[J]. *Mountain Research*, 2017, **35**(2): 203 – 211]
- [14] 高华喜, 殷坤龙. 基于 GIS 的滑坡灾害风险空间预测[J]. *自然灾害学报*, 2011, **20**(1): 31 – 36. [GAO Huaxi, YAN Kunlong. Spatial prediction of landslide risk based on GIS[J]. *Journal of Natural Disasters*, 2011, **20**(1): 31 – 36]
- [15] 杨根云, 周伟, 方教勇. 基于信息量模型和数据标准化的滑坡易发性评价[J]. *地球信息科学学报*, 2018, **20**(5): 674 – 683. [YANG Genyun, ZHOU Wei, FANG Jiaoyong. Evaluation of landslide susceptibility based on information model and data standardization[J]. *Journal of Geo-Information*, 2018, **20**(5): 674 – 683]
- [16] 倪树斌, 马超, 杨海龙. 北京山区崩塌、滑坡、泥石流灾害空间分布及其敏感性分析[J]. *北京林业大学学报*, 2018, **40**(6): 81 – 91. [NI Shubin, MA Chao, YANG Hailong. Spatial distribution and sensitivity analysis of collapse, landslide and debris flow disasters in Beijing mountain area[J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2018, **40**(6): 81 – 91]
- [17] LANDIS, Wayne G. Twenty Years Before and Hence; Ecological Risk Assessment at Multiple Scales with Multiple Stressors and Multiple Endpoints[J]. *Human & Ecological Risk Assessment An International Journal*, 2003, **9**(5): 1317 – 1326.
- [18] 王慧芳, 饶恩明, 肖赓, 等. 基于多风险源胁迫的西南地区生态风险评价[J]. *生态学报*, 2018, **38**(24): 8992 – 9000. [WANG Huifang, RAO Enming, XIAO Yi, et al. Ecological risk assessment in Southwest China based on multiple risk sources [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, **38**(24): 8992 – 9000]
- [19] 巩杰, 赵彩霞, 王合领. 基于地质灾害的陇南山区生态风险评价——以陇南市武都区为例[J]. *山地学报*, 2012, **30**(5): 570 – 577. [GONG Jie, ZHAO Caixia, WANG Geling. Ecological risk assessment of Longnan mountain area based on geological hazard—a case study of Wudu district of Longnan city [J]. *Mountain Research*, 2012, **30**(5): 570 – 577]
- [20] 王慧芳, 林子雁, 肖赓, 等. 基于生态系统服务潜在损失的滑坡灾害生态风险评价[J]. *应用生态学报*, 2019, **30**(10): 3553 – 3562. [WANG Huifang, LIN Ziyang, XIAO Yi, et al. Based on the ecosystem services the potential loss of landslide disaster ecology risk assessment[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2019, **30**(10): 3553 – 3562]
- [21] 杜悦悦, 彭建, 赵士权. 西南山地滑坡灾害生态风险评价——以大理白族自治州为例[J]. *地理学报*, 2016, **71**(9): 1544 – 1561. [DU Yueyue, PENG Jian, ZHAO Shiquan. Ecological risk assessment of landslide hazards in mountainous areas in southwest China—a case study of Dali Bai autonomous prefecture [J]. *Geographic Research*, 2016, **71**(9): 1544 – 1561]
- [22] 李丽, 陈蜀江, 陈孟禹, 等. 小莫合流域受创野苹果根萌数量特征的环境驱动力分析[J]. *生态科学*, 2019, **38**(2): 18 – 24. [LI Li, CHEN Shujiang, CHEN Mengyu, et al. Environmental driving force analysis of the quantity characteristics of the root bud of damaged wild apple in Xiaomohe river basin [J]. *Ecology science*, 2019, **38**(2): 18 – 24]
- [23] 王彦阁. 密云水库流域土地利用时空变化及景观恢复保护区划[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2010: 44 – 47. [WANG Yan'ge. Spatial and temporal changes of land use and landscape restoration protection zoning in Miyun reservoir basin [D]. Beijing: Chinese Academy of Forestry Sciences, 2010: 44 – 47]
- [24] 孟庆伟, 张韬, 刘佳慧. 内蒙古西部湿地类型 TM 影像解译标志的建立[J]. *内蒙古农业大学学报: 自然科学版*, 2007(2): 35 – 40. [MENG Qingwei, ZHANG Tao, LIU Jiahui. Establishment of TM image interpretation symbols for wetland types in western Inner Mongolia [J]. *Journal of Inner Mongolia Agricultural University (Natural Science Edition)*, 2007(2): 35 – 40]
- [25] 雷光斌, 李爱农, 谭剑波. 基于多源多时相遥感影像的山地森林分类决策树模型研究[J]. *遥感技术与应用*, 2016, **31**(1): 31 – 41. [LEI Guangbin, LI Ainong, TAN Jianbo. Research on mountain forest classification decision tree model based on multi-source and multi-phase remote sensing image [J]. *Remote sensing technology and application*, 2016, **31**(1): 31 – 41]
- [26] 郭建国. 景观生态学——格局, 过程, 尺度与等级[M]. 2 版. 北京: 高等教育出版社, 2007: 103 – 107. [WU Jianguo. *Landscape ecology: pattern, process, scale and hierarchy* [M]. 2nd ed. Beijing: Higher Education Press, 2007: 103 – 107]
- [27] 王耕, 常畅, 韩冬雪, 等. 老铁山自然保护区景观格局与生境质量时空变化[J]. *生态学报*, 2020, **40**(6): 1910 – 1922. [WANG Geng, CHANG Chang, HAN Dongxue, et al. Temporal-Spatial changes of landscape pattern and habitat quality in Laotieshan nature reserve [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2020, **40**(6): 1910 – 1922]

- [28] 许超宗. 53 年来塞氏苹果空间格局动态变化及生态风险评估 [D]. 乌鲁木齐: 新疆师范大学, 2019: 35 - 38. [XU Chaozong. Dynamic change of apple spatial pattern and ecological risk assessment in the past 53 years [D]. Wulumuqi: Xinjiang Normal University, 2019: 35 - 38]
- [29] PENGHUA Q, SONGJUN X, GENZONG X, et al. Analysis of the ecological vulnerability of the western Hainan Island based on its landscape pattern and ecosystem sensitivity [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, **27**(4): 1257 - 1264.

Spatio-temporal Evolution and Ecological Risk Prediction of Landslide Landscape in the Tianshan Wild Fruit Forest Area

FAN Hejuan^{1, 2}, LAI Fengbing^{1, 2*}, CAO Jiarui^{1, 2}, CHEN Shujiang^{1, 2}, XU Chaozong²

(1. School of Geography and Tourism, Xinjiang Normal University, Urumqi 830054, China;

2. Urumqi Institute of Space Remote Sensing Application, Urumqi 830025, China)

Abstract: Take the wild fruit forest area of the Mohe River Basin in Tianshan area as an example, it is of great significance to explore the spatial-temporal evolution of landscape pattern in wild fruit forest and to reveal the ecological risks caused by landslides. The Corona and Spot-5 high-resolution images were used as data sources, the spatial data in 1964, 1980, 2000 and 2017 were interpreted by RS method, the Fragstats 4.0 software was used to calculate the landscape feature index and the spatial and temporal changes of landscape pattern and the driving factors were discussed, thus which predicted the landscape ecological risk. The results are as follows: (1) From 1964 to 2017, the wild fruit forest area continued to decrease by 3942.15 hm², which mainly transferred to grasslands and cultivated lands, and the landslide area increased by 203.48 hm², the predominant landscape types transferred to wild fruit forests and grasslands. (2) The landscape fragmentation in wild fruit forest area was aggravated, and the landscape boundary shape tended to be complex on the whole. The patch area of different landscapes presented uneven, and the spatial heterogeneity of the landscape was enhanced. (3) The landscape type change of landslide was affected by both natural and human factors. Population increase and human disturbance degree was the main human driving factors, while temperature, slope, slope direction and precipitation were the main natural driving factors. (4) The landscape ecological risks in 2017 were mainly high risk and higher ecological risk. At this stage, the ecosystem stability of wild fruit forest area was low. Seriously damaged by man-made disturbances and natural disasters, its ecological environment was fragile; The ecological risk of the landslide landscape will weaken in 2034, and the ecosystem of the wild fruit forest area will stabilize, but natural disasters such as landslide cannot be ignored.

Key words: wild fruit forest; landslide landscape; spatio-temporal evolution ecological risk prediction; Tianshan