

引用格式: Zhao Meiling, Hao Lina, Xu Xiaolu, *et al.* Research on the Impact of Land Use/Cover Change on Geological Disaster Development[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2022, 37(2): 399-407. [赵美龄, 郝利娜, 许晓露, 等. 土地利用/覆被变化对地质灾害发育的影响研究[J]. 遥感技术与应用, 2022, 37(2): 399-407.]
DOI: 10.11873/j.issn.1004-0323.2022.2.0399

土地利用/覆被变化对地质灾害发育的影响研究

赵美龄¹, 郝利娜^{1,2}, 许晓露¹, 陈 辰¹, 许 强²

(1. 成都理工大学 地球科学学院, 四川 成都 610059;

2. 成都理工大学 地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室, 四川 成都 610059)

摘要: 2018年8月印度喀拉拉邦遭受强降雨, 引发大量地质灾害, 造成巨大的经济损失和人员伤亡。为研究农业化进程中土地利用/覆被变化对地质灾害发育的影响, 探求适宜的人地协调发展模式, 以该地区受灾最严重的伊都基为研究区, 基于已有的灾害点数据, 利用 Google Earth 高分辨率遥感图像目视解译获取研究区灾害发生前 8 a (2010 年) 和灾害发生时 (2018 年) 的土地利用数据, 基于 Landsat TM/OLI 数据提取的归一化植被指数计算研究区植被覆盖度, 对比分析该地区地质灾害的发育与土地利用/覆被变化之间的关系。研究结果表明: ①伊都基地区灾害点主要集中在中北部地区, 分布在种植林、种植灌丛、建筑物、道路等人类活动影响较大的区域, 该区域灾害点占总灾害数的 80.46%; ②伊都基地区灾害点的土地利用变化虽然较小, 总体变化率为 37%, 但土地利用变化主要发生在种植灌丛、种植林等与人类活动密切相关的土地利用类型中; ③伊都基地区植被覆盖度下降率为 16.70%, 在空间分布上, 灾害点易发区域与植被覆盖度下降区域有较强的关联性。

关键词: 地质灾害; 土地利用; 植被覆盖; GIS 空间分析

中图分类号: P694; TP79 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-0323(2022)02-0399-09

1 引 言

地质灾害是指在自然或人为因素的作用或影响下形成的, 对人类生命财产造成损失和环境恶化的地质过程^[1]。引发地质灾害的因素有很多, 如地层岩性、地形地貌、降雨和人类活动等^[2]。根据国家科学技术委员会全国重大自然灾害综合研究组的资料粗略估计, 大约三分之二的地质灾害与不合理的人类活动有关^[3]。土地利用/覆被变化作为人类活动对自然环境扰动的集中体现, 随着社会经济的发展以及人类对土地资源的过度开发利用, 使得土地利用/覆被变化成为加剧地质灾害发生的重要因素^[4]。土地利用主要是通过植被覆盖变化来影响土壤水文过程和力学结构, 进而影响该地区地质灾害

易发性^[5]。相对于地质和地形地貌而言, 土地利用/覆被是一个高度动态变化的因子, 在自然和人为作用下, 可以在短时间内发生巨大变化^[6]。土地利用/覆被变化导致不同植物及其不同根系在相对较短时间内频繁变化, 改变了植物根系与土壤物理性质的相互作用过程^[7-10]。通常, 植物的根系能显著提高土壤的含水量, 改善土壤的空隙结构^[8], 根系对其存在的土壤有明显的加固效应^[9]。研究发现随着根系直径的增加, 根系的抗拉力及边坡的稳定性系数均有不同程度的增加^[10]。在城市化进程中, 土地利用/覆被变化对地质灾害发育具有重要影响, 因而研究土地利用/覆被随时间的变化对于了解地质灾害发育机制与演化过程具有一定价值^[11-12]。然而,

收稿日期: 2020-07-16; 修订日期: 2021-11-21

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFC1505101), 中国博士后科学基金项目(2017M622982)资助。

作者简介: 赵美龄(1997—), 女, 四川达州人, 硕士研究生, 主要从事生态地理信息系统方面的研究。E-mail: 1164850842@qq.com

通讯作者: 郝利娜(1982—), 女, 陕西渭南人, 副教授, 主要从事遥感地学信息分析方面的研究。E-mail: madingludelin@163.com

目前国内关于土地利用/覆被与地质灾害的研究多集中于区域地质灾害的易发性评价^[13-14]或危险性分析^[15],将土地利用/覆被作为影响地质灾害发育的一个因子,研究其与地质灾害的关系。在人类活动深度和广度达到前所未有程度的现代社会,地表原始覆盖范围不断缩小,土地利用/覆被变化不断发展成为与人类社会相关发展的农业、工业等用地类型,改变原有的水文地质结构和地貌条件^[16],加剧了地质灾害的发育。因此本文重点研究土地利用/覆被变化如何影响及加剧地质灾害的发育。

2018年8月,印度喀拉拉邦发生了极端降雨事件,强降雨持续两个多月,高出该地区平均夏季季风降雨量的36%,其中伊都基地区降雨量最大,高出正常降雨量的84%^[17]。强降雨事件引发了大面积的洪水和地质灾害,造成大量经济损失和人员伤亡。灾害发生后,该地区灾害及其影响因素^[17-20]引发了大量学者研究。Singh等^[19]描述了降雨引发的洪水对当地自然环境和人类生活造成的损失;Abraham等^[20]利用2010年至2018年的降雨及滑坡数据,研究滑坡发育与降雨之间的关系,确定该地区滑坡发生的降雨阈值,建立滑坡预警模型。土地利用/覆被变化是影响地质灾害发生的重要因素,也是人类防灾减灾所关注的重点^[21],而基于研究区土地利用/覆被变化与地质灾害关系的研究尚无。因此选

择喀拉拉邦地区2018年极端降雨事件中地质灾害最严重的地区-伊都基作为研究区,主要分析地质灾害的发育与土地利用/覆盖变化之间的关系,为该地区地质灾害防治工作及土地资源规划提供科学依据。

2 研究区概况

喀拉拉邦位于印度西南部(图1),西临阿拉伯海,东靠西高止山脉,属于热带季风气候,受西南季风的影响,7月至9月为全年最大的雨季,平均降雨量可达1 770 mm^[17]。该地区动植物丰富,是全球生物多样性研究的热点地区之一,森林覆盖率约为33%。同时,喀拉拉邦作为印度最重要的农作物种植邦,是印度近代农业化程度最高的地区之一,盛产橡胶、豆蔻、椰子等经济作物。此外,伊都基地区位于喀拉拉邦的南部,面积为4 358 km²,海拔为5~2 692 m,地形起伏大,大部分为山地地貌(图1右)。从地层岩性看,该地区主要岩石类型为黑云母片麻岩、角闪黑云片麻岩、花岗片麻岩、紫苏花岗岩和辉石麻粒岩,且岩石表面都覆盖着不同厚度的风化物^[22]。表层土壤主要由森林壤土、红土,土壤厚度2~3 m^[23]。由于研究区特殊的自然条件,在强降雨后,低渗透性基岩上松散的表层土壤孔隙水压力增加,导致斜坡组成物的剪切强度减小,从而引起地质灾害的发生^[24]。

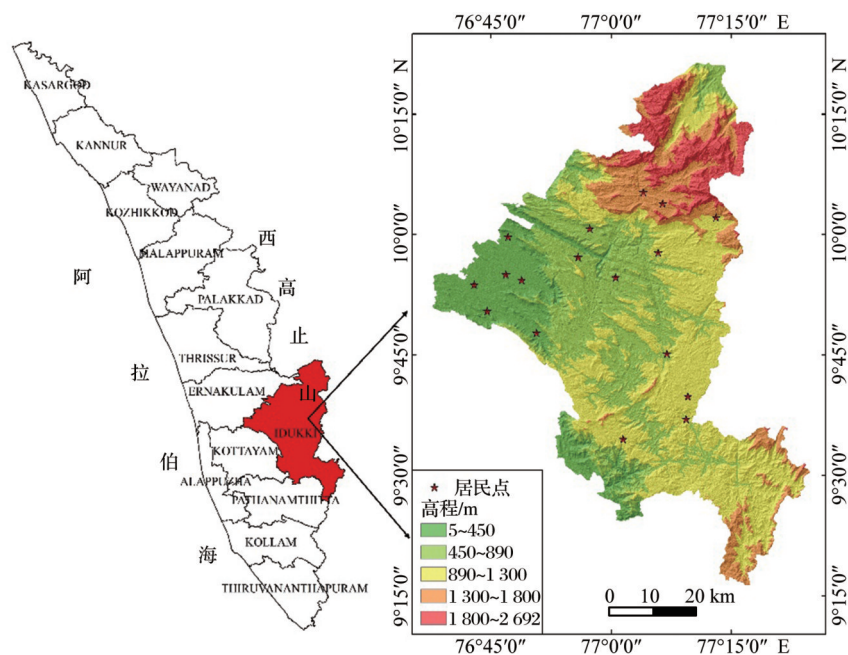


图1 伊都基地理位置和高程影像

Fig.1 Geographic location and elevation image of Idukki

3 数据与方法

3.1 数据源

3.1.1 灾害点

地质灾害点数据来源于印度地质调查局(GSI)和印度遥感中心(NRSC)。研究区灾害点共2 216处,其中崩塌123处,泥石流674处,滑坡1 419处,滑坡占总灾害点的64%,是对当地威胁最大的地质灾害类型。基于Google Earth平台和已有的地质灾害点数据,通过目视解译得到该地区在2018年地质灾害总体面积约为4.43 km²,有557处灾害点导致房屋受损,受灾房屋累计759栋,有838处灾害点导致道路受损,1 130处灾害点导致农作物受损,其空间分布如图2所示。

3.1.2 遥感数据

遥感影像数据来源于地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn/>)。本研究使用的灾前数据分别为

2018年2月成像的Landsat OLI数据和2010年12月成像的Landsat TM数据,行列号分别为144/53, 143/53。

3.1.3 高程数据

来源于地理空间数据云,空间分辨率为30 m(<http://www.gscloud.cn/>)。

3.2 土地利用

考虑到植被类型及其根系对地质灾害的影响作用和遥感图像的可解译度^[8,10],只对与地质灾害相关的用地类型进行了分类和解译,将土地利用类型划分为裸露的岩石、裸露的土壤、草地、灌丛、林地、园地、切坡、建筑物、道路以及采石场共10个一级类,将10个一级类具体划分为25个二级类(表1)。基于已有的灾害点数据,利用Google Earth平台上高分辨率遥感图像进行目视解译,获取研究区灾害发生前8 a(2010年)和灾害发生时(2018年)的土地利用类型。

表1 研究区土地利用分类

Table 1 Land use classification in Idukki

一级类	二级类	代码	一级类	二级类	代码
裸露的岩石	裸露的岩石	BRO	林地	开放天然林	FNO
	裸露的岩石和稀疏的草地	BRG		茂密的天然林	FDN
	裸露的岩石和稀疏的灌木	BRS		种植林	FCP
	裸露的岩石和稀疏的林地	BRF		混合种植林	FMP
裸露的土壤	裸露的农田	BSL	园地	茶园	TEA
	裸露的土壤	BSO		橡胶园	RUB
	裸露的土壤和稀疏的草地	BSG	切坡	裸露的切割斜坡	CSB
	裸露的土壤和稀疏的灌木	BSS		覆盖植被的切割斜坡	CSV
	裸露的土壤和稀疏的林地	BSF	建筑物	建筑物	BUI
草地	天然草地	GNA	道路	道路	ROA
	人工草地	GMC	采石场	正在开采的采石场	QUU
灌丛	天然灌丛	SNA		被遗弃的采石场	QUA
	种植灌丛	SPL			

3.3 植被覆盖度

研究区植被覆盖度基于归一化植被指数^[25]。利用遥感影像数据计算归一化植被指数(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)计算公式为:

$$NDVI = \frac{V_{NIR} - V_R}{V_{NIR} + V_R} \quad (1)$$

其中: V_{NIR} 为近红外波段的反射率; V_R 为红外波段的反射率。

利用归一化植被指数,采用像元二分模型^[26]计算植被覆盖度(Fractional Vegetation Coverage, FVC),其计算方法为:

$$FVC = \frac{NDVI - NDVI_{soil}}{NDVI_{veg} - NDVI_{soil}} \quad (2)$$

其中: $NDVI_{soil}$ 为裸土或无植被覆盖的NDVI值; $NDVI_{veg}$ 为纯植被覆盖区域的NDVI值。本研究选取累计频率0.5%附近的NDVI值作为 $NDVI_{soil}$, 99.5%附近的NDVI值作为 $NDVI_{veg}$ 。

根据研究区内植被覆盖实际情况,结合2008年颁布的《土壤侵蚀分级分类标准》,将植被覆盖度划分为5个等级(图2):①极低植被覆盖区(<0.3),记为等级1;②低植被覆盖区($0.3 \leq FVC < 0.45$),记为等级2;③中植被覆盖区($0.45 \leq FVC < 0.6$),记为等级3;④高植被覆盖区($0.6 \leq FVC < 0.75$),记为等级

4;⑤极高植被覆盖区(≥ 0.75),记为等级 5。

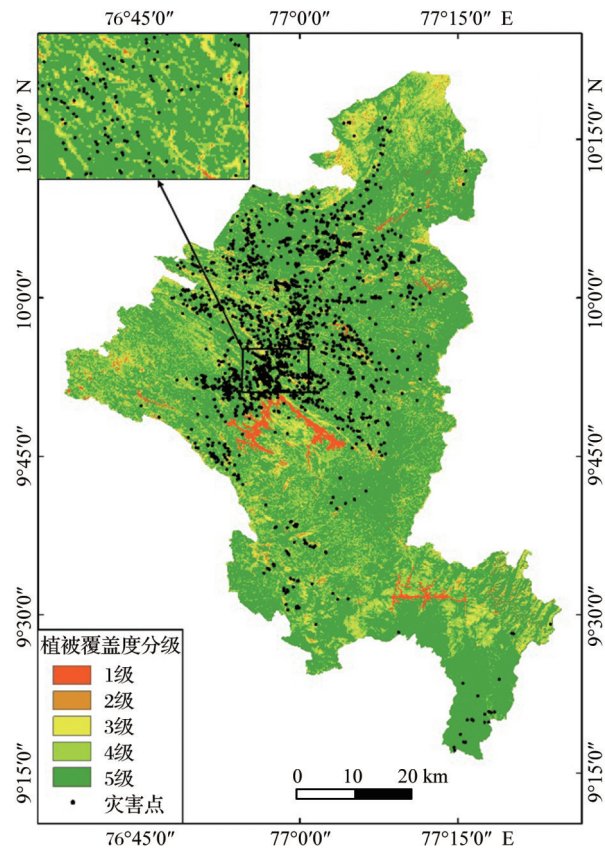


图 2 2018 年植被覆盖度及灾害点分布
Fig.2 FVC and disaster point distribution in 2018

4 结果与分析

4.1 土地利用与地质灾害

4.1.1 土地利用现状与地质灾害关系

研究区地质灾害的数量及土地利用类型统计结果见表 2。总体分析,在自然覆被地表区域共发生地质灾害 433 处,占灾害总数的 19.54%,其中滑坡 224 处,崩塌 90 处,泥石流 119 处;在人类活动区域共发生地质灾害 1 783 处,占灾害总数的 80.46%,其中滑坡 1 195 处,崩塌 33 处,泥石流 555 处。从地质灾害类型分析,最易发生滑坡的土地利用类型为林地,共 730 处,占总滑坡数的 51.44%,其中种植林地占 78.63%,自然林地仅占 21.37%;其次为灌丛,共发生滑坡 226 处,占总滑坡数的 15.93%,其中种植灌丛占 92.48%,天然灌丛仅占 7.52%;第三为园地,共 151 处,占总滑坡数的 10.64%。崩塌最容易发生在裸露的基岩区,共 46 处,占总崩塌数的 37.40%,特别是植被覆盖较少的裸露基岩更易发生崩塌;其次是林地,共有崩塌 40 处,占崩塌总数的 32.52%;泥石流最易发生的土地利用类型也是林

表 2 灾害点土地利用现状

Table 2 Land use status at disaster site

土地利用 类型	滑坡 /处	崩塌 /处	泥石流 /处	地质灾害 /处	百分比
BRF	0	8	4	12	0.54%
BRG	5	19	6	30	1.35%
BRO	6	12	1	19	0.86%
BRS	3	7	2	12	0.54%
BSF	0	0	3	3	0.14%
BSG	5	0	3	8	0.36%
BSL	44	1	27	72	3.25%
BSO	6	4	9	19	0.86%
BSS	0	1	2	3	0.14%
BUI	107	0	34	141	6.36%
CSB	4	0	0	4	0.18%
CSV	9	0	1	10	0.45%
FCP	75	6	54	135	6.09%
FDN	101	11	39	151	6.81%
FMP	499	8	308	815	36.78%
FNO	55	15	30	100	4.51%
GMC	64	5	30	99	4.47%
GNA	26	4	13	43	1.94%
QUA	1	0	0	1	0.05%
QUU	2	0	0	2	0.09%
ROA	30	1	4	35	1.58%
RUB	31	0	14	45	2.03%
TEA	120	2	10	132	5.96%
SNA	17	9	7	33	1.49%
SPL	209	10	73	292	13.18%

地,共 431 处,占泥石流总数的 63.95%,其中种植林地占 83.99%。

研究区的地质灾害主要集中于种植林地、种植灌丛、园地、建筑物以及道路等人类活动影响较大的地区,与人类活动相关的土地利用类型共发生地质灾害 1 783 处,占总灾害数的 80.46%,其受灾面积达 3.17 km²,占总受灾面积的 71.56%。种植林地最易发生地质灾害,一是因为林地大多分布在较陡峭的山地区域,二是因为种植林人类活动频繁,种植年限较短,根系对土壤的加固效应不及原始森林^[7,10]。此外,人类活动区发生的地质灾害是自然覆被区的 4 倍,表明人类活动在一定程度上加剧了地质灾害的发生。因此,为减少地质灾害的发生,应尽量控制人类对自然覆被区域的干扰,保护原始森林,减少对土地资源的过度开发。

4.1.2 土地利用变化与地质灾害关系

土地利用/覆被变化是人类活动与自然环境相

互作用结果的直接体现^[27]。地质灾害发生点及其周边的土地利用变化将直接影响该点的岩土力学条件和水文条件,间接影响地形地貌条件^[16]。图3统计了地质灾害发生处土地利用类型在2010至

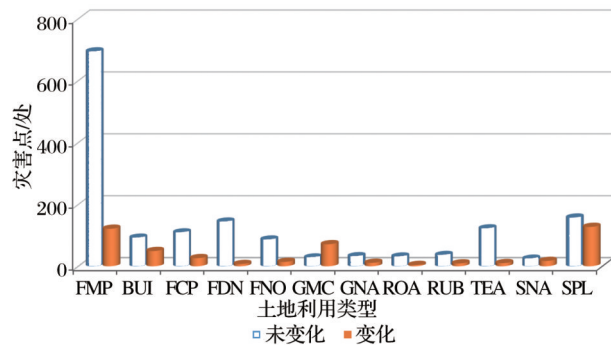


图3 灾害点主要土地利用变化

Fig.3 Major land use changes at disaster sites

2018年间的变化情况,可以看出近8 a来该地区地质灾害点的土地利用变化较小,变化率为26.49%,其中与人类活动有关的土地利用变化共493处,占总变化的83.99%,主要发生变化的土地利用类型为SPL、FMP、GMC、BSL和BUI,其中SPL转化为其他土地利用类型最多,共127处,变化率为44.72%。土地利用转移矩阵(表3)显示,2010年FMP的20%转化为BSL、BUI、GMC和SPL等,导致植被覆盖率下降。BUI、ROA的增加率分别为30%和11%,增加的BUI和ROA大多从FMP、SPL转化而来,其原因可能为人口的快速增长以及丘陵地区旅游项目的发展^[27],导致建筑物和道路增加。此外,山区频繁的工程活动造成大量不合理的坡脚开挖,大大增加了地质灾害发生的风险,同时也加剧了土壤的侵蚀和风化,造成严重的水土流失。

表3 灾害点土地利用转移矩阵

Table 3 Land use transfer matrix at disaster site

		2018年																									
土地利用类型		BRF	BRG	BRO	BRS	BSF	BSG	BSL	BSO	BSS	BUI	CSB	CSV	FCP	FDN	FMP	FNO	GMC	GNA	QUA	QUU	ROA	RUB	SNA	SPL	TEA	
2010年	BRF	7	1																								
	BRG		25	7	1													4				1		1		1	
	BRO			8	1													1									
	BRS		1	2	7																						
	BSF					2										1											
	BSG						6		6															3			
	BSL							7	1		2			2		19		15							20	3	
	BSO						1	1	5	1									1								
	BSS						1		2	1																	
	BUI										92																
	CSB											1															
	CSV											1	5														
	FCP							12						109		6	1	12					2		19	2	
	FDN	1									1				144	1	10		2					1			
	FMP							16		28	1	3	2		694		17				2	2	2	2	1	52	3
	FNO	3	1		1				4				1		5		86		3						2		
	GMC							15		4	1	4			26		28						1		33	1	
	GNA		1	1	1				1	1					1				32							2	
	QUU																			1							
	ROA																						31				
	RUB							1			1							1						36		1	
	SNA	1			1					1					1	1	2		1						24		
	SPL		1	1		1		18		13				18		67		21					1	4	1	157	
	TEA							2								1		4							8	122	

尽管部分土地利用类型2010年和2018年一致,但是在此期间进行的农事活动包括耕种、育苗、栽种、砍伐以及季节性原因,导致在此期间内土地

利用/覆被发生变化。统计发现,有233处灾害点在2010年至2018年间发生了此类变化,变化率为10.51%,其中农事活动导致的地表覆被变化共202

处,占该变化类型的86.7%,主要的土地利用类型为种植林、种植灌丛和园地;季节交替导致的土地利用变化仅31处,主要的土地利用类型为自然林、自然灌丛以及自然草地。研究区的整体土地利用变化虽然不大,但是人类活动是已发生土地利用变化的主要影响因素,人类活动导致的灾害点土地利用变化占研究区总变化的84.76%。

4.2 植被覆盖度与地质灾害

4.2.1 植被覆盖度与地质灾害关系

图2和表4显示,研究区植被覆盖度总体表现为南部高于北部,东部高于西部,居民点主要集中在研究区高程较低、地势相对平坦的中西部,故该区域植被覆盖度相较于研究区其他区域较低。研究区整体植被覆盖度较高,其中极高植被覆盖区面积为3 111.41 km²,占研究区总面积的71.03%,发生地质灾害1 637处,占总灾害数的73.87%。较高的植被覆盖度等级主要是种植林及原始森林区域,在研究区的南部,主要为原始森林^[28],该区域地质灾害发育较少,而种植林,如橡胶园、茶园等高植被覆盖度区域则地质灾害发育较多。从每100 km²发生灾害的密度来看,高植被覆盖区和极高植被覆盖度灾害发生密度最大,分别为55、53处/100 km²。

表 4 2018 年植被覆盖度统计

Table 4 Vegetation coverage statistics in 2018

植被覆盖度等级	面积/km ²	面积占比	灾害数(处)	灾害密度(处/100 km ²)
1	78.04	1.78%	4	5
2	95.65	2.18%	33	35
3	400.73	9.15%	157	39
4	694.74	15.86%	385	55
5	3 111.41	71.03%	1 637	53

4.2.2 植被覆盖度变化与地质灾害关系

对2010年与2018年植被覆盖度等级进行差值运算,叠加灾害点数据,得到表5和图4,其中正值代表植被覆盖度上升,负值表示植被覆盖度下降,且绝对值越大,植被覆盖度变化越大。统计发现,研究区总体植被覆盖度变化率为22.95%,上升率和下降率分别为6.25%和16.70%。研究区24.41%的地质灾害发生在植被覆盖变化区域,且植被覆盖度下降区域地质灾害发生率明显高于植被覆盖度上升区域。从空间分布上分析,研究区的中部、北部和西部的植被覆盖度均有部分下降,这也说明当地人类活动所导致的土地退化还在蔓延。叠加灾害点空间分布可以看出,灾害点主要集中在研究区的

中北部,与植被覆盖度下降区域有较好响应。

表 5 植被覆盖度变化统计

Table 5 Vegetation coverage change statistics

植被覆盖度差值	面积/km ²	面积占比	灾害数(处)	灾害密度(处/100 km ²)
-4	5.18	0.12%	2	39
-3	15.98	0.36%	5	31
-2	108.80	2.49%	42	39
-1	601.04	13.73%	322	54
0	3 372.86	77.05%	1675	50
1	239.26	5.47%	158	66
2	20.93	0.48%	9	43
3	4.83	0.11%	2	41
4	8.78	0.20%	1	11

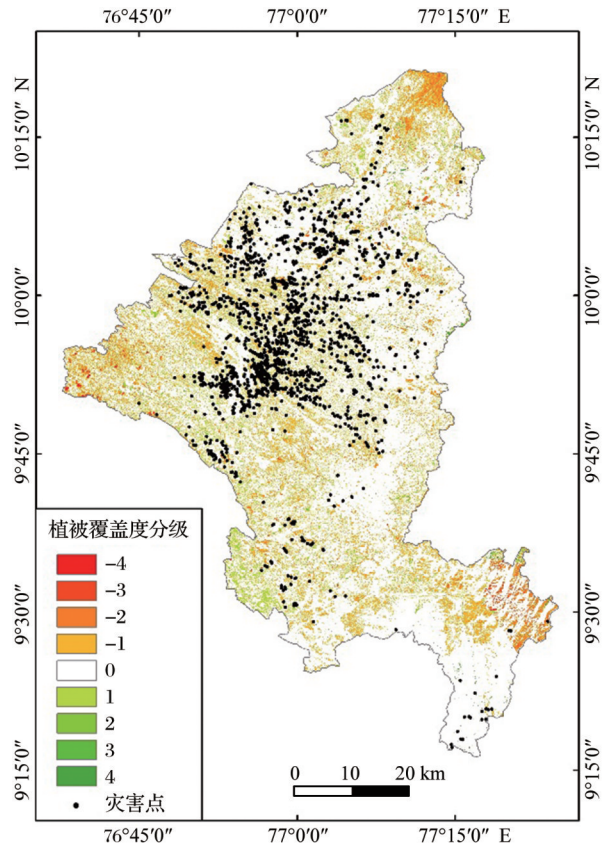


图 4 植被覆盖度变化

Fig.4 Vegetation coverage changes

5 结 语

5.1 讨论

伊都基地区是喀拉拉邦重要农作物种植地区。在过去的一百年中,由于农业发展导致该地区原始森林大面积退化^[28],大部分原始森林转化为种植林、建筑区等人类活动场所,这与本研究的结论是一致的。生态环境保护与农业经济发展之间的矛盾

盾是该地区面临的重要问题。研究区大面积种植经济作物,如茶叶、豆蔻和橡胶,且大多分布在中、高坡度地区(历史时期,该区域大部分为原始森林),种植林植被种类单一,加之频繁的农事活动,改变了原始森林的自然结构和地表水文地质过程,加剧了地质灾害的发生^[29]。

诱发该地区大面积地质灾害的直接原因是降雨^[17,20],但降雨是无法人为控制的。此外,影响地质灾害发育的其他因子如岩性、构造、地貌等因子也是短期内人为无法改变的,然而土地利用作为影响地质灾害发育的另一重要因子,是人类对自然干预的结果,是可以在短时间内发生变化的^[30]。因此,为减少研究区地质灾害的发生,应控制人类活动对原始地表的破坏,合理规划道路及相关设施的建设,维护边坡稳定。

5.2 结论

本文研究了伊都基地区近8 a来人类活动导致的土地利用/覆被变化对地质灾害发育的影响,发现人类活动与该地区地质灾害的发生有较强的耦合性。

(1)研究区灾害点主要集中在人类活动较为频繁的种植林地、种植灌丛、建筑物、道路等地区,占总灾害数的80.46%。

(2)近年来研究区灾害点的土地利用变化较小,总体变化率为37%,其中人类活动导致的土地利用变化占总变化的84.76%,是导致该区域土地利用变化的主要因素。

(3)研究区总体植被覆盖度高,近8 a来植被覆盖度变化率为22.95%,植被覆盖度下降区域地质灾害发生率高于上升区域。从空间分布来看,研究区地质灾害易发区与植被覆盖度下降区有较强的关联性。

(4)由于数据有限,还有很多例如地质、土壤和环境指数等影响因子没有研究,而基于多源数据对地质灾害发育的研究将是下一步研究的重点。

参考文献(References):

- [1] Duan Yonghou. Basic characters of geo-hazards and its development trend in China[J]. Quaternary Sciences, 1999, 19(3): 208-216.[段永侯. 我国地质灾害的基本特征与发展趋势[J]. 第四纪研究, 1999, 19(3): 208-216.]
- [2] Zhou Jingjing, Zhao Fasuo, Li Hui, *et al.* Correlational research between geological hazards and impact factors in Shaanxi Province[J]. Journal of Catastrophology, 2019, 34(2): 228-234.[周静静, 赵法锁, 李辉, 等. 陕西省地质灾害与影响因素相关性研究[J]. 灾害学, 2019, 34(2): 228-234.]
- [3] National Science and Technology Commission National Comprehensive Natural Disaster Research Group. China's Major Natural Disasters and Countermeasures[M]. Beijing: Science Press, 1994.[国家科委全国重大自然灾害综合研究组. 中国重大自然灾害及减灾对策[M]. 北京: 科学出版社, 1994.]
- [4] Persichillo M G, Bordoni M, Meisina C. The role of land use changes in the distribution of shallow landslides[J]. Science of The Total Environment, 2017, 574: 924-937. DOI:10.1016/j.scitotenv.2016.09.125.
- [5] Garg A, Coe J L, Ng C W W. Field study on influence of root characteristics on soil suction distribution in slopes vegetated with cynodon dactylon and schefflera heptaphylla[J]. Earth Surface Processes & Landforms, 2015, 40(12): 1631-1643. DOI:10.1002/esp.3743.
- [6] Reichenbach P, Busca C, Mondini A C, *et al.* The influence of land use change on landslide susceptibility zonation: the brigia catchment test site (Messina, Italy) [J]. Environmental Management, 2014, 54(6): 1372-1384. DOI: 10.1007/s00267-014-0357-0.
- [7] Yang Yonghong, Wang Chenghua, Liu Shuzhen, *et al.* Experimental research on improving shear strength of soil in surface landslide by root system of different vegetation type[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2007, 14(2): 233-235.[杨永红, 王成华, 刘淑珍, 等. 不同植被类型根系提高浅层滑坡土体抗剪强度的试验研究[J]. 水土保持研究, 2007, 14(2): 233-235.]
- [8] Li Jia, Wang Xia, Jia Haixia, *et al.* Ecological restoration with shrub roots for slope reinforcement in a shallow landslide-prone region[J]. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(14): 5117-5126.[李佳, 汪霞, 贾海霞, 等. 浅层滑坡多发区典型灌木根系对边坡土体抗剪强度的影响[J]. 生态学报, 2019, 39(14): 5117-5126.]
- [9] Zhu Junhua, Duan Xu, Chen Zhixin, *et al.* Discussion of the correlation between eco-environment and geological disasters in Yan'an area[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2017, 24(4): 163-167.[祝俊华, 段旭, 陈志新, 等. 延安地区生态环境与地质灾害相关性探讨[J]. 水土保持研究, 2017, 24(4): 163-167.]
- [10] Wan Juan, Xiao Henglin, He Jun. Tensile properties of Magnolia multiflora's roots and slope stability analysis[J]. Journal of Huazhong University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2014, 42(8): 109-113.[万娟, 肖衡林, 何俊. 多花木兰根系抗拉特性及边坡稳定性分析[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2014, 42(8): 109-113.]
- [11] Vuillez C, Tonini M, Sudmeier-rieux K, *et al.* Land use changes, landslides and roads in the Phewa Watershed, West-

- ern Nepal from 1979 to 2016[J]. *Applied Geography*, 2018, 94: 30-40. DOI:10.1016/j.apgeog.2018.03.003.
- [12] Pisano L, Zumpano V, Malek Ž, *et al.* Variations in the susceptibility to landslides, as a consequence of land cover changes: a look to the past, and another towards the future[J]. *Science of the Total Environment*, 2017, 601-602: 1147-1159. DOI:10.1016/j.scitotenv.2017.05.231.
- [13] Wu Changrun, Zhao Dongmei, Liu Chengjing, *et al.* GIS-based analysis on impact factors and susceptibility evaluation of landslide hazard in Huaning County[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2019, 26(6): 212-218. [吴常润, 赵冬梅, 刘澄静, 等. 基于GIS的华宁县滑坡灾害影响因子分析及易发性评价[J]. *水土保持研究*, 2019, 26(6): 212-218.]
- [14] Chen Xuyu, Ni Huayong, Li Minghui, *et al.* Geo-hazard susceptibility evaluation based on weighted information value model and ISODATA cluster[J]. *Journal of Catastrophology*, 2021, 36(2): 71-78. [陈绪钰, 倪化勇, 李明辉, 等. 基于加权信息量和迭代自组织聚类的地质灾害易发性评价[J]. *灾害学*, 2021, 36(2): 71-78.]
- [15] Du Xiaochen, Chen Li, Chen Tingfang. Hazard assessment of landslide in Dechang County of Liangshan State based on GIS[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2020, 29(5): 1206-1215. [杜晓晨, 陈莉, 陈廷芳. 基于GIS的凉山州德昌县滑坡危险性评价[J]. *长江流域资源与环境*, 2020, 29(5): 1206-1215.]
- [16] Sun Lina, Liang Dongmei. Effect of future land use change on Hydrology in Dongliaohé Basin[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2016, 23(5): 164-168. [孙丽娜, 梁冬梅. 东辽河流域未来土地利用变化对水文影响的研究[J]. *水土保持研究*, 2016, 23(5): 164-168.]
- [17] SANKAR G. Monsoon fury in Kerala—a geo-environmental appraisal[J]. *Journal of the Geological Society of India*, 2018, 92(4): 383-388. DOI:10.1007/s12594-018-1031-6.
- [18] Naidu S, K.S.Sajinkumar, Oommen T, *et al.* Early warning system for shallow landslides using rainfall threshold and slope stability analysis[J]. *Geoscience Frontiers*, 2018, 9(6): 282-293. DOI:10.1016/j.gsf.2017.10.008.
- [19] Singh B, Singh P, Supriya K, *et al.* An overview on Kerala floods: Loss of human lives as well as biodiversity in God's own country[J]. *International Journal of Fauna and Biological Studies*, 2018, 5(6): 96-98.
- [20] Abraham M T, Pothuraju D, Satyam N. Rainfall thresholds for prediction of landslides in Idukki, India: An empirical approach[J]. *Water*, 2019, 11(10): 2113. DOI: 10.13140/RG.2.2.23925.22245.
- [21] Promper C, Puissant A, Malet J P, *et al.* Analysis of land cover changes in the past and the future as contribution to landslide risk scenarios[J]. *Applied Geography*, 2014, 53: 11-19. DOI:10.1016/j.apgeog.2014.05.020.
- [22] Abraham P B, Shaji E. Landslide hazard zonation in and around thodupuzha-Idukki- Munnar road, Idukki district, Kerala: a geospatial approach[J]. *Journal of the Geological Society of India*, 2013, 82(6): 649-656. DOI:10.1007/s12594-013-0203-7.
- [23] Raju K, Kumar R A. Land use changes in udumbanchola taluk, Idukki district- Kerala: An analysis with the application of remote sensing data[J]. *Journal of the India Society of Remote Sensing*, 2006, 34(2): 161-169. DOI:10.1007/BF02991821.
- [24] Sajinkumar K S, Anbazhagan S, Pradeepkumar A P, *et al.* Weathering and landslide occurrences in parts of Western Ghats, Kerala[J]. *Journal of the Geological Society of India*, 2011, 78(3): 249-257. DOI:10.1007/s12594-011-0089-1.
- [25] Chen Xuexiong, Zhang Xiaojun, Chen Yonggui, *et al.* Spatio-temporal change of vegetation coverage in Shaanxi Province from 1998 to 2008[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2013, 38(6): 674-678. [陈学兄, 张小军, 陈永贵, 等. 陕西省1998~2008年植被覆盖度的时空变化研究[J]. *武汉大学学报(信息科学版)*, 2013, 38(6): 674-678.]
- [26] Li Maomao, Wu Bingfang, Yan Changzhen, *et al.* Estimation of vegetation fraction in the upper basin of Miyun Reservoir by remote sensing[J]. *Resources Science*, 2004, 26(4): 153-159. [李苗苗, 吴炳方, 颜长珍, 等. 密云水库上游植被覆盖度的遥感估算[J]. *资源科学*, 2004, 26(4): 153-159.]
- [27] Duan Hongteng, Wu Faqi, Yang Yifan, *et al.* Land use change and driving force analysis of Bayin River basin in the past 10 years[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2020, 27(2): 172-177. [段红腾, 吴发启, 杨一凡, 等. 近10年巴音河流域土地利用变化及驱动力分析[J]. *水土保持研究*, 2020, 27(2): 172-177.]
- [28] Ramachandran R M, Reddy C S. Monitoring of deforestation and land use changes (1925 - 2012) in Idukki District, Kerala, India using remote sensing and GIS[J]. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 2017, 45(1): 163-170. DOI: 10.1007/s12524-015-0521-x.
- [29] Li Yan, Yu Pengtao, Wang Yanhui, *et al.* Effects of land use change on runoff in Rouyuanchuan small basin[J]. *Science of Soil and Water Conservation*, 2013, 11(3): 40-46. [李艳, 于澎涛, 王彦辉, 等. 柔远川小流域土地利用强度变化对径流的影响[J]. *中国水土保持科学*, 2013, 11(3): 40-46.]
- [30] Xu Gang, Hu Kunlin, Wen Jianfeng, *et al.* Assessment of disaster-prone areas considering the influence of terrain and neighborhood[J]. *Bulletin of Surveying and Mapping*, 2021(7): 59-64. [徐刚, 胡坤霖, 温剑峰, 等. 顾及地形邻域影响的地质灾害风险易发区评估[J]. *测绘通报*, 2021(7): 59-64.]

Research on the Impact of Land Use/Cover Change on Geological Disaster Development

Zhao Meiling¹, Hao Lina^{1,2}, Xu Xiaolu¹, Chen Chen¹, Xu Qiang²

(1.College of Earth Sciences, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China;

2.State Key Laboratory of Geohazard Prevention and Geoenvironment Protection, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract: An extreme rainfall event hit Kerala in India, in August 2018, triggering a large number of geological disasters, causing serious economic losses and casualties. In order to study the impact of land use and its changes during the process of agriculturalization on the development of geological disasters, and to explore a suitable man-land coordinated development model, based on the disaster point data of Idukki, which is the most severely affected area, this paper obtained the land use data of each disaster point in 2010 and 2018 from Google Earth high-resolution remote sensing images and Landsat TM/OLI data extraction normalized difference vegetation index calculation of vegetation coverage to analyze the relationship between geological disasters and land use and its changes. The results show that: ①disasters in the study area are mainly concentrated in the north-central region, where planting forests, planting shrubs, buildings, roads, and other lands with human activities influence accounted for 80.46% of the total disasters; ②although land use change at the disaster site in the study area is few with the overall rate of 37%, however the changed land use are closely related to human activities, such as planted shrubs, planted forest land; ③ the vegetation coverage decline rate in the study area was 16.70%, while disaster susceptibility areas had a better response to areas with reduced vegetation coverage spatially.

Key words: Geological disasters; Land use; Vegetation cover; GIS spatial analysis