

DOI: 10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2021.01.06

基于 CiteSpace 的浅层滑坡文献计量分析

吕佼佼^{1,2}, 范文¹, 高徐军², 张友科²

(1. 长安大学地质工程与测绘学院, 陕西 西安 710054;

2. 中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司, 陕西 西安 710065)

摘要: 基于 Web of Science 数据库, 以 1999—2019 年检索所得 1 240 篇浅层滑坡期刊论文为样本, 利用 CiteSpace 对该领域内国家/机构、学科/期刊和高频关键词进行文献计量和可视化分析, 结果表明: 浅层滑坡研究的国际合作非常普遍, 意大利在浅层滑坡研究中占据核心地位, 意大利国家研究委员会和中国科学院两家机构在该领域发挥重要作用, *GEOMORPHOLOGY* 和 *LANDSLIDES* 杂志为浅层滑坡研究代表性期刊。复合模型算法为浅层滑坡研究领域近期的热点主题。

关键词: 浅层滑坡; CiteSpace; Web of Science; 文献分析

中图分类号: P642.22

文献标志码: A

文章编号: 1003-8035(2021)01-0043-07

Metrological analyses on literatures of shallow landslides using CiteSpace software

LYU Jiaojiao^{1,2}, FAN Wen¹, GAO Xujun², ZHANG Youke²

(1. College of Geology Engineering and Geomatic, Chang'an University, Xi'an, Shaanxi 710054, China;

2. Powerchina Northwest Engineering Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi 710065, China)

Abstract: Based on Web of Science database, 1 240 papers retrieved from journals of shallow landslides from 1999-2019 were taken as samples, and CiteSpace was used to conduct bibliometric and visual analysis on the national / institutional, discipline / journal and high-frequency keywords in this field. The results show that: international cooperation in shallow landslides research is very common, and Italy occupies the core position in shallow landslides research. Both Italy National Research Council and Chinese Academy of Sciences play an important role in this field. *GEOMORPHOLOGY* and *LANDSLIDES* are representative journals of shallow landslide research. Hybrid model is the hot topic in the field of shallow landslide research.

Keywords: shallow landslides; CiteSpace; Web of Science; document analysis

0 引言

浅层滑坡是山区斜坡破坏的一种常见形式, 广泛分布于世界各地^[1-2]。浅层滑坡具有前期变形迹象小、面小点多等特征, 虽然单个浅层滑坡危害不是很大, 但大规模群发性的浅层滑坡会给居民生命财产造成巨大的损失^[3]。因此, 开展浅层滑坡相关研究, 对于预防和降低滑坡风险, 提高减灾防灾能力具有重要意义。

文献计量学^[4]是用数学和统计学方法定量分析知

识载体的交叉学科, 早期的文献计量学关注出版物的主题、作者、国家等的数量, 近年来知识可视化与文献计量学的结合则可直观形象的揭示知识的研究模式、结构关系及发展进程等信息^[5-6]。国际上已经 Sci2、CiteSpace、VOSviewer 等多种可视化分析软件, CiteSpace 具有支持数据格式多、功能全面、可视化效果好等特点, 已被应用于多个学科领域的相关研究^[7-8]。

目前已经有大量的关于滑坡的综述性论文, WU^[5]等人对全球滑坡(1991—2004)研究进展和趋势进行了

收稿日期: 2020-02-29; 修订日期: 2020-04-27

基金项目: 国家自然科学基金项目(41272282)

第一作者: 吕佼佼(1989-), 男, 山西河曲人, 博士后, 工程师, 主要从事地质灾害与防治等方面的研究工作。E-mail: 411535234@qq.com

计量分析, YANG^[6]等人对全球滑坡研究的演化与焦点变化趋势进行了可视化分析, GUZZETTI^[9]等人总结了全球范围内滑坡编录技术的常规方法及最新进展, 李家春等^[10]总结了北斗定位系统用于滑坡变形监测的理论和实践, 并与传统变形监测技术进行了对比。但鲜有针对浅层滑坡研究的综述性文献, 本文基于 CiteSpace 软件对浅层滑坡研究成果进行文献计量分析, 挖掘国际浅层滑坡研究的知识结构, 分析研究热点, 为我国浅层滑坡研究提供参考。

1 数据与方法

以 Web of Science 数据库中的核心合集库作为文献来源。检索条件: 主题“shallow landsli*”, 或者主题“shallow slid*”, 检索跨度为 1999 年 1 月至 2019 年 8 月, 文献类型选择为 Article, 共检索得到 1 240 条数据。将 1 240 条数据导入 CiteSpace v5.5R2 软件进行分析。设置参数: 时间分区 1999—2019 年, 切片单位 1 年, 阈值选择 Top30, 可视化默认系统选择。节点类型分别选择国家、机构、学科、期刊和关键词共现^[11]。引入 h 因子与文献平均被引次数共同作为引用数指标来评价国家/地区和机构等的学术影响, h 因子^[12]是一种评价学术影响的新方法, 定义为至多有 h 篇文献分别被引

用了 h 次, 通常较老的文献拥有较多的被引次数, 因此为了更精确评价近期的学术影响力, 本文进行了为期五年(2015—2019)的固定窗口分析。

2 结果与分析

2.1 国家/地区和机构分析

有 75 个国家/地区参加了浅层滑坡研究, 表 1 列出了发文量最高的 20 个国家/地区, 并总结了它们的文章总数、单个国家/地区的发文量、国际合作情况。在这 20 个国家/地区中, 9 个来自欧洲, 6 个来自亚洲。意大利发表了 326 篇关于浅层滑坡的论文, 中国发文量排名第 2 为 198 篇, 其次是美国 187 篇, 日本 104 篇, 瑞士 85 篇。浅层滑坡研究的国际合作非常普遍, 表 1 中 18 个国家/地区的国际合作率超过 50%, 法国、伊朗更是达到了 100%, 意大利国际合作率较低为 42.33%, 但国际合作发文量达 138 篇。意大利还是 7 个国家/地区的最多合作国家(表 1), 显示其在浅层滑坡研究国际合作中的主导地位, 美国紧随其后, 为 4 个国家/地区的最多合作国家。中国的最多合作国家为美国, 合作发文量为 18 篇。意大利 h 因子最高, 即有数量最多的高影响力文献, 挪威的发文量排名第 20 位, 但该国文献的平均被引次数最高。综合各项指标来看, 意大利在浅层滑坡

表 1 浅层滑坡研究国家/地区 TOP20

Table 1 Top 20 most productive countries/territories in shallow landslide-related research

国家/地区	发文量	国际合作(率)	最多合作国家/地区	2015—2019	
				h 因子	平均被引次数
意大利	326	138(42.33)	美国(34)	22	11.21
中国	198	103(52.02)	美国(18)	13	5.08
美国	187	127(67.91)	意大利(34)	15	8.38
日本	104	75(72.11)	中国(14)	8	3.85
瑞士	85	75(88.24)	意大利(14)	9	7.21
中国台湾	76	27(35.53)	日本(9)	6	4.61
西班牙	56	53(94.64)	意大利(12)	7	7.11
荷兰	50	49(98)	意大利(8)	7	9.00
法国	49	49(100)	意大利(11)	9	9.83
韩国	48	38(79.17)	越南(7)	9	6.31
英格兰	41	34(82.93)	意大利(6)	7	5.11
德国	41	35(85.36)	奥地利(4)	9	10.95
新西兰	38	35(92.1)	美国(5)	7	8.20
加拿大	32	30(93.75)	中国(5)	5	5.92
奥地利	31	25(80.64)	意大利(7)	6	5.23
澳大利亚	28	27(96.42)	中国(7)	7	6.47
马来西亚	23	22(95.65)	伊朗(9)	7	28.57
巴西	21	13(61.9)	美国(4)	4	2.93
伊朗	21	21(100)	马来西亚(9)	6	11.87
挪威	21	20(95.23)	越南(11)	8	33.86

研究中占据核心地位。

参与浅层滑坡研究的机构有1094家,发文量最多的20家机构如表2所示。在这20个机构中,6个来自意大利,4个来自中国,符合表1总发文量的占比规律。发文量第1的机构为国家研究委员会,该机构是意大利最大的公共研究机构,发文量79篇,随后为中国科学院52篇,美国地调局39篇。浅层滑坡研究机构的国际合作率差别较大,京都大学的国际合作率高达96.87%,但有8家机构国际合作率低于50%(表2)。从最多合作机构看,来自同一国家的机构往往具有较多的合作关系,表2中14个机构的最多合作机构来自相同国家。来自意大利的国家研究委员会拥有最高的 h 因子(16)和平均被引次数(13.8),中国科学院的两项引用数指标分别为13和11.7,两机构同为浅层滑坡研究的代表性机构。

2.2 学科类别和主要期刊

浅层滑坡的发生与发展受到各类环境因素的影响,具有较强的差异性,这使得该领域不可避免地涉及到多种学科。表3为浅层滑坡研究学科类型TOP10列表。浅层滑坡研究所涉及到的学科类型大致分为三个层次。第一层次为地球科学,该学科出现最早,发文量也最大,浅层滑坡作为一种常见的地表地质灾害,地球科

学的理论知识是研究浅层滑坡的根基与支撑,该学科的 h 因子高达28,也说明其核心地位。第二层次是水资源学、气象与大气科学、自然地理学等学科,这类学科出现时间集中在2000—2007年,代表了与浅层滑坡的发生与发展密切相关的学科,为浅层滑坡研究的学科交叉提供了基础。第三层次是遥感、环境工程、土木工程等学科,这类学科集中在2008年之后出现,通过学科间结合交叉,以及各类工程实践,进一步拓展和促进了该领域的发展。从引用数指标看,各学科 h 因子差距明显,这表明浅层滑坡研究学科仍集中在地球科学,需要更多的跨学科思维,突破原有的思维定势。

将发文量前10的浅层滑坡研究期刊列于表4。*GEOMORPHOLOGY*(地貌学)发文量最大为132篇,其次为*LANDSLIDES*(滑坡)127篇,*NAT HAZARD EARTH SYS*(自然灾害与地球系统科学)87篇。5个期刊所属大类学科为地球科学,5个期刊分区在2区及以上,仅*ENVIRON EARTH SCI*(环境地球科学)位于4区。引用数指标方面, h 因子最高的期刊为*LANDSLIDES*,平均被引次数最高的则为*GEOMORPHOLOGY*。*NAT HAZARDS*(自然灾害)发文量为66篇(发文量排位第4),但被引次数指标表现一般。*CATENA*(土链)位列农林科学1区,但其偏重报道与土壤相关的土壤污染、土

表2 浅层滑坡研究机构TOP20

Table 2 Top 20 most active institutions in shallow landslide-related research

机构	发文量	国际合作(率)	最多合作机构(合作发文量)	2015—2019	
				h 因子	平均被引次数
国家研究委员会,意大利	79	36(45.56)	佩鲁贾大学,意大利(8)	16	13.82
中国科学院,中国	52	27(51.92)	香港大学,中国(5)	13	11.7
美国地调局,美国	39	12(30.76)	科罗拉多矿业大学,美国(12)	7	7.81
弗洛伦萨大学,意大利	35	23(65.71)	联邦森林雪景研究所,瑞士(3)	8	12.47
成都理工大学,中国	32	22(68.75)	乌得勒支大学,荷兰(6)	8	6.61
苏黎世联邦理工学院,瑞士	32	13(40.62)	联邦森林雪景研究所,瑞士(10)	8	8.44
京都大学,日本	32	31(96.87)	中国科学院,中国(3)	6	5.75
帕多瓦大学,意大利	31	25(80.64)	国家研究委员会,意大利(14)	8	11.08
联邦森林雪景研究所,瑞士	28	25(89.28)	苏黎世联邦理工学院,瑞士(10)	8	9.47
萨勒诺大学,意大利	26	14(53.84)	国家研究委员会,意大利(6)	9	11.65
米兰大学,意大利	24	13(54.17)	伯尔尼大学,瑞士(4)	6	5.60
那不勒斯菲里德里克第二大学,意大利	22	3(13.64)	国家研究委员会,意大利(4)	6	13.50
国立台湾大学,中国台湾	20	5(25)	南开大学,中国(7)	3	3.00
加州大学,美国	19	9(47.37)	萨勒诺大学,意大利(3)	5	11.00
新西兰土地护理研究中心,新西兰	18	16(88.89)	地质与核科学研究所,新西兰(3)	4	5.15
日内瓦大学,瑞士	18	10(55.56)	伯尔尼大学,瑞士(13)	1	1.00
科罗拉多矿业大学,美国	17	8(47.06)	美国地调局,美国(12)	4	10.75
加泰罗尼亚理工大学,西班牙	17	10(58.82)	萨勒诺大学,意大利(3)	5	11.00
伯尔尼大学,瑞士	16	10(62.5)	日内瓦大学,瑞士(13)	1	2.00
中国科学院大学,中国	15	7(46.67)	中国地调局,中国(2)	3	2.26

表 3 浅层滑坡研究学科 TOP10

Table 3 Top 10 most productive disciplines in shallow landslide-related research

学科	发文量	初现年份	2015—2019	
			h因子	平均被引次数
地球科学	860	1999	28	8.90
水资源学	367	2000	19	7.49
工程地质学	270	2003	19	8.91
自然地理学	226	2000	16	10.88
气象与大气科学	193	2003	14	7.20
环境科学	177	2004	14	7.19
环境工程	58	2009	8	4.93
土壤学	46	2007	9	8.15
土木工程	41	2013	9	5.54
遥感	30	2012	7	6.43

壤侵蚀及地球化学等研究领域的最新成果,在浅层滑坡研究领域的被引次数指标表现一般。由我国主办的期刊 *JMT SCI* (山地科学学报) 进入了浅层滑坡研究发文量前 10, 该期刊 2004 年创刊, 2007 年被 SCI 收录, 主要报道在自然和人类活动影响下山地环境演变与可持续发展研究的相关论文, 其关于喜马拉雅山区的研究在国际山地科学研究领域引起了广泛的关注, 但从表 4 看, 期刊在浅层滑坡领域引用数指标均偏低。综合以上, *GEOMORPHOLOGY* 和 *LANDSLIDES* 为浅层滑坡研究的代表性期刊。

2.3 关键词变化分析

自 1990 年起, Web of Science 上的文章开始包含作者关键词, 对文章的主题和关注点进行精练的描述^[5], 这些关键字的统计分析可以用来分析研究热点的演化^[13], 配合突现词功能使用, 还能了解该领域的研究前沿。

将 1 240 篇文献的关键词按时间分为 4 个时段分别整理, 并同时计算了各个时段关键词的出现比例, 最后将总量最高的 22 个关键词列入表 5, 图 1 为相应的关键词共词网络图, 需要说明, 关键词排除掉了 shallow landslides、slope failure、debris flow 这类词汇, 主要由于这类词为本次检索的词汇或检索伴生词^[5]。

可以看出, 浅层滑坡研究相关文献的关键词多围绕 slope stability (斜坡稳定性)、GIS (地理信息系统) 以及 rainfall threshold (降雨阈值) 展开, 现分述如下: 斜坡稳定性为出现比例最高的关键词, 这一关键词在 4 个时段均有出现。尽管 shear strength (抗剪强度) 与浅层滑坡的稳定性密切相关, 但该关键词出现比例呈下降趋势, 研究人员更倾向于使用 factor of safety (安全系数) 或 root reinforcement (根系加固) 作为关键词^[14]。

landslide susceptibility (滑坡易发性) 是指对某一地区存在或可能发生滑坡的类别、体积 (或面积) 和空间分布情况进行定量或定性评估^[15], 该词也贯穿了 4 个时段, 且出现比例不断上升。传统的 landslide inventory (滑坡编录) 方法主要依靠野外调查结合地形测绘进行, 基于 GIS 和 remote sensing (遥感技术) 的不断革新为浅层滑坡属性的量化以及滑坡易发性图件等的绘制等工作提供了极大便利^[16]。logistic regression (逻辑回归) 是滑坡易发性和风险评价的常用统计学模型^[17], 近 2 个时段内以 artificial neural network (人工神经网络) 为代表的算法也被用于浅层滑坡易发性等的分析^[18], 但由于浅层滑坡的单体规模及破坏性偏小, 近 2 个时段内专门针对浅层滑坡 risk assessment (风险评价) 的研究才逐渐增多^[19]。基于逻辑回归还可进行 soil erosion (土壤侵蚀) 的评价, 由于浅层滑坡破坏深度较浅, 因此多数情况下土壤侵蚀与浅层滑坡伴随发生且相互影响, 研究表明土

表 4 浅层滑坡研究期刊发文量 TOP10

Table 4 Top 10 most productive journals in shallow landslide-related research

期刊	发文量	中科院大类学科及分区	2015—2019	
			h因子	平均被引次数
<i>GEOMORPHOLOGY</i>	132	地球科学2区	15	15.65
<i>LANDSLIDES</i>	127	地球科学2区	16	11.49
<i>NAT HAZARD EARTH SYS</i>	87	地球科学3区	11	8.81
<i>NAT HAZARDS</i>	66	工程技术3区	6	6.00
<i>ENG GEOL</i>	59	地球科学2区	10	8.59
<i>ENVIRON EARTH SCI</i>	44	环境科学4区	7	6.22
<i>EARTH SURF PROC LAND</i>	40	地球科学2区	7	6.71
<i>CATENA</i>	32	农林科学1区	6	8.30
<i>B ENG GEOL ENVIRON</i>	30	工程技术3区	5	3.90
<i>JMT SCI</i>	25	环境科学3区	5	3.73

表 5 浅层滑坡研究关键词共现统计
Table 5 22 frequently used keywords related to shallow landslides

关键词	发文量	各时段出现量(出现比例)			
		1999—2004	2005—2009	2010—2014	2015—2019
slope stability	252	18(27.27)	31(19.38)	67(17.91)	136(20.00)
rainfall threshold↑	197	4(6.06)	8(5.00)	38(10.16)	89(13.09)
GIS↑	154	2(3.03)	17(10.63)	34(9.09)	79(11.62)
landslide susceptibility↑	118	5(7.58)	11(6.88)	36(9.63)	66(9.71)
infiltration	84	2(3.03)	12(7.50)	26(6.95)	44(6.47)
monitoring↑	72	2(3.03)	4(2.50)	17(4.55)	49(7.21)
logistic regression↑	52	1(1.52)	4(2.50)	9(2.41)	38(5.59)
shear strength↓	50	7(10.61)	9(5.63)	14(3.74)	20(2.94)
unsaturated soil↑+	49	0(0)	5(3.13)	15(4.01)	29(4.26)
remote sensing↑	39	1(1.52)	0(0)	9(2.41)	28(4.12)
landslide inventory	38	2(3.03)	5(3.13)	13(3.48)	18(2.65)
LIDAR↑+	37	0(0)	2(1.25)	13(3.48)	22(3.24)
factor of safety	36	1(1.51)	5(3.12)	11(2.94)	19(2.79)
root reinforcement↑	35	1(1.52)	2(1.25)	10(2.67)	22(3.24)
DEM↓	34	6(9.09)	5(3.13)	9(2.41)	14(2.06)
risk assessment↑++	33	0(0)	0(0)	8(2.14)	25(3.68)
artificial neural network↑+	32	0(0)	1(0.62)	6(1.61)	25(3.68)
antecedent rainfall↑+	31	0(0)	2(1.25)	5(1.34)	24(3.53)
early warning↑++	27	0(0)	0(0)	7(1.87)	20(2.94)
TRIGRS↑++	24	0(0)	0(0)	5(1.34)	19(2.79)
soil erosion↑+	20	0(0)	2(1.25)	6(1.60)	12(1.76)

注: ↑=出现比例上升, ↓=出现比例下降, +=最近3个时段出现的关键词, ++=最近2个时段出现的关键词。

壤侵蚀强度变化与浅层滑坡的区域稳定存在一定的关联^[20]。LIDAR(机载激光扫描)作为一种新型的遥感技术,可为浅层滑坡研究提供高精度的 DEM(数字高程模型)^[21],但针对 DEM 的研究呈下降趋势。

降雨是浅层滑坡的重要触发因素,表 5 关键词中有 3 个和降雨直接相关,分别为降雨阈值、infiltration(入渗)和 antecedent rainfall(前期降雨量),其中降雨阈值出现量更是高居第 2。事实上,绝大多数浅层滑坡的 monitoring(监测)和 early warning(预警)研究也是基于降雨^[22]。此外,自然界浅层土体基本上是非饱和的^[23],因此从 unsaturated soil(非饱和土)的角度去研究浅层滑坡更为科学,非饱和土的出现比例也在不断上升。TRIGRS(基于瞬态入渗的网格区域斜坡稳定性模型)基于 GIS 平台,耦合了入渗、水文和斜坡稳定性的定量模型,可分析土壤水呈饱和/非饱和状态的斜坡稳定性^[24],特别适用于浅层滑坡研究。

突现词探测技术能够探测设置时段内出现比例变化较高的关键词,适用于发掘学科发展的新兴趋势。表 6 为浅层滑坡研究突现词表,结合表 5 可以看出,斜坡稳定性在相当长时期内都是浅层滑坡研究的热点关键词,进入 2010 年之后关键词数量和突现词数量均有明显增加,这表明近 10 年来浅层滑坡研究进入了繁荣

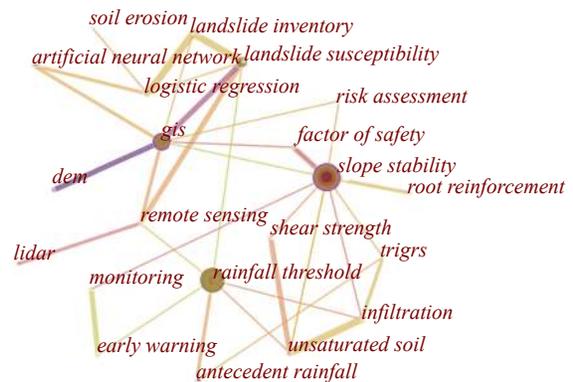


图 1 关键词共现网络图

Fig. 1 Map of frequently used keyword

发展的时期。从表 6 看,突现词多集中在新技术新方法,如 DEM 被广泛用于区域浅层滑坡等的研究,非饱和土理论的应用则使浅层滑坡的监测及预警等工作取得了突破性进展,同时也拓展了浅层滑坡稳定性计算的理论^[25]。继人工神经网络之后,研究人员又提出将多种人工智能算法进行复合优化的 hybrid model(复合模型算法),并将其用于浅层滑坡易发性评价,计算所得准确率优于传统的逻辑回归以及单一模型的计算结果^[26, 27]。

除复合模型算法外,表 6 中所有突现词在表 5 均有出现,且出现时间更早,这反映出新研究前沿的出现,往

往需要经过一段时间的探索才会成为研究热点。据此推断,复合模型算法为浅层滑坡研究领域近期的热点。

表 6 浅层滑坡研究突现关键词

Table 6 Burst keywords related to shallow landslides

突现关键词	突现度	突现年份
slope stability	7.882 2	2000—2007
DEM	7.565 4	2002—2004
LIDAR	3.751 2	2009—2010
unsaturated soil	3.541 5	2009—2012
artificial neural network	3.222 5	2010—2014
early warning	3.476	2013—2015
TRIGRS	3.749	2014—2017
risk assessment	4.127 6	2016—2016
soil erosion	3.848	2017—2019
hybrid model	1.684 3	2018—2019

3 结论

本研究以 Web of Science 收录的浅层滑坡领域 1999—2019 近 20 年的 1 240 篇期刊文献为数据源,采用 CiteSpace 软件进行了科学计量学综述。

(1)意大利发表了 326 篇关于浅层滑坡的论文,发文量排名第 1,近 5 年 h 因子达 22,在浅层滑坡研究中占据核心地位。其核心地位也扩展到了机构层面,意大利的国家研究委员会拥有各机构中最高的 h 因子和平均被引数,中国科学院的引用数指标排名紧随其后,两家机构在该领域发挥重要作用。

(2)浅层滑坡研究学科可分为三个层次,但从整体上看,浅层滑坡研究学科仍主要停留在地球科学领域,需要更多的跨学科思维,突破原有的思维定势。期刊方面,GEOMORPHOLOGY 和 LANDSLIDES 为浅层滑坡研究的代表性期刊。

(3)浅层滑坡研究多围绕斜坡稳定性、GIS 以及降雨阈值展开,风险评价、预警、TRIGRS 等为近 10 年的研究热点,综合关键词共现统计及共现突现词,复合模型算法为浅层滑坡近期的研究热点。

参考文献 (References) :

- [1] 李绍红,朱建东,王少阳,等.考虑降雨类型的基岩型浅层边坡稳定性分析方法[J].水文地质工程地质,2018,45(2):131-135. [LI Shaohong, ZHU Jiandong, WANG Shaoyang, et al. Stability analysis methods for the bedrock shallow slope considering rainfall types [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2018, 45(2): 131-135. (in Chinese with English abstract)]
- [2] GUZZETTI F, PERUCCACCI S, ROSSI M, et al. The rainfall

intensity-duration control of shallow landslides and debris flows: an update [J]. Landslides, 2008, 5(1): 3-17.

- [3] 熊炜,刘可,范文.秦巴山区浅层滑坡内动力地质成因分析[J].地质力学学报,2018,24(3):424-431. [XIONG Wei, LIU Ke, FAN Wen. Analysis on internal dynamic geological genesis of shallow landslide in Qin-ba mountain area [J]. Journal of Geomechanics, 2018, 24(3): 424-431. (in Chinese with English abstract)]
- [4] 赵蓉英,许丽敏.文献计量学发展演进与研究前沿的知识图谱探析[J].中国图书馆学报,2010,36(5):60-68. [ZHAO Rongying, XU Limin. The knowledge map of the evolution and research frontiers of the bibliometrics [J]. Journal of Library Science in China, 2010, 36(5): 60-68. (in Chinese with English abstract)]
- [5] WU X L, CHEN X Y, ZHAN F B, et al. Global research trends in landslides during 1991-2014: a bibliometric analysis [J]. Landslides, 2015, 12(6): 1215-1226.
- [6] YANG J, CHENG C X, SONG C Q, et al. Visual analysis of the evolution and focus in landslide research field [J]. Journal of Mountain Science, 2019, 16(5): 991-1004.
- [7] LI X J, MA E, QU H L. Knowledge mapping of hospitality research - A visual analysis using CiteSpace [J]. International Journal of Hospitality Management, 2017, 60: 77-93.
- [8] 叶青,徐亚青,雷幼蓉,等.中国医院感染培训研究热点与前沿的可视化分析[J].中国感染控制杂志,2019,18(9):848-853. [YE Qing, XU Yaqing, LEI Yourong, et al. Visualization analysis of hotspots and frontier of domestic research on training of healthcare-associated infection [J]. Chinese Journal of Infection Control, 2019, 18(9): 848-853. (in Chinese with English abstract)]
- [9] GUZZETTI F, MONDINI A C, CARDINALI M, et al. Landslide inventory maps: New tools for an old problem [J]. Earth-Science Reviews, 2012, 112(1/2): 42-66.
- [10] 李家春,宋宗昌,侯少梁,等.北斗高精度定位技术在边坡变形监测中的应用[J].中国地质灾害与防治学报,2020,31(1):70-74. [LI Jiachun, SONG Zongchang, HOU Shaoliang, et al. Application of Beidou high-precision positioning technology in slope deformation monitoring [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2020, 31(1): 70-74. (in Chinese with English abstract)]
- [11] CHEN C. The citespace manual[M]. College of Computing and Informatics. Drexel University, 2014.
- [12] 杜建,张玢,刘晓婷.期刊影响因素、h指数、相对h指数及特征因子的相关性分析[J].情报杂志,2011,30(2):23-28. [DU Jian, ZHANG Bin, LIU Xiaoting. The correlation analysis among journal impact factor, h-index, relative h-index and eigenfactor [J]. Journal of Intelligence, 2011, 30(2): 23-28. (in Chinese with English abstract)]
- [13] SUN J S, WANG M H, HO Y S. A historical review and

- bibliometric analysis of research on estuary pollution [J] . *Marine Pollution Bulletin*, 2012, 64(1): 13 – 21.
- [14] VERGANI C, GIADROSSICH F, BUCKLEY P, et al. Root reinforcement dynamics of European coppice woodlands and their effect on shallow landslides: a review [J] . *Earth-Science Reviews*, 2017, 167: 88 – 102.
- [15] GUZZETTI F, REICHENBACH P, ARDIZZONE F, et al. Estimating the quality of landslide susceptibility models [J] . *Geomorphology*, 2006, 81(1/2): 166 – 184.
- [16] PRADHAN, Biswajeet, YOUSSEF, Ahmed M. Manifestation of remote sensing data and GIS on landslide hazard analysis using spatial-based statistical models [J] . *Arabian Journal of Geosciences*, 2010, 3.3: 319 – 326.
- [17] CAN T, NEFESLIOGLU H A, GOKCEOGLU C, et al. Susceptibility assessments of shallow earthflows triggered by heavy rainfall at three catchments by logistic regression analyses [J] . *Geomorphology*, 2005, 72(1/2/3/4): 250 – 271.
- [18] GONG Q H, ZHANG J X, WANG J. Application of GIS-based back propagation artificial neural networks and logistic regression for shallow landslide susceptibility mapping in South China-take Meijiang river basin as an example [J] . *The Open Civil Engineering Journal*, 2018, 12(1): 21 – 34.
- [19] CAMARINHA P I M, CANAVESI V, ALVALÁ R C S. Shallow landslide prediction and analysis with risk assessment using a spatial model in a coastal region in the state of São Paulo, Brazil [J] . *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 2014, 14(9): 2449 – 2468.
- [20] 吕佼佼, 范文, 吕远强. 基于土壤侵蚀模型的浅层滑坡预警研究 [J] . *水土保持通报*, 2017, 37(3): 227 – 230. [LYU Jiaojiao, FAN Wen, LYU Yuanqiang. Research on early warning of shallow landslide based on soil erosion model [J] . *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2017, 37(3): 227 – 230. (in Chinese with English abstract)]
- [21] KIM S, KIM M, AN H, et al. Influence of subsurface flow by Lidar DEMs and physical soil strength considering a simple hydrologic concept for shallow landslide instability mapping [J] . *Catena*, 2019, 182: 104137.
- [22] 郭富赟, 宋晓玲, 谢煜, 等. 甘肃地质灾害气象预警技术方法探讨 [J] . *中国地质灾害与防治学报*, 2015, 26(1): 127 – 133. [GUO Fuyun, SONG Xiaoling, XIE Yu, et al. A discussion on the geological hazards meteorological warning system in Gansu Province [J] . *The Chinese Journal of Geological Hazard and Control*, 2015, 26(1): 127 – 133. (in Chinese with English abstract)]
- [23] SORBINO G, NICOTERA M V. Unsaturated soil mechanics in rainfall-induced flow landslides [J] . *Engineering Geology*, 2013, 165: 105 – 132.
- [24] BAUM R L, SAVAGE W Z, GODT J W. TRIGRS—a Fortran program for transient rainfall infiltration and grid-based regional slope-stability analysis [J] . *US geological survey open-file report*, 2002, 424: 38.
- [25] LU N, GODT J. *Hillslope hydrology and stability*[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2013.
- [26] CHEN W, PANAH M, TSANGARATOS P, et al. Applying population-based evolutionary algorithms and a neuro-fuzzy system for modeling landslide susceptibility [J] . *Catena*, 2019, 172: 212 – 231.
- [27] SHIRZADI A, BUI D T, PHAM B T, et al. Shallow landslide susceptibility assessment using a novel hybrid intelligence approach [J] . *Environmental Earth Sciences*, 2017, 76(2): 60.