

田丰, 张军, 冉有华, 等. 甘肃陇南市泥石流灾害危险性及其影响因子评价[J]. 灾害学, 2017, 32(3): 197–203. [TIAN Feng, ZHANG Jun, RAN Youhua, et al. Assessment of Debris Flow Disaster Hazard and Influence Factors in Longnan District[J]. Journal of Catastrophology, 2017, 32(3): 197–203. doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2017.03.033.]

甘肃陇南市泥石流灾害危险性及其影响因子评价^{*}

田 丰¹, 张 军^{1,2}, 冉有华³, 刘金鹏⁴, 柳 思¹

(1. 甘肃农业大学 资源与环境学院, 甘肃 兰州 730070; 2. 甘肃省节水农业工程技术研究中心, 甘肃 兰州 730070; 3. 中国科学院西北生态环境资源研究院, 甘肃 兰州 730000; 4. 甘肃省科学院地质自然灾害防治研究所, 甘肃 兰州 730000)

摘 要: 陇南市是中国四大泥石流灾害高发区之一, 降水时空分布不均且时段集中, 泥石流灾害频发。选取岩性硬度、高程标准差、坡度、3–11月降水量、6–9月0~24 h累计最大降水量、表层0~30 cm砂粒含量、表层0~30 cm粘粒含量、植被覆盖度和河网密度9个影响因子, 基于2009年甘肃省地质灾害调查报告数据构建陇南市泥石流灾害危险性评价的MaxEnt模型, 模拟陇南市泥石流灾害危险性分布概率 P , 完成陇南市泥石流灾害危险性评价制图, 探索影响因子作用机理。结果表明: MaxEnt模型能应用于陇南市泥石流灾害危险性评价研究中, 模拟效果表现良好。确定3–11月降水量、6–9月0~24 h累计最大降水量、河网密度、岩性硬度、坡度和表层0~30 cm粘粒含量6个主导因子, 并以此为相关机构工程规划与设计提供支持。

关键词: 泥石流; 危险性; 评价; 尺度; MaxEnt模型; 甘肃陇南

中图分类号: X43; P642.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2017)03-0197-07

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2017.03.033

泥石流灾害是世界范围内广泛发生的自然灾害之一, 具有成灾迅速、破坏性极强、危害性极大等特点^[1]。陇南市地处秦巴山地西部与青藏高原东部边缘的交汇地带, 地质构造复杂, 软岩广布, 地形变化多样, 山脉连绵, 沟谷深切, 降水时空分布极不均匀且多暴雨, 东南多西北少, 河谷型、沟谷型和山坡型泥石流灾害频发, 成为中国四大泥石流灾害高发区之一, 是甘肃省地质灾害防治的重点地区。

泥石流灾害危险性是指一定时间和范围内发生泥石流灾害的可能性大小, 开展泥石流灾害危险性评价对灾害监测、预警和防灾减灾等工作具有重要指导意义^[2]。纵观国内外研究, 泥石流灾害危险性评价内容主要是单沟泥石流评价^[3-4]和小流域泥石流评价^[5-6], 前者方法普遍认可的是Petrasccheck^[7]提出的泥石流概率计算公式 $P = 1 - (1 - 1/T_r)^n$; 后者方法有灰色预测法^[8], 运动学细

胞模型^[9], 证据权法^[10], 分形维数权重^[11], Logistic回归模型和专家经验模型^[12], 因子叠置法^[13], 相关系数法^[14], GIS和组合赋权法^[15]等等, 这些方法可分为主观判断和客观分析两类, 在小范围的泥石流灾害评价中应用良好, 但拓展到大区域上精度则降低。综上所述, 泥石流灾害危险性评价方法多局限于单沟泥石流沟评价, 泥石流灾害发育往往呈连片状, 区域尺度泥石流灾害危险性评价尚有不足。MaxEnt模型作为一种数据驱动方法, 能拓宽评价尺度, 应用于区域尺度泥石流灾害危险性评价。

本文构建MaxEnt模型, 将小尺度的典型样点调查结果拓展到空间尺度的区域模拟, 开展陇南市泥石流灾害危险性评价研究, 旨在获取陇南市泥石流灾害危险性分布概率, 完成陇南市泥石流灾害危险性评价制图, 分析陇南市泥石流灾害主要影响因素, 以期为该地区工程规划和泥石流灾

^{*} 收稿日期: 2017-02-06 修回日期: 2017-03-09

基金项目: 中国科学院兰州分院院地合作项目“河西走廊经济带山洪地质灾害风险评价研究”(Y52BK51001); 国家自然科学基金(41161066); 甘肃省高校基本科研费(041013)

第一作者简介: 田丰(1991-), 男, 甘肃庆阳人, 硕士研究生, 研究方向为土地信息管理和地质灾害风险评价研究。

E-mail: 18809408806@139.com

通讯作者: 张军(1977-), 男, 甘肃张掖人, 博士, 副教授, 研究方向为节水农业及水资源可持续利用研究。

E-mail: zhangjun@gsau.edu.cn

害业务监测提供技术支持。

1 研究区概况

甘肃陇南市(104°15' ~ 106°36' E, 32°30' ~ 34°30' N), 是甘肃省东南边陲的地级市, 下辖 1 区 8 县, 面积 2.79 万 km²(图 1)。地质构造表现为: 褶皱构造突出, 中秦岭华力西褶皱带, 南秦岭印支褶皱带、碧口中元古代褶皱带穿过, 岩性坚硬, 河谷地带软岩广布, 武都区有典型的西北喀斯特地貌区—万象洞。地形地貌为: 地势起伏明显, 地貌以高山、河谷、丘陵和盆地为主, 交错分布。水文气候条件复杂: 陇南市是甘肃省唯一属于长江流域水系的地区, 河网密度。区域内有嘉陵江、白龙江、西汉水、乐素河、清河等河流。气候分为南部亚热带、中部暖温带和北部中温带, 垂直分布明显, 降水丰沛且时空分布不均, 年降水量介于 400 ~ 945 mm。土壤类型分布垂直地带性明显, 以黄棕壤、棕壤、褐土为主。植被: 以高山草甸、亚热带常绿落叶林为主, 植被茂盛, 植被覆盖率达 85%。

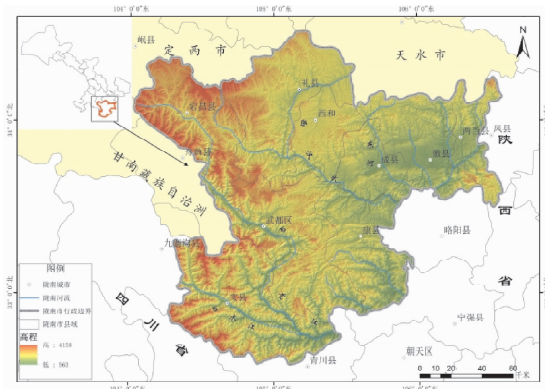


图 1 陇南市地理位置

2 数据与方法

2.1 数据来源

泥石流灾害样点数据: 2009 年甘肃省地质灾害调查报告, 数据来源于甘肃省地质环境监测院。

地质: 全国 1: 25 万地质图, 数据来源于中国地质资料馆(www.ngac.org.cn)。

地形: ASTER GDEM V2, 数据来源于美国地质勘探局(www.usgs.com)。

土壤: 中国土壤特征数据集^[16], 数据来源于国家自然科学基金委“中国西部环境与生态科学数据中心”(http://westdc.westgis.ac.cn)。

降水: 中国区域高时空分辨率地面气象要素驱动数据集^[17], SWAT 模型中国大气同化驱动数据集(CMADS V1.1)^[18], 数据来源于寒区旱区科学数据中心(http://westdc.westgis.ac.cn)。

植被: MODIS 植被指数产品 MOD13A2, 数据来源于美国地质勘探局 LPDAAC(www.ipdaac.usgs.gov)。

2.2 数据预处理

2.2.1 获取陇南市泥石流样点分布信息

汇流量和一次最大冲出量是衡量泥石流沟规模的有效指标^[19], 本文从 2009 年甘肃省地质灾害调查报告中获取陇南市 1 区 8 县已发育泥石流沟数据 1 152 条。综合 MaxEnt 模型样点数据布局应均匀合理因素, 按照汇流量 > 3.2 km² 和一次最大冲出量 > 1.5 万 m³ 筛选出陇南市泥石流沟 584 条, 以 X(经度)Y(纬度)格式加载到 ArcGIS 10.2 中, 获取陇南市泥石流灾害样点分布数据。

2.2.2 建立环境变量空间分布图层

泥石流灾害是地质、地形、降水、土壤和植被等要素共同作用的结果。短时期强降雨是泥石流灾害发生的直接诱因; 地形崎岖不平, 起伏明显促使泥石流灾害发生风险增加; 疏松土质容易受强地表径流冲刷并携带流向地势较低地区, 形成泥石流灾害^[20]。本文参照已有研究^[21], 结合陇南市地质地貌、水文气候、植被特征等实际情况, 选取岩性硬度、高程标准差、坡度、表层 0 ~ 30 cm 砂粒含量、表层 0 ~ 30 cm 粘粒含量、3 ~ 11 月降水量、6 ~ 9 月 0 ~ 24 h 累计最大降水量、植被覆盖度和河网密度 9 个影响因子。

岩性硬度: 从全国 1: 25 万地质图提取陇南市地质数据, 对其进行二值化处理, 利用 ArcScan 工具自动矢量化; 根据地层、岩类等地质信息, 按照岩石强度属性构建岩性硬度评价体系, 危险分值 1 ~ 4 表示泥石流灾害危险性逐渐增加(表 1)。利用 ArcGIS 逐类赋岩性硬度评分并转换为 Raster 图层, 获取陇南市岩性硬度数据。

高程标准差、坡度: 对 ASTER GDEM V2 30 m 高分辨率数字高程模型数据拼接并配准, 利用 ArcGIS 掩膜提取工具提取陇南市 DEM; 利用 ArcGIS 空间分析块统计工具计算陇南市 DEM 数据 3 × 3 邻域(9 个栅格单元)内像元值标准差作为陇南市泥石流灾害危险性评价的定量化指标; 利用 ArcGIS 表面分析工具获取陇南市坡度数据。

表层 0 ~ 30 cm 砂粒含量和表层 0 ~ 30 cm 粘粒含量: 利用 ArcGIS 掩膜提取工具从中国土壤特征数据集提取陇南市表层 0 ~ 30 cm 砂粒和粘粒含量数据。

3 ~ 11 月降水量: 从中国高空间分辨率地面要素驱动数据集中提取陇南市多年逐月降水量, 利用 ArcGIS 像元统计工具计算并获取 3 ~ 11 月降水量数据。

表 1 岩性硬度评价表

类别	亚类	强度/MPa	坚固系数 f	代表岩石	危险分值
硬岩	极硬岩	[60, +∞)	[8, 20]	花岗岩、二长花岗岩、闪长岩、辉长岩、石英闪长岩、玄武玢岩、硅质岩、超镁铁质岩类	1
	次硬岩	[30, 60)	[6, 8)	碳酸盐岩、碎屑岩、大理岩、白云岩、石灰岩、中酸性基性火山岩, 赤铁矿、夹灰岩、地层并层等	2
软岩	次软岩	[5, 30)	[3, 6)	千枚岩、板岩、灰岩、石膏等	3
	极软岩	(-∞, 5)	(0, 3)	页岩、粘土岩、泥岩、砂岩、砾岩及各种土体等	4

注: 参照《GB50021-2001 岩土工程勘察规范》^[22]。

表 2 环境变量体系

环境变量	数据源	类型/单位
岩性硬度	1: 25 万全国地质图	连续变量/(°)
高程标准差	ASTER GDEM V2	连续变量/m
坡度		连续变量/(°)
表层 0~30 cm 砂粒含量	中国土壤特征数据集	连续变量/%
表层 0~30 cm 粘粒含量		连续变量/%
3~11 月降水量	中国高空间分辨率地面要素驱动数据集	连续变量/mm
6~9 月 0~24 h 累计最大降水量	CMADS(1.1)	连续变量/mm
植被覆盖度	MOD13A2	连续变量/%
河网密度	ASTER GDEM V2	连续变量/(km/km ²)

6~9 月 0~24 h 累计最大降水量: 从 CMADS(1.1)中提取陇南市 43 个观测站点多年 6~9 月 0~24 h 累计最大降水量数据。降水受控于地形和坡度等因素, 本文建立陇南市多年 6~9 月 0~24 h 累计最大降水量数据与 DEM 及坡度数据的多元回归模型, 利用多元回归方程逐栅格像元求取降水值, 再利用回归所得 43 个观测站点降水量残差空间插值得到降水残差修正数据, 最后将两者数据进行栅格叠加获取 6~9 月 0~24 h 累计最大降水量数据。

植被覆盖度: 运用像元二分法对 MOD13A2 处理生成植被覆盖度, 提取河西走廊 2014 年平均植被覆盖度数据。

河网密度: 利用 ArcGIS 水文分析工具从 ASTER GDEM V2 数据产品提取河流并矢量化, 生成随机网格与河流图层相交, 逐网格计算相交河流长度作为该网格河网密度值, 获取陇南市河网密度数据。

以 ArcGIS10.2 为平台, 将各环境变量栅格数据投影统一为 WGS_1984_UTM_Zone_48N, 栅格单元为 30×30 m, 建立陇南市泥石流灾害危险性评价的环境变量体系(表 2)及空间分布图层(图 2)。

2.3 研究方法

2.3.1 模型介绍

MaxEnt 模型是基于 1957 年 Jaynes 提出的最大熵理论^[23], 分析提取物种“出现点”影响环境变量, 寻求在此约束条件下“未出现点”最大熵的可能性分布的物种潜在生境分布模拟模型, 主要应

用与物种分布模拟领域^[24], 是一种不同尺度上确定信息与未知环境间模拟转化的数据驱动方法, 可解决具有相同特征的类似问题。2004 年 Phillips 开发了 MaxEnt 3.3.3k 软件, 软件需要输入“已知点”数据和环境变量两组数据, 模型生成受试者 ROC 曲线, 以曲线下方面积(曲线与横坐标围成的矩形面积)AUC 值检验模型精度。AUC 取值范围为[0.5, 1], 当 $AUC \in [0.5, 0.6]$, 表示模型预测精度很低, 建模失败; $AUC \in (0.6, 0.7]$, 模型精度较差, $AUC \in (0.7, 0.8]$, 模型精度良好, $AUC \in (0.8, 0.9]$, 模型精度较高, $AUC \in (0.9, 1]$, 模型精度很高, AUC 大于 0.75, 表示模型可用。模型计算过程为:

$$H_p = - \sum_{i=1}^n p(x_i) \cdot \ln(x_i) \quad (1)$$

式中: H_p 表示最大熵值, x_i 表示第 i 个环境变量, $p(x_i)$ 表示环境变量 x_i 可能出现的概率, n 为环境变量的个数。最大熵的概率分布即为:

$$p = \arg[\max(H_p)] \quad (2)$$

本文采用的软件 MaxEnt 3.3.3k 版, 来源于其官网 www.cs.princeton.edu/~schapire/maxent。

2.3.2 构建陇南市泥石流灾害危险性评价的 Max-Ent 模型

构建陇南市泥石流灾害危险性评价的 MaxEnt 模型需要两组数据: 陇南市泥石流灾害样点数据和岩性硬度、高程标准差、坡度、3~11 月降水量、6~9 月 0~24 h 累计最大降水量、表层 0~30 cm 砂粒含量、表层 0~30 cm 粘粒含量、植被、河

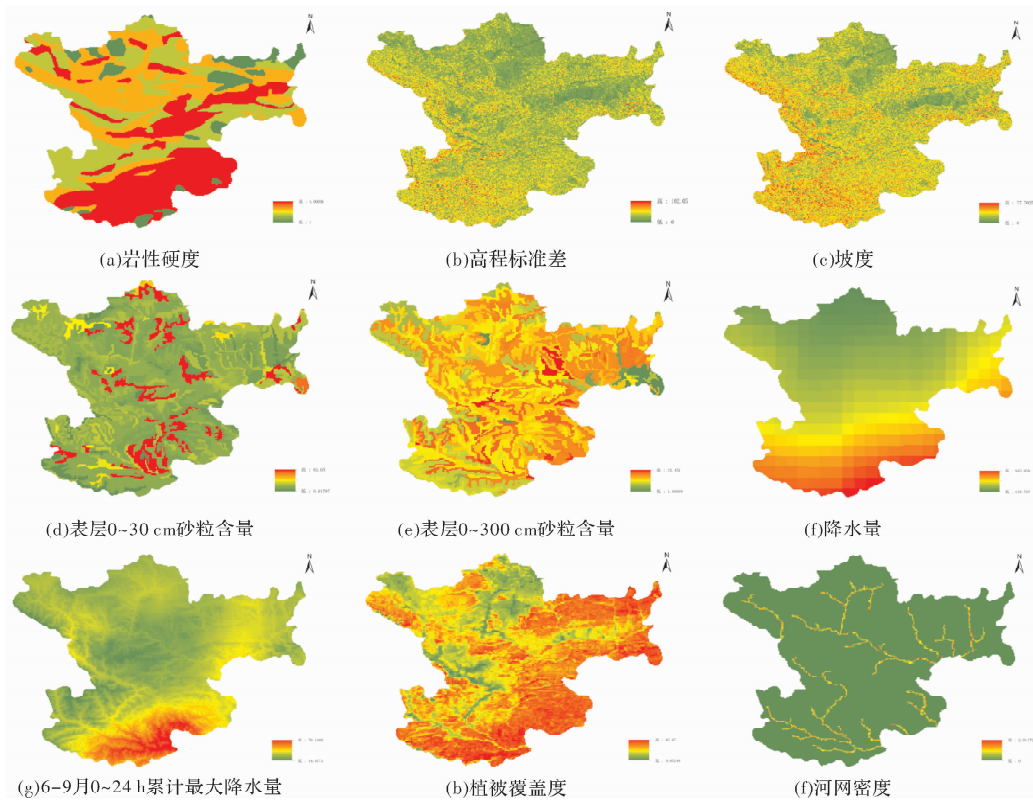


图2 环境变量图层

网密度 9 个环境变量数据。在 ArcGIS10.2 软件支持下, 利用 ArcToolBox 数据转换工具将带有经纬度属性的陇南市泥石流灾害样点数据转换成 MaxEnt 3.3.3k 软件要求的“.csv”格式, 将 9 个环境变量数据转换成软件要求的 ASCII 数据“.asc”格式。根据已有研究^[25-26], 随机选取陇南市 75% 的泥石流灾害样点作为训练数据集 (Training Data), 用于建立模型, 选取 25% 作为测试数据集 (Testing Data), 用于模型生成 ROC 曲线进行模型精度检验。运行模型生成以下结果: ①陇南市泥石流灾害危险性评价 MaxEnt 模型的受试者 ROC 曲线; ②陇南市泥石流灾害危险性分布概率 P , 以 ASCII 格式输出, 并利用 ArcGIS 数据转换功能转换成 Raster 图层; ③利用 Jackknife (刀切法) 生成的各环境变量对 P 的贡献率, 对各环境变量进行重要性排序, 探究陇南市泥石流灾害危险性分布的主要影响因素; ④生成 P 对各环境变量的响应曲线 (Response Curve), 反映 MaxEnt 模型模拟出的 P 与各环境变量之间的函数关系, 分析 $P = P_{\max}$ 时各环境变量的取值范围。

3 结果与分析

3.1 MaxEnt 模型精度检验

经过多次模型运算, 生成各数据 ROC 曲线, 红线代表训练数据, 蓝色代表测试数据, 黑色代表随机预测, 如图 3 所示。训练数据 AUC 值为

0.884, 测试数据 AUC 值为 0.861, 两者均处于 AUC 模型自检验的“精度较高”水平, 表示构建的陇南市泥石流灾害危险性评价 MaxEnt 模型可用。

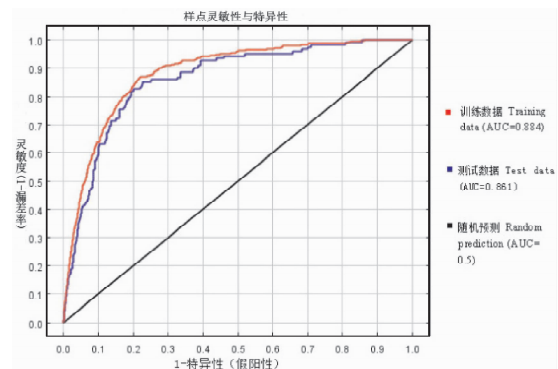


图3 MaxEnt 模型的 ROC 曲线

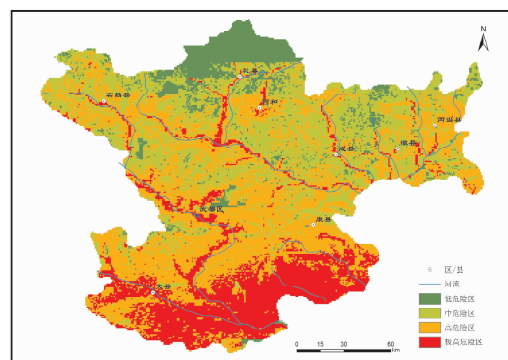


图4 陇南市泥石流灾害危险性评价图

3.2 陇南市泥石流灾害危险性评价

模型模拟的陇南市泥石流灾害危险性分布概率为 0~0.95。利用 ArcToolbox 转换功能工具将模型生成的 ASCII“.asc”文件转 Raster 图层。根据陇南市泥石流灾害发生频率及地质环境、地形、水文、植被和土壤等实际情况,本文划分泥石流灾害危险性等级,表 3,最后得到陇南市泥石流灾害危险性评价图(图 4)。

表 3 危险性等级划分标准

P	[0, 0.30)	[0.30, 0.40)	[0.40, 0.50)	[0.5, 0.95]
等级	低危险区	中危险区	高危险区	极高危险区

从图 4 可知,陇南市泥石流灾害危险性垂直分布、地带性明显,总体上,从南向北危险性逐渐减弱,极高危险区和高危险区在陇南南部分布广,北部分布区域小。

极高危险区主要分布在白龙江流域宕昌县两河口、武都透坊区域及沿岸大部分地区;白水江流域文县县城、石鸡坝、铁楼、中寨和碧口区域、白龙江和白水江交汇地区;西汉水中上游流域西和县北部黄土区漾水河沿岸、礼县西南部土石山区和东北部黄土丘陵区;康县西南部太平、铜钱和托河区域,面积 0.57 万 km^2 ,占陇南市总面积的 20.43%。此区域 3~11 月降水量介于 800~945 mm,6~9 月 0~24 h 累计最大降水量介于 55~67 mm,降水量丰沛,且降水时段集中多暴雨,河网密度介于 1.2~2.01 km/km^2 ,河网密布且汛期径流量大,岩性硬度小,灰岩,页岩等河谷软岩广布,坡度介于 20~35°,植被覆盖度较高,但地势起伏明显的区域植被类型多以草甸等固土性较差的植被类型为主,均处于全区最高水平,泥石流灾害危险性最高。

高危险区主要分布在嘉陵江干流及其支流潭泥河、永宁河、燕子河等河谷两岸地区,武都区白龙江流域大部分区域,文县西南及北部,康县东北部,两当县县城及南部区域,面积 1.12 万 km^2 ,占陇南市总面积的 40.14%。此区域 3~11 月降水量介于 550~800 mm,6~9 月 0~24 h 累计最大降水量介于 35~55 mm,河网密度介于 0.8~1.2 km/km^2 ,表层 0~30 cm 砂粒含量较大,坡度介于 35~45°地形起伏明显,地表径流易汇集此区域致灾,泥石流灾害危险性较高。

中危险区主要分布在武都区西北部,西和县中部地区,宕昌县、礼县和徽县中部及北部大部分区域,两当县东北部等地区,面积 0.78 万 km^2 ,占陇南市总面积的 27.96%。此区域较之陇南市南部地区,3~11 月降水量、6~9 月 0~24 h 累计最大降水量较少,前者介于 280~550 mm,后者介于 21~35 mm,河网密度低,岩性硬度较大,花岗岩、辉长岩、闪长岩等岩类广布,表层 0~30 cm 粘粒含量处于较高水平,泥石流灾害危险性处于中度水平。

低危险区主要分布在武都中部甘泉镇及西北小部分区域,西和县北部区域,面积 0.32 万 km^2 ,占陇南市总面积的 11.47%。此区域 3~11 月降水量、6~9 月 0~24 h 累计最大降水量均处于全区最低水平,河网密度低,河流径流量小,中秦岭华力西褶皱带穿过,岩类硬度大,地形以平原为主,地势平坦,地表径流不易汇流,泥石流灾害危险性最低。

3.3 环境变量对 P 的贡献率分析

构建模型以 Jackknife 模块生成各环境变量对 P 的贡献率图,用于分析各环境变量的重要性程度,图 5。蓝柱表示该环境变量对 P 的贡献率,柱越长表示该环境变量重要性越高,浅蓝柱表示除该变量外其他所有变量贡献率之和,红柱表示所有环境变量累计贡献率。

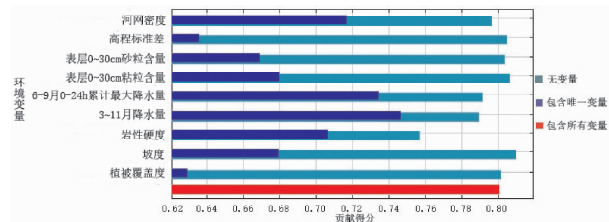


图 5 环境变量贡献率

各环境变量贡献率排序为:3~11 月降水量 > 6~9 月 0~24 h 累计最大降水量 > 河网密度 > 岩性硬度 > 坡度 > 表层 0~30 cm 粘粒含量 > 表层 0~30 cm 砂粒含量 > 高程标准差 > 植被覆盖度,所有环境变量累计贡献率达 0.80 以上,其中,3~11 月降水量和 6~9 月 0~24 h 累计最大降水量均超过 0.73,重要性程度最大,高程标准差和植被覆盖度贡献率最低,重要性最小,本文根据陇南市泥石流灾害发生机制,历史灾害频次规模等因素,按照贡献率 >0.67 筛选出 6 个主导因子,依次为 3~11 月降水量、6~9 月 0~24 h 累计最大降水量、河网密度、岩性硬度、坡度、表层 0~30 cm 粘粒含量。研究表明:水文、地质地形条件和土壤粘粒含量影响陇南市泥石流灾害危险性分布,特别地,3~11 月降水量、6~9 月 0~24 h 累计最大降水量和河网密度等水文环境影响显著。

3.4 环境变量对 P 的响应曲线分析

构建模型生成响应曲线反映各环境变量与 P 之间的数学关系(图 6)。横轴表示各环境变量的取值范围,纵轴表示危险性指数,曲线反映随各环境变量取值变化 P 的变化趋势。

从图 6 可以看出, P 与 6 个主导因子之间存在函数关系且随其取值变化有明显差异,6~9 月 0~24 h 累计最大降水量、河网密度和岩性硬度均正相关性,表明这些因子均为陇南市泥石流灾害的促进因素,陇南市泥石流灾害危险性分布主要与水文、地质地形和土壤关系密切。

水文:3~11 月降水量、6~9 月 0~24 h 累计

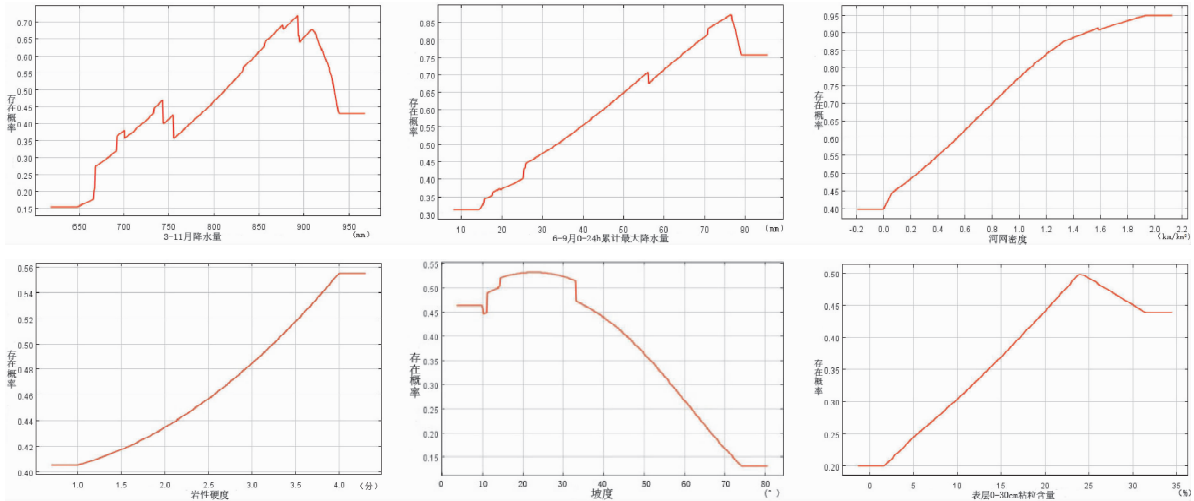


图6 环境变量与P的关系曲线

最大降水量响应曲线呈倒“V”型，曲线先上升后下降趋势，河网密度与 P 成正相关性，曲线呈逐渐上升趋势，三者是陇南市泥石流灾害危险性分布最主要的影响因子。3-11月降水量约890 mm，6-9月0~24 h累计最大降水量约75 mm时，危险性最高；降水量大且降水时段集中，多暴雨降水特征明显的地区泥石流灾害危险性更高。陇南市泥石流灾害沿河流地带性发育特征明显，白龙江、白水江和西汉水等主要水系流域泥石流灾害频发，加之汛期河流径流量大，地势落差大大增加了泥石流灾害危险性。

地质地形：岩性硬度与 P 呈高度正相关性，岩性硬度值最大时泥石流灾害危险性最高。通常岩类硬度越小，越容易受强降水冲刷致灾，反之亦然。地质环境因素复杂多样，评价因素选取不同， P 与地质环境关系也随之变化；坡度曲线呈现倒“U”型，与 P 成抛物线函数关系。坡度介于20~35°，是泥石流灾害发育的理想坡度，此区域人类活动频繁，泥石流极易成灾，随其值不断增加，人类活动逐渐变少，泥石流不易形成灾害，泥石流灾害危险性逐渐降低。

土壤：表层0~30 cm粘粒含量曲线呈先快速增长后缓慢降低趋势，约25%时，曲线达到峰值，泥石流灾害危险性最高。土壤粘粒吸水性较差，土壤粘粒含量较高的区域在强降水情况下容易达到水饱和，形成地表径流，加大了地势低平区域泥石流灾害危险性。

4 结论与讨论

4.1 结论

(1) MaxEnt 模型能应用于陇南市泥石流灾害危险性评价研究中，模拟效果表现良好。

(2) 本文利用最大熵模型模拟出陇南市泥石流灾害危险性分布概率 $P \in [0, 0.95]$ ，划分了4个等级。 $P \in [0, 0.30)$ 为低危险区，面积0.32万

km²，占陇南市总面积的11.47%； $P \in [0.30, 0.40)$ 为中危险区，面积0.78万km²，占陇南市总面积的27.96%； $P \in [0.40, 0.50)$ 为高危险区，面积1.12万km²，占陇南市总面积的40.14%； $P \in [0.50, 0.95]$ 为极高危险区，面积0.57万km²，占陇南市总面积的20.43%。陇南市泥石流灾害危险性分布垂直地带性明显，由南向北逐渐降低，武都、文县和康县极高危险区和高危险区面积较大，西和县极少。

(3) 构建陇南市泥石流灾害危险性评价模型，结合各因子贡献率，本文确定了影响陇南市泥石流灾害危险性分布的6个主导因子：3-11月降水量、6-9月0~24 h累计最大降水量、河网密度、岩性硬度、坡度和表层0~30 cm粘粒含量。

4.2 讨论

本文将MaxEnt从物种生境预测领域应用到泥石流灾害危险性评价中，将泥石流灾害典型调查样点的点评价拓展到区域尺度的面评价上，开展整个陇南市域范围内泥石流灾害危险性评价，较之已有研究^[27-28]，一方面，拓展了评价尺度，并且表现出良好的模拟效果；另一方面拓宽了该方法的应用领域，为泥石流灾害危险性评价提供方法参考及新思路。在构建最大熵分布模型时，样点布局设置是关键一步，影响到模型模拟的效果，应该布局均匀合理，另外，样点数据与影响因子数据间尺度匹配也是重要环节，因此，因子数据在空间推演应以最小网格或最小像元为单位计算，能有效提高评价精度。从灾害风险评价理论来看，灾害风险是自然环境危险性和社会经济环境易损性共同作用的结果，本文仅从危险性角度完成了陇南市泥石流灾害危险性评价，人类活动等社会经济因素易损性是进一步研究的方向和考虑对象。

参考文献：

- [1] 唐邦兴, 杜榕桓, 康志成, 等. 我国泥石流研究[J]. 地理学报, 1980, 35(3): 259-264.

- [2] 崔鹏. 我国泥石流防治进展[J]. 中国水土保持科学, 2009, 7(5): 7-13.
- [3] Hutchison A A, Cashman K V, Williams C A, et al. The 1717 eruption of Volcán de Fuego, Guatemala: Cascading hazards and societal response[J]. Quaternary International, 2016, 394: 69-78.
- [4] 刘清华, 余斌, 唐川, 等. 四川省都江堰市龙池地区泥石流危险性评价研究[J]. 地球科学进展, 2012, 27(6): 670-677.
- [5] Ronald Dorn. Identification of debris-flow hazards in warm deserts through analyzing past occurrences: Case study in South Mountain, Sonoran Desert, USA[J]. Geomorphology, 2016, 273: 269-279.
- [6] 程维民, 夏遥, 曹玉尧, 等. 区域泥石流孕灾环境危险性评价—以北京军都山区为例[J]. 地理研究, 2013, 32(4): 595-606.
- [7] Petrascheck A, Kienholz H. Hazard assessment and mapping of mountain risks in Switzerland [C]//Rickenmann D, Chen C. (Eds.), 3rd Int. Conf. on Debris-flow Hazards Mitigation. Millpress, Rotterdam, The Netherlands, 2003: 25-39.
- [8] 邓聚龙. 灰色系统基本方法[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1987.
- [9] Carlo Gregoretti, Massimo Degetto, Mauro Boreggio. GIS-based cell model for simulating debris flow runoff on a fan[J]. Journal of Hydrology, 2016, 534: 326-340.
- [10] Chen Xingzhang, Chen Hui, You Yong, et al. Weights-of-evidence method based on GIS for assessing susceptibility to debris flows in Kangding County, Sichuan Province, China[J]. Environment Earth Sciences, 2016, 75(1): 70-86.
- [11] 王威, 田杰, 马东辉, 等. 基于分形维数权重的泥石流危险度评价[J]. 山地学报, 2011, 29(6): 747-752.
- [12] 祁元, 刘勇, 杨正华, 等. 基于 GIS 的兰州滑坡与泥石流灾害危险性分析[J]. 冰川冻土, 2012, 34(1): 96-104.
- [13] 唐川, 朱静. GIS 支持下的滇西北地区泥石流灾害评价[J]. 水土保持学报, 2001, 15(6): 84-87.
- [14] Glade T. Linking debris-flow hazard assessments with geomorphology[J]. Geomorphology, 2005, 66(14): 189-213.
- [15] 杜国梁, 高金川, 胡新丽. 基于 GIS 和组合赋权的岷县板达沟泥石流危险性评价[J]. 自然灾害学报, 2014, 23(4): 235-241.
- [16] Shangguan W, Y Dai, B Liu, et al. A soil particle-size distribution dataset for regional land and climate modelling in China, Geoderma [J]. 2012, 172: 85-91. doi: 10.1016/j.geoderma.2011.01.013.
- [17] 何杰, 阳坤. 中国区域高时空分辨率地面气象要素驱动数据集[DB/OL]. 寒区旱区科学数据中心, 2011. doi: 10.3972/westdc.002.2014.db.
- [18] 孟现勇. SWAT 模型中国大气同化驱动数据集(CMADS V1.1) [DB/OL]. 寒区旱区科学数据中心, 2016. doi: 10.3972/westdc.002.2016.db.
- [19] 汪明武, 李丽, 金菊良. 泥石流危险度的改进集对分析模型[J]. 自然灾害学报, 2009, 18(6): 124-128.
- [20] 熊木齐, 孟兴民, 庆丰, 等. 甘肃省陇南市白龙江流域泥石流灾害事件与降水特征的关系[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2016, 52(3): 295-300.
- [21] 闫满存, 王光谦, 刘家宏. GIS 支持的澜沧江下游区泥石流爆发危险性评价[J]. 地理科学, 2001, 21(4): 334-338.
- [22] 杜俊, 任洪玉, 张平仓, 等. 大空间尺度山洪灾害危险评估的比较研究[J]. 灾害学, 2016, 31(3): 66-72.
- [23] Steven J Phillips, Robert P Andersonb, Robert E Schapire. Maximum Entropy Modeling of Species Geographic Distributions[J]. Ecological Modelling, 2006, 190(3/4): 231-259.
- [24] 刘振生, 高惠, 滕丽微, 等. 基于 MAXENT 模型的贺兰山岩羊生境适宜性评价[J]. 生态学报, 2013, 33(22): 7243-7249.
- [25] Moreno R, Zamora R, Molina J R, et al. Predictive modeling of microhabitats for endemic birds in south chilean temperate forests using maximum entropy (Maxent) [J]. Ecological Informatics, 2011, 6(6): 364-370.
- [26] 周冬梅, 张仁陟, 孙万仓, 等. 甘肃省冬油菜种植适宜性及影响因子评价[J]. 中国生态农业学报, 2014, 22(6): 697-704.
- [27] Ehrenfried Lepuschitz. Geographic information systems in mountain risk and disaster management[J]. Applied Geography, 2015, 63: 212-219.
- [28] 朱静. 城市山洪灾害风险评价—以云南省文山县城为例[J]. 地理学报, 2010, 29(4): 655-664.

Assessment of Debris Flow Disaster Hazard and Influence Factors in Longnan District

TIAN Feng¹, ZHANG Jun^{1, 2}, RAN Youhua³, LIU Jinpeng⁴ and LIU Si¹

(1. Collage of Resource and Environmental Sciences, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China;

2. Research Center for Water-saving Agriculture in Gansu Province, Lanzhou 730070, China; 3. Northwest

Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China; 4. Geological Natural Disaster Prevention Research Institute, Gansu

Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Longnan district is one of the four areas most likely to be hit by debris flow disasters in China, the space-time distribution of precipitation is uneven and concentrates on the special time quantum, debris flow disaster takes place frequently. Nine influence factors including Lithology Hardness, ESTD, Slope, Mar-Nov. Precipitation, Jun-Sep. 0~24h Accumulation Maximum Precipitation, 0~30cm Sand Content, 0~30cm Clay Content, Vegetation Coverage, River Network Density were selected. The MaxEnt model of debris flow disaster hazard assessment in Longnan district based on Gansu province geological disaster investigation statistics data in 2009 was built, stimulated distribution probability P of debris flow disaster hazard in Longnan district. Finally, mapping of Longnan district debris flow disaster hazard assessment was accomplished, explored the mechanism that nine influence factors acted to P. Result showed: MaxEnt model is able to apply to debris flow disasters hazard assessment in Longnan district, and the effect of stimulation is perfect; Mar-Nov. Precipitation, Jun-Sep. 0~24h Accumulation Maximum Precipitation, River Network Density, Lithology Hardness, Slope, 0~30cm Clay Content included is determined as the six main influence factors, which provides relevant agencies with the support of engineering planning and design.

Key words: debris flow; hazard; assessment; dimension; MaxEnt; Longnan District