

# 香溪河流域土壤侵蚀风险评价

王宁涛<sup>1</sup>, 史婷婷<sup>2</sup>, 陈植华<sup>2</sup>

(1. 中国地质调查局 武汉地质调查中心, 湖北 武汉 430223; 2. 中国地质大学(武汉) 环境学院, 湖北 武汉 430074)

**摘要:**香溪河流域内的土壤侵蚀量对长江中下游河段的含沙量有着重要影响。采用地质统计与 GIS 空间分析技术相结合的方法, 对该流域内的土壤侵蚀状况进行了风险分析。结果表明, 香溪河流域土壤侵蚀以中度和强度为主, 侵蚀风险以轻险区为主, 其中, 土壤侵蚀发生的主要区域为植被覆盖度低于 45%、坡度大于 25° 的区域和黄壤区域, 15° 以上的坡耕地基本为危险区域。研究结果为该地区土壤侵蚀防治提供了科学依据。

**关键词:**土壤侵蚀; 风险评价; 地质统计; 空间分析

中图分类号: S157 文献标志码: A

水土流失作为全球最大的地质环境问题之一, 受到广泛关注。1877 年, 学者 Ewald Wollny 基于土壤侵蚀因子与土壤侵蚀进行定量化研究, 建立了 USLE (Universal Soil Loss Equation) 模型。随后, 不同研究人员分别针对研究区的实际情况, 选用主要影响因子, 即降雨量、径流量、地形、植被覆盖度及类型、土地利用类型、土壤类型、土壤可蚀性以及母岩岩性等, 进行了土壤侵蚀评价和土壤侵蚀危险性分析。USLE 模型经过不断发展和演化, 形成了 RUSLE、WEPP、SWAT、WATTEM、WEPS 等模型<sup>[1-2]</sup>。水土流失在不同区域具有不同的特点, 通用模型具有一定的局限性, 而地质统计学方法可以较好地对特定区域的土壤侵蚀进行定量化研究。

香溪河流域水土流失较严重, 水土流失面积超过 2 700 km<sup>2</sup>, 且侵蚀程度多为中度以上。20 世纪 80 年代以来有增无减, 全年冲走表土层总量为 1 263 万 t, 相当于破坏 775 km<sup>2</sup> 的土壤表层, 土壤有机质损失严重, 直接导致了土壤肥力降低。另外, 随着气候环境的变化, 其水土流失也受到了较大的影响, 盛前丽和张洪江等人采用 SWAT 模型对该流域径流受环境变化影响进行了模拟研究, 结果表明, 香溪河流域径流变化受气候变化影响大于受土地利用变化影响<sup>[3]</sup>; 随后, 采用 SCS 模型并结合土壤类型对香溪河流域 6 种土地利用类型进行产流分析, 完成了香溪河流域不同土地利

用类型的产流特性研究<sup>[4]</sup>。陈炼钢等人人在完成对香溪河流域土壤流失评价后, 基于 RUDLE 和 SDR 等模型, 应用 RS 和 GIS 技术完成了土壤流失脆弱区及影响土壤侵蚀相关因子的识别研究, 并选用降雨、土壤属性、地形坡度、植被覆盖度和沙源与河道的距离等 5 个主要影响因子, 进行土壤流失脆弱区分区与各因子的特征分析, 完成了脆弱区分布特征的研究<sup>[5-6]</sup>。以上研究均是利用通用模型分析香溪河流域环境变化对水土流失的影响, 以及土地利用类型、气候等单因子对水土流失的影响, 未能很好反映影响因子共同作用条件下的特征。

本研究以香溪河流域为例, 在前人调查、研究的基础上, 选取降雨量、土地利用类型、植被覆盖度、坡度、土壤可蚀性和坡耕地分布特征等因子, 采用现代地质统计方法(以克服传统评价模型针对性不足的问题), 充分挖掘土壤侵蚀与各因子之间的统计相关性和空间及属性特征, 建立多元综合评价模型, 并运用 GIS 技术的空间分析功能, 完成了香溪河流域土壤侵蚀风险性分析, 为防治该地区土壤侵蚀提供了科学依据。

## 1 研究区概况

香溪河流域位于东经 110°25' ~ 111°06', 北纬 30°57' ~ 31°34' 之间, 地处湖北西南山区, 位于湖北省宜昌市境内, 东接保康县和宜昌市夷陵区, 南抵长江西陵

峡段,西邻巴东县,北连神农架。东西长 66 km,南北宽 67 km。该流域发源于湖北省西北部神农架林区,有东西两个源头,东源于神农架林区骡马店(东河),西源于神农架山南(西河),由北向南纵贯兴山县全境,于秭归县香溪镇东注入长江。河流全长 94 km,流域总面积 3 221.19 km<sup>2</sup>,拥有南阳河、古夫河、高岚河 3 条主要支流。

香溪河流域为长江一级支流,主要流经神农架林区、兴山县和秭归县,其中兴山县占该流域面积的 70% 以上,神农架约占 20%,秭归县约占 10%。香溪河流域属亚热带季风气候,四季分明、雨量充沛。据《典型流域水循环过程岩溶调查与评价综合研究报告》(2011 年),香溪河流域年径流深 723.3 mm,径流模数 21.491 L/(s·km<sup>2</sup>),多年平均流量 65.5 m<sup>3</sup>/s,年均降雨量 1 015.6 mm,多年平均径流量 195.5 亿 m<sup>3</sup>。香溪河流域为鄂西地区降雨中心之一,降雨多集中在 4~9 月份,约占全年降雨总量的 70%。

香溪河流域山体隶属大巴山和巫山余脉,以深-中深切的中低山地地形为主,河谷发育,呈不对称“V”字形。山体自然坡角一般在 30°~45°之间,第四系残坡积物覆盖较少,基岩裸露,基岩岸坡一般上陡、中缓、下陡,新公路人工切坡一般为 30°~50°,坡高 10~40 m,路边弃土形成 30°左右的自然边坡。河流垂直下切作用强烈,岸坡以机械剥蚀为主,属强剥蚀的中低山区。土壤类型繁多,共分 7 类土型:黄壤、黄棕壤、棕壤、石灰土、紫色土、水稻土、潮土,其中黄棕壤和石灰土占土地总面积的 80% 左右。土壤肥力中等,除钾肥基本够用外,普遍缺磷,大部分缺氮。该流域以林地为主,占全区 72%,植被覆盖良好,以中高植被覆盖为主,约占全区的 65%,中低植被覆盖约占 30%;农田约占全区的 12%,灌丛和草地约占全区的 13%。

香溪河流域水土流失较严重,水土流失面积超过 2 700 km<sup>2</sup>,且侵蚀程度多为中度以上。流域山峦叠起,沟壑纵横,土壤松弛,每逢暴雨,必导致水土流失。20 世纪 90 年代以来,随着地方经济的发展,大量砍伐森林,发展森林工业,以及随着矿山开采、公路修建、电站建设等工程的实施,更加剧了森林植被的破坏,导致其水源涵养能力下降。

## 2 研究思路

(1) 根据《土壤侵蚀分类分级标准》(SL 190-2007)中的土壤侵蚀风险评价方法,结合国内外相关文献,确定土壤侵蚀风险评价的方法,并按照无险型、轻险型、危险型、极险型和毁坏型进行分级。

(2) 依据技术规范及国内外研究现状,结合香溪

河流域特点选取降雨量、土地利用类型、植被覆盖率、坡度、土壤可蚀性和坡耕地分布特征等因子<sup>[7-9]</sup>。基于 GIS 和 RS 技术及收集的基础资料,实现土壤侵蚀影响因子的提取和分析;通过单因子回归分析,建立土壤侵蚀强度模型;利用 GIS 技术实现综合评价模型<sup>[10-14]</sup>,完成香溪河流域土壤侵蚀强度分析。

(3) 根据研究区母岩岩性与土层厚度,以及基于 GIS 技术的土壤风险评价模型,进行土壤可侵蚀年限计算,并按照分级标准,进行土壤侵蚀风险评价分析。

(4) 依据土壤侵蚀强度和土壤侵蚀风险评价分析结果,分析其与各单因子之间的关系。

## 3 侵蚀强度因子的选取与分级

### 3.1 影响因子分析

#### 3.1.1 年降雨量

香溪河流域地处中山地区,局部小气候现象明显,为准确获取香溪河流域多年平均降雨量资料,收集了香溪河流域内及周边县(市)多个气象站的多年平均降雨量资料,通过 Surfer8.0,采用克里金插值方法,完成香溪河流域多年平均降雨量等值线图。表 1 为收集到的香溪河流域相关县(市)多年平均降雨量数据及监测站位置坐标。

表 1 香溪河流域多年平均降雨量数据

监测站 位置	坐标点/m		降雨量/ mm	监测站 位置	坐标点/m		降雨量/ mm
	X	Y			X	Y	
峡口	479332.61	3443931.01	971.41	中阳垭	476236.74	3480896.00	1128.82
兴山	476182.22	3456872.89	979.44	水果园	469963.98	3503088.31	1128.78
水月寺	406331.19	3459110.85	1052.81	秭归	472945.10	3432858.22	981.37
花桥	485632.17	3399573.19	1155.83	青山	488910.49	3480874.84	1047.23
南阳河	469857.30	3466128.76	1076.52	神农架	469294.49	3513594.74	950.43
九冲	460387.46	3479096.11	1276.87	远安	561091.74	3437925.46	1100.21
红花	450871.65	3477288.51	1259.47	保康	524709.49	3528389.89	934.68
郑家坪	476219.93	3473504.19	936.48	巴东	437108.19	3435862.65	1500.27

#### 3.1.2 土地利用类型

选用香溪河流域 2011 年 Landsat 遥感数据,采用  $GIV = -0.2848 \times TM1 - 0.2435 \times TM2 - 0.5436 \times TM3 + 0.7243 \times TM4 + 0.084 \times TM5 - 0.1800 \times TM7$  和  $NDVI = (TM4 - TM3)/(TM4 + TM3)$ <sup>[8]</sup> 及纹理特征,采用决策树分类方法对植被覆盖类型进行了提取分析,将香溪河流域土地类型分为 6 类:林地、草地、灌丛、水体、居民地和农田,如表 2 所示。

#### 3.1.3 植被覆盖度

选用香溪河流域 2011 年 Landsat 遥感数据,采用  $NDVI = (TM4 - TM3)/(TM4 + TM3)$  提取植被覆盖度,并按照《土壤侵蚀分类分级标准》(SL 190-2007)

面蚀(片蚀)分级指标中植被覆盖度的分级标准进行分级(表 3)。

表 2 香溪河流域土地覆盖类型数据统计

土地类型	面积/ km <sup>2</sup>	百分比/ %	土地类型	面积/ km <sup>2</sup>	百分比/ %
林地	2340.63	72.66	灌丛	176.52	5.48
农田	400.53	12.43	草地	260.20	8.08
水体	25.38	0.79	居民地	17.93	0.56

表 3 土壤水力侵蚀强度分级指标

地类	覆盖度/%	坡度/(°)				
		5~8	8~15	15~25	25~35	>35
非耕地林草	60~75	轻度	轻度	轻度	中度	中度
	45~60	轻度	轻度	中度	中度	强烈
	30~45	轻度	中度	中度	强烈	极强烈
	<30	中度	中度	强烈	极强烈	剧烈
坡耕地		轻度	中度	强烈	极强烈	剧烈

通过分析,香溪河流域 NDVI 指数最小值为 -0.688 890,最大值为 0.524 948,根据野外调查结果,对 NDVI 指数进行统计分析,确定不同植被覆盖度对应的 NDVI 指数、分布面积及比例见表 4。

表 4 香溪河流域植被覆盖度类型数据统计

植被覆盖度/%	NDVI 指数	面积/km <sup>2</sup>	百分比/%
< 30	-0.68889 ~ 0.026672	204.19	6.34
30 ~ 45	0.026672 ~ 0.168648	752.77	23.37
45 ~ 60	0.168648 ~ 0.304945	888.41	27.58
60 ~ 75	0.304945 ~ 0.454205	1030.76	32.00
> 75	0.454205 ~ 0.524948	245.06	7.61

### 3.1.4 坡度

香溪河流域,最低处为香溪河入长江口,海拔 260 m,最高处为流域西北角南阳河上游,海拔 3 100 m。香溪河流域地势北高南低、切割深,为土壤侵蚀提供了良好的地形条件。该流域降雨充沛,坡耕地较多,在雨水作用下,易形成水土流失,产生土壤侵蚀。因此,需该对流域进行地形坡度分区。通过收集到的地形图进行 DEM 建模,采用 ArcGIS 的 Slope 分析功能,完成香溪河流域坡度分析,见表 5。

表 5 坡度分级统计结果

坡度分级/ (°)	面积/ km <sup>2</sup>	百分比/ %	坡度分级/ (°)	面积/ km <sup>2</sup>	百分比/ %
<5	255.89	7.94	15~25	749.77	23.28
5~8	9.90	0.31	25~35	1051.67	32.65
8~15	168.55	5.23	>35	985.41	30.59

坡度小于 25°区域约占全区面积的 1/3,主要沿高阳镇、古夫镇、黄粮镇和榛子乡沿线分布(该区域为香

溪河干流区域以及古夫河流域与高岚河流域交界区域),部分分布于水月寺镇和高岚镇南部,为高岚河流域南部区域,坡度小于 25°的区域将香溪河流域由东南至西北分割成峰谷地形;坡度大于 35°的区域约占全区面积的 1/3,主要沿南阳河、古夫河及高岚河两侧以及香溪河左岸峡口-香溪段分布;坡度 25°~35°的区域约占全区 1/3,呈零星分布,主要为以上坡度分布的过度区域。

### 3.1.5 土壤可蚀性

香溪河流域土壤类型繁多,共分 5 类,11 亚类。根据收集的资料,按照土壤侵蚀不同特性,将土壤分为黄壤土、黄棕壤土(包括棕壤)、水稻土、石灰土和紫色土。详见表 6。

表 6 土壤类型分区面积及比例

土壤类型	面积/ km <sup>2</sup>	百分比/ %	土壤类型	面积/ km <sup>2</sup>	百分比/ %
黄壤	128.11	3.98	石灰土	222.12	6.90
黄棕壤土(棕壤)	2697.06	83.73	紫色土	167.01	5.18
水稻土	6.89	0.21			

### 3.1.6 坡耕地分布特征

采用 ArcGIS 空间分析技术,对土地利用类型和坡度分级结果进行分析,完成香溪河流域不同坡度耕地面积的提取,结果如表 7 所示。

表 7 坡度分级统计结果

坡度分级/ (°)	面积/ km <sup>2</sup>	百分比/ %	坡度分级/ (°)	面积/ km <sup>2</sup>	百分比/ %
<5	35.55	8.88	15~25	96.68	24.14
5~8	1.58	0.39	25~35	127.45	31.82
8~15	24.82	6.20	>35	114.45	28.57

## 3.2 侵蚀强度分级

根据监测点各个因子的分布情况,分别计算各个因子在土壤侵蚀强度中所占的比例,并将其作为影响因子与侵蚀强度之间定量关系的基本参数。通过统计方法中的回归分析,基于监测点数据,建立单因子模型,以明确土壤侵蚀强度与各影响因子间的关系。

本研究以各单因子为基础,按照《土壤侵蚀分类分级标准》(SL 190-2007)分级指标进行矢量化,基于野外 36 个有效监测点的调查资料,计算各个因子在土壤侵蚀强度中所占的不同定量比例,并将其作为模型计算的基本参数。通过单因子回归分析,结合监测数据,进行侵蚀模数回归分析,得到综合评价模型<sup>[14]</sup>:

$$M = -4\ 372.17 + 1.28 \times M1 - 1.52 \times M2 - 1.457 \times M3 + 1.882 \times M4 + 0.01 \times M5 + 0.12 \times M6$$

上式中,  $M$  为土壤侵蚀模数;  $M1 \sim M6$  分别为降雨量、

土地利用类型、植被覆盖度、坡度、土壤可蚀性和坡耕地分布特征的侵蚀模数。

采用 GIS 空间分析技术进行计算,得到不同土壤类型的侵蚀强度,进行分区后得到土壤侵蚀强度分级图,并分别统计出如表 8 所示的各侵蚀类型和面积。

表 8 土壤侵蚀等级分区面积及比例

分级	侵蚀模数/ [t·(km <sup>2</sup> ·a) <sup>-1</sup> ]			分级	侵蚀模数/ [t·(km <sup>2</sup> ·a) <sup>-1</sup> ]		
	面积/ km <sup>2</sup>	百分比/ %			面积/ km <sup>2</sup>	百分比/ %	
微度	<500	42.33	1.31	强度	5000~8000	1338.12	41.54
轻度	500~2500	186.23	5.78	极强度	8000~15000	232.55	7.22
中度	2500~5000	993.29	30.84	剧烈	>15000	140.3	4.36

分析各土壤侵蚀因子得出,香溪河流域无土壤侵蚀区域主要包括水体、居民地和植被覆盖度高于 75% 的区域,面积共约 288.37 km<sup>2</sup>,占全流域面积的 8.95%。土壤侵蚀区域总面积 2 932.82 km<sup>2</sup>,占全流域面积的 81.05%。

## 4 风险评价因子的选取与分级

### 4.1 因子的选取

土壤侵蚀潜在危险性计算,主要考虑土壤层厚度与母岩的风化速率。因此,进行土壤侵蚀潜在危险性评价,需获取土壤厚度和母岩岩性分区。

#### 4.1.1 土壤厚度

香溪河流域河流切割较深,通过调查和取样,获取了香溪河流域部分土壤类型的厚度数据,详见表 9。

根据湖北省第 2 次土壤调查数据和《兴山县土壤志》等,将野外调查的土壤数据与其土壤厚度分布、土壤分布类型进行对比分析,结果基本一致。其中,紫色土 4 个(酸性紫色土 3 个,中性紫色土 1 个),石灰土 15 个(黑色石灰土 1 个,棕色石灰土 14 个),黄棕壤 12 个(暗黄棕壤 8 个,黄棕壤性土 4 个),黄壤 5 个(黄壤 1 个,黄壤性土 4 个)。野外调查点涵盖香溪河流域的四大类土壤,包含了该区域 11 个亚类中的 8 个。通过对比,土壤厚度调查数据 36 个样中,偏离百分比最大为 -7.69,最小为 0,详见表 10。

由表 10 可知,野外调查土壤厚度值与资料记录结果存在一定的误差,其中,94% 以上调查点的偏离误差小于 5%。因此,可以将原有资料作为香溪河流域土壤厚度分布结果。

根据湖北省第 2 次土壤调查和《兴山县土壤志》中的数据,可以得到香溪河流域土壤厚度分布图及土壤厚度分布面积与比例(见表 11)。

#### 4.1.2 母岩岩性

母岩岩性作为覆盖层的来源,其风化速度与强度,

直接影响覆盖层厚度。

根据香溪河流域地质图获取区内地质岩性分布图以及各地层特性,将其分为 5 类,详见表 12。

表 9 土壤类型和厚度野外调查数据

采样点	坐标点/m		土壤类型	厚度/ cm	采样点	坐标点/m		土壤类型	厚度/ cm
	X	Y				X	Y		
XXH01	443270	3481131	棕色石灰土	123	XXH19	482541	3489547	黄棕壤性土	209
XXH02	447053	3479251	暗黄棕壤	107	XXH20	481557	3490863	棕色石灰土	121
XXH03	450639	3473486	暗黄棕壤	212	XXH21	480939	3485405	棕色石灰土	124
XXH04	457473	3468277	暗黄棕壤	225	XXH22	489912	3481904	暗黄棕壤	216
XXH05	462048	3472033	棕色石灰土	114	XXH23	482439	3479128	棕色石灰土	118
XXH06	470971	3460988	棕色石灰土	127	XXH24	473026	3474621	棕色石灰土	124
XXH07	503834	3466302	暗黄棕壤	224	XXH25	477059	3470761	黄壤性土	220
XXH08	491765	3480545	黄棕壤性土	212	XXH26	478750	3444221	黄壤性土	127
XXH09	498355	3468767	棕色石灰土	124	XXH27	473826	3459164	酸性紫色土	132
XXH10	496837	3466442	暗黄棕壤	222	XXH28	474667	3458446	酸性紫色土	139
XXH11	492395	3461459	棕色石灰土	114	XXH29	476604	3456348	酸性紫色土	120
XXH12	490531	3457665	暗黄棕壤	222	XXH30	479916	3468621	棕色石灰土	124
XXH13	484349	3446705	黄壤性土	210	XXH31	479332	3456198	棕色石灰土	136
XXH14	498782	3452688	黄壤性土	221	XXH32	492150	3473750	暗黄棕壤	217
XXH15	491881	3452485	棕色石灰土	123	XXH33	475930	3485239	棕色石灰土	124
XXH16	491119	3499020	黄棕壤性土	214	XXH34	476639	3439295	中性紫色土	124
XXH17	483347	3492075	黄棕壤性土	116	XXH35	475715	3434873	黄壤	128
XXH18	489634	3494943	黑色石灰土	121	XXH36	477806	3428930	棕色石灰土	116

表 10 土壤厚度误差分析结果

偏离 百分比/%	采样 数量/个	比例/ %	偏离 百分比/%	采样 数量/个	比例/ %
<2	12	33.34	5 >	2	5.56
2~5	22	61.11			

表 11 土壤厚度分区面积及比例

厚度 分级/cm	面积/ km <sup>2</sup>	比例/ %	厚度 分级/cm	面积/ km <sup>2</sup>	比例/ %
110	328.33	10.19	130	180.58	5.61
120	1422.22	44.15	220	1290.06	40.05

表 12 岩性分区面积及比例

岩性分类	面积/ km <sup>2</sup>	比例/ %	岩性分类	面积/ km <sup>2</sup>	比例/ %
硬性变质岩	2490.56	77.32	泥质岩类	98.50	3.06
石灰岩	159.67	4.96	红砂岩	315.27	9.79
砂砾岩	157.19	4.88			

### 4.2 危险性分级

根据土壤侵蚀模数分区与香溪河流域平均土壤密度,通过 ArcGIS 进行计算,获取了香溪河流域土壤年均侵蚀深度及分级。基于获取的土壤平均厚度分区图和母岩岩性分区图,采用 ArcGIS 空间分析技术,完成了香溪河流域土壤可侵蚀年度分析,及其土壤侵蚀危险性计算分析(见表 13)。

通过计算,完成了香溪河流域土壤侵蚀分布图,结合《土壤侵蚀分类分级标准》(SL 190-2007)中的分类标准,将研究区的临界土层厚度划定为 15 cm,根据土壤分布厚度图,减去最小土层厚度后,计算得到危险性分区的土壤厚度。因覆盖较厚,在计算过程中忽略母岩风化速率的影响。

表 13 香溪河流域土壤侵蚀强度及年侵蚀深度分级

分级	侵蚀模数/ [t·(km <sup>2</sup> ·a) <sup>-1</sup> ]	年侵蚀深度/ (mm·a <sup>-1</sup> )	分级	侵蚀模数/ [t·(km <sup>2</sup> ·a) <sup>-1</sup> ]	年侵蚀深度/ (mm·a <sup>-1</sup> )
微度	<500	0.37	强度	5000~8000	3.7~5.9
轻度	500~2500	0.37~1.9	极强度	8000~15000	5.9~11.1
中度	2500~5000	1.9~3.7	剧烈	>15000	>11.1

注:按照土壤平均密度 1.35 g/cm<sup>3</sup> 换算年侵蚀深度。

通过 ArcGIS 空间分析,将土壤侵蚀强度和土壤厚度作为计算数据,完成了土壤侵蚀危险分布图。按照水蚀区危险程度分级标准,对香溪河流域土壤侵蚀时间(年)的结果进行分级,得到土壤侵蚀危险评价结果(见表 14)。

表 14 土壤侵蚀强度危险性分区结果

级别	临界土层的抗蚀年限/a	面积/km <sup>2</sup>	百分比/%
无险型	>1000	338.87	10.52
轻险型	100~1000	2849.81	88.47
危险型	20~100	32.51	1.01
极险型	<20		
毁坏型	裸岩、明沙、土层不足 10cm		

注:临界土层系指农、林、牧业中林草作物种植所需厚度的最低限值,无险型区域中水域面积为 25.38 km<sup>2</sup>,也包含部分居民地。

轻险型区域面积高达 2 849.81 km<sup>2</sup>,占香溪河流域面积 88.58%。危险性区域 32.51 km<sup>2</sup>,占香溪河流域面积 1.01%,主要集中分布于神农架木鱼镇附近,部分集中于南部的高岚镇和北部的榛子乡与神农架相邻的区域,土壤厚度小,侵蚀强度大,其母岩岩性为红砂岩或硬性变质岩,不易风化。通过分析,木鱼镇附近危险型区域主要受降雨量影响,年均降雨量为香溪河流域最大;高岚镇南部危险型区域,主要受土壤类型影响,为黄壤区域;榛子乡北部危险性区域,主要受土地利用类型影响,为耕地,且坡度在 5°~8°之间。

## 5 结语

基于降雨量、土地利用类型、植被覆盖度、坡度、土壤可蚀性和坡耕地等影响因子,完成了香溪河流域土壤侵蚀强度分区;结合土壤厚度和母岩岩性,分析完成了该流域土壤侵蚀危险性评价分区。

(1) 全区以中度和强度侵蚀为主,面积达 2 704.26 km<sup>2</sup>,占香溪河流域面积的 83.95%;微度和轻度面积为 228.56 km<sup>2</sup>,占全区的 7.09%;极强烈和剧烈侵蚀面积为 372.85 km<sup>2</sup>,占全区面积的 11.58%。

(2) 土壤危险性区域分布基本不受降雨量控制,受其他因子影响较大。其中,植被覆盖度为 45% 以下的区域、坡度 25°以上区域、农田和草地以及黄棕壤和棕壤为土壤侵蚀发生的主要区域。黄壤仅占流域面积的 3.98%,其危险区所占面积比例却高达 11.84%。

(3) 土地利用类型不合理,尤其是较多的坡耕地,加剧了香溪河流域的水土流失,应逐步引导农民进行果树、茶树等种植或退耕还林。坡度 25°以上区域适宜种植林木,15°~25°坡地以种植果树、茶树等经济树木为主,15°以下区域在进行农业生产时应采取水土保持措施;黄壤土区域应严格控制农业生产,宜种植果树、茶树等经济林。

## 参考文献:

- [1] 孙长安. 国内外应用“3S”技术开展水土流失监测的发展状况[J]. 中国水土保持, 2008, (6): 54-57.
- [2] 尹忠东, 周心澄, 朱金兆. 影响水土流失的主要因素研究概述[J]. 世界林业研究, 2003, 16(3): 32-36.
- [3] 盛前丽, 张洪江, 刘国栋. 环境变化对香溪河流域径流影响的研究[J]. 西部林业科学, 2008, 37(4): 35-39.
- [4] 盛前丽, 张洪江. 香溪河流域不同土地利用类型的产流特性研究[J]. 西部林业科学, 2009, 38(2): 28-32.
- [5] 陈炼钢, 钱心, 施勇, 等. 基于 RUSLE 和 SDR 的香溪河流域土壤流失脆弱区识别[J]. 中国科技论文, 2012, 7(5): 395-402.
- [6] 陈炼钢, 钱心, 施勇, 等. 香溪河流域土壤流失脆弱区分布特征研究[J]. 中国科技论文, 2012, 7(5): 403-408.
- [7] Kinnell P IA. The effect of slope length on sediment concentrations associated with side-slope erosion[J]. Soil Science Society of American Journal, 2000, (64): 1004-1008.
- [8] 罗志东. 基于 GIS 的全国典型水蚀区侵蚀后果危险度评价研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2006.
- [9] Chaowen Lin, Shihua Tu, Jingjing Huang, et al. The effect of plant hedgerows on the spatial distribution of soil erosion and soil fertility on sloping farmland in the purple-soil area of China[J]. Original Research Article Soil and Tillage Research, 2009, 105(2): 307-312.
- [10] 杨旺舟, 董锁成, 武友德, 等. 滇西北纵向岭谷区水土保持对策研究——以怒江州为例[J]. 中国水土保持, 2011, (1): 31-33.
- [11] 王宁涛, 黄承忠, 陈植华, 等. 基于 RS 和 GIS 的矿区水土流失定量监测方法研究——以福建省马坑铁矿矿区水土流失为例[J]. 中国水土保持, 2008, (4): 37-41.
- [12] 武文波, 姬翠翠, 李晓松, 等. 影响土壤水蚀的环境因子分析[J]. 中国水土保持, 2010, (5): 36-38.
- [13] 满建利, 姜成, 彭虹霞, 等. 降雨因素和不同土地利用方式对水土流失的影响[J]. 水土保持研究, 2010, 17(1): 31-34.
- [14] 罗万勤. 黄土丘陵区土壤侵蚀评价模型研究[D]. 武汉: 中国地质大学(武汉), 2004.

(编辑: 朱晓红)

(下转第 66 页)

- [3] M Visa, F Klijn, K M De Bruijn, et al. Resilience strategies for flood risk management in the Netherlands[J]. *International Journal of River Basin Management*, 2003, (1): 33-40.
- [4] Merz B, Kreibich H, Thieken A, et al. Estimation uncertainty of direct-monetary flood damage to buildings[J]. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 2004, 4(1): 153-163.
- [5] 冯民权, 周孝德, 王克平. 蓄滞洪区洪水模拟研究综述[J]. *西北水力发电*, 2002, (1): 5-8.
- [6] 刘志雨, 谢正辉. TOPKAPI 模型的改进及其在淮河流域洪水模拟中的应用研究[J]. *水文*, 2003, (6): 1-7.
- [7] 董传红, 王保东. 一维不恒定流河网数学模型研究与应用[J]. *水利水电技术*, 2005, (4): 18-20.
- [8] 许有鹏, 李立国, 蔡国民, 等. GIS 支持下中小流域洪水风险图系统研究[J]. *地理科学*, 2004, (4): 452-457.
- [9] 王义成, 陆吉康. 我国洪水风险图编制技术标准化的探讨[J]. *中国水利水电科学研究院学报*, 2006, (1): 8-14.
- [10] 向立云. 洪水管理模型及其应用[J]. *水利发展研究*, 2002, (12): 12-14.
- [11] 程晓陶. 关于洪水管理基本理念的探讨[J]. *中国水利水电科学研究院学报*, 2004, (2): 36-43.
- [12] 张佳丽. 蓄滞洪区洪灾风险评估方法及应用[D]. 天津: 天津大学, 2007.
- [13] 吕昌荣. 区域农业洪水灾害脆弱性评价研究[D]. 上海: 上海师范大学, 2008.
- [14] 向立云. 洪水灾害风险分析与评价研究[J]. *水利发展研究*, 2004, (8): 25-29.
- [15] 张灵, 翁毅, 陈晓宏. 基于支持向量机的防洪脆弱性评价模型研究[J]. *人民长江*, 2009, (40): 3-8.
- [16] 刘国庆. 基于 GIS 和模糊数学的重庆市洪水灾害风险评估研究[D]. 重庆: 西南大学, 2010.
- [17] 冯民权, 周孝德, 张根广. 洪灾损失评估的研究进展[J]. *西北水资源与水工程*, 2002, (13): 32-36.
- [18] 王宝华, 付强, 谢永刚. 国内外洪水灾害经济损失评估方法综述[J]. *灾害学*, 2007, (3): 95-99.
- [19] 魏一鸣. 洪水灾害风险管理理论[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- [20] B L Turner II, E Roger Kasperson, Pamela A Matson, et al. A framework for vulnerability analysis in sustainability science[J]. *PNAS*, 2003, 100(14): 8074-8079.

(编辑: 李慧)

## Study of evaluation index system for flood risk management of flood detention areas in Huaihe River Basin

SONG Yuqin, JIANG Yingnan

(College of Environment Science and Engineering, Peking University, Beijing 100871, China)

**Abstract:** Nowadays, the new problems of "population", "resources" and "environment" appear in the flood risk management of flood detention areas, so the traditional flood risk management method cannot be applied properly. We identify the potential risks of flood detention areas and screen evaluation indices from the aspects of flood hazard and regional vulnerability, by using objective and subjective methods combined. 15 flood detention areas in Huaihe River Basin are taken as an example, the weight of indices are determined by using entropy method, and the evaluation index system for flood risk management of flood detention areas in Huaihe River Basin are established. A systematical evaluation for the flood risk management system of flood detention areas in Huaihe River Basin is conducted. The result shows that the flood risk management of flood detention areas in Huaihe River Basin should be focused on improving disaster bearing capacity and reducing economic vulnerability as well as social vulnerability.

**Key words:** flood detention areas; flood risk management; entropy method; Huaihe River Basin

(上接第 61 页)

## Risk assessment of soil erosion in Xiangxi River Basin of Yangtze River

WANG Ningtao<sup>1</sup>, SHI Tingting<sup>2</sup>, CHEN Zhihua<sup>2</sup>

(1. Wuhan Geology Survey, China Geology Survey, Wuhan 430205, China; 2. School of Environmental Studies, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** The amount of soil erosion in Xiangxi River Basin has an important impact on the sediment concentration in the middle and lower reaches of Yangtze River. The risk assessment of soil erosion in the basin is conducted with the combinative use of geostatistics and spatial analysis of GIS technology. The results show that the soil erosion of Xiangxi River Basin is mainly moderate and intensive, and the risk of erosion is mainly light. The main areas of soil erosion are the areas with coverage of vegetation less than 45% and the slope steeper than 25°, as well as the area of yellow soil. Almost all sloping farmlands with gradient greater than 15° are dangerous. All of these results provide a scientific basis for the prevention of soil erosion in the region.

**Key words:** soil erosion; risk assessment; geological statistics; spatial analysis