

基于 GIS 的中国水蚀区土壤侵蚀后果危险度研究方法

任洪玉

(长江水利委员会 长江科学院, 湖北 武汉 430010)

摘要: 在中国水土流失和生态安全综合科学考察项目支持下,在综合科考的 7 大片区内,利用抽样调查方法结合 GIS 技术,依据水利部技术标准《土壤侵蚀分类分级标准》,依托国产水土保持专业 GIS 软件平台,研究提出了基于 GIS 的中国水蚀区土壤侵蚀后果危险度研究方法,总结了土壤侵蚀后果危险度分析评价的完整技术流程。实践证明,依据该流程完成的我国部分水蚀区危险度评价结果基本合理。本研究可为土壤侵蚀后果危险度研究及水土保持 GIS 软件模块开发提供一定参考。

关键词: 侵蚀后果危险度; GIS; 抽样调查

文献标识码: B

文章编号: 1000—288X(2007)04—0136—05

中图分类号: S157, X830.2

GIS Based Evaluation Method for Potential Hazard Degree of Representative Water Erosion Regions in China

REN Hong-yu

(Yangtze River Scientific Research Institute, Yangtze River Water Resources Commission, Wuhan, Hubei 430010, China)

Abstract: Based on an integrated scientific review of soil and water erosion and ecological security in China, the method for potential hazard degree evaluation of representative water erosion region in China based on GIS is proposed, and the whole technological process of potential hazard degree analysis and evaluation is summarized. Practice has proved that the evaluation result is reasonable, basically. The study can be used as a reference to the studies of potential hazard degree evaluation of soil erosion and the GIS development for soil and water conservation.

Key words: potential hazard degree; GIS; sampling

土壤侵蚀危险度是指生态系统失衡后出现的土壤侵蚀危险程度。它首先用于评估、预测在无明显侵蚀区引起侵蚀和现状危险区加剧侵蚀的可能性大小;其次,表示侵蚀区以当前侵蚀速率发展,该土壤层承受的侵蚀年限(抗蚀年限),以评估和预测侵蚀破坏土壤和土地资源的严重性^[1]。随着土壤侵蚀研究的深入和土壤侵蚀研究与农业生产等相关领域可持续发展的进一步联系,关于土壤侵蚀危险度的研究愈来愈显得重要而迫切。侵蚀危险度的研究对于保护土地资源及环境系统、土地经营、农业开发及经济建设都具有预防预警的重大意义。

本研究依托中国水土流失与生态安全综合科学考察项目,对全国主要水力侵蚀地区进行土壤侵蚀危险度评价,总结提出了基于 GIS 的中国水蚀区土壤侵蚀危险度评价方法。

本研究属于综合科考水土流失状况与基础数据集成专题研究组研究内容的一部分,是中国水土流失动态抽样调查工作的部分成果总结。

1 危险度定义

1.1 危险度计算方法

土壤侵蚀危险度的计算有两种方法:一种是根据受蚀土壤扣除临界土层的有效土层厚度与年平均侵蚀深度的比值;另一种以主要侵蚀因子权重评分法进行分级。前者比较简易、直观、可信;后者则比较复杂,可操作性较差,且主观任意性较大^[1]。土壤侵蚀危险应同时进行引发、加剧侵蚀的危险分级和侵蚀后果的危险分级,才能全面地做出评估与预测^[1]。因此,土壤侵蚀危险的研究通常包括潜在危险度和后果危险度 2 个方面。本研究主要针对水力侵蚀地区,采

收稿日期:2007-05-20

资助项目:水利部 中国科学院 中国工程院“中国水土流失与生态安全综合科学考察专题”(2005SDKK09)

作者简介:任洪玉(1977—),女(汉族),重庆市人,工程师,主要从事区域水土保持,地理信息系统在水土保持研究中的应用等方面的工作,电话(027)8296365, E-mail: hongyu ren@163.com。

用侵蚀后果的危险度分级。水蚀区侵蚀后果的危险度分级,主要是指有效土层厚度完全被侵蚀所需时间的危险程度分级,即以侵蚀地区有效土层厚度(mm)除以年侵蚀深度(mm/a),得出抗蚀年限,然后对临界土层的抗蚀年限进行分级,分析出水蚀危险度分级状况^[1]。

水蚀区危险度分级表见表 1。抗蚀年限计算公式如(1)所示:

$$Y = S / E \quad (1)$$

式中:Y——抗蚀年限(a);S——土层有效厚度(mm);E——侵蚀深度(mm/a)。

表 1 水蚀区危险度分级表

级 别	> 临界土层的抗蚀年限/a
无险型	> 1000
轻险型	100 ~ 1000
危险型	20 ~ 100
极险型	< 20
毁坏型	裸岩、明沙、土层不足 10 cm

注: 临界土层系指农、林、牧业种林、业、作物种植所需厚度的下限值,此处按种草所需最小土层厚度 10cm 为临界土层厚度; 抗蚀年限系指大于临界值的有效土层厚度与现状年均侵蚀深度的比值。

1.2 危险度定量分析必需因子

根据水蚀危险度分级表,决定危险度级别的是抗蚀年限。抗蚀年限是指大于临界值的有效土层厚度与现状年均侵蚀深度的比值。侵蚀深度是与侵蚀强度相似的概念,通常通过侵蚀模数与土壤容重换算得到。因此,水蚀后果危险度取决于有效土层厚度、侵蚀模数和土壤容重等 3 个影响因子。有效土层厚度和土壤容重通常都是通过实际测量直接得到的,而侵蚀模数的获取相对比较困难。在缺少实测及调查侵蚀模数资料的情况下,侵蚀模数的获取可根据侵蚀方式对侵蚀指标进行侵蚀强度分级,然后根据分级后的侵蚀强度和土壤水力侵蚀强度分级表获取各分级的侵蚀模数^[1]。

本研究主要针对侵蚀方式为面蚀的区域进行水蚀后果危险度分析,侵蚀模数由面蚀指标分级表(表 2)判断出的侵蚀强度而来。因此,本研究主要涉及到地面坡度、林草覆盖度、土地利用类型、土壤容重和有效土层厚度等因子。地面坡度、林草覆盖度和土地利用类型是判断土壤侵蚀强度必需的指标,而土壤容重和有效土层厚度则用于参与计算抗蚀年限。

表 2 面蚀分级指标

地面坡度		5°~8°	8°~15°	15°~25°	25°~35°	>35°
非耕地林草覆盖度	60%~75%	轻度			强度	极强度
	45%~60%					
	30%~45%	中度		强度	极强度	
	<30%	强度		极强度	剧烈	
坡耕地		轻度	强度		极强度	剧烈

注:当耕地坡度小于 5°,或非耕地林草覆盖度大于 75%时,水蚀强度均为微度。

2 研究方法

2.1 研究对象及抽样方法

作为中国水土流失和生态安全综合科学考察研究内容的一部分,为和其有关考察内容相对应,本研究利用抽样调查的方法结合 GIS 技术对全国 7 大侵蚀类型区的水蚀后果危险性进行分析评价。抽样调查以山丘区水土流失典型地区为重点,在“中国水土流失和生态安全综合考察”7 个片区内布设 30 个样区。样区分布如表 3 所示。

按照样区分布,在综合考察的基础上,选择能够反映研究对象所在区域的地质、地貌、土壤、植被、水土流失等基本特征,且没有开展重点治理的地段作为调查样区。样区大小为该地段一个 1:10 000 地形图的标准图幅所覆盖范围。野外抽样调查内容包括

土地利用、植被盖度、有效土层厚度、土壤容重等指标^[2-5]。

2.2 技术路线

研究采用野外抽样调查与室内 GIS 数据处理相结合。野外抽样调查根据有关规范进行,室内数据处理依托国产 GIS 软件 REGION MANAGER 完成。数据处理主要包括数字高程模型(DEM)的建立、侵蚀分析、有效土层厚度模拟和危险度评价等 4 个方面的工作。

在抽样调查的基础上,依据表 2,根据野外抽样调查完成的土地利用、植被盖度和地面坡度信息,利用 GIS 空间分析功能,对样区进行土壤侵蚀强度分

水利部水土保持监测中心,中国科学院水利部水土保持研究所. 中国水土流失动态抽样调查工作方案. 2005.

析评价,获得样区中不同植被盖度、土地利用类型和坡度状况下的土壤侵蚀强度。根据获取的土壤侵蚀强度信息和野外实测土壤容重,换算样区每个最小地块的年侵蚀深度。根据有效土层厚度和年侵蚀深度数据,计算各地块的抗蚀年限,然后根据水蚀区危险度分级表(见表 1),对样区每个地块的抗蚀年限进行分级,得到每个样区的水蚀危险度级别^[5](表 3)。

表 3 水土流失动态抽样调查样区布设

科学考察片区	调查样区分布	
1 东北黑土区	11 大兴安岭山前丘陵区	12 小兴安岭山前丘陵区
	13 长白山山前丘陵区	14 辽东丘陵区
2 北方土石山区	21 冀北山地	22 太行山区
	23 沂蒙山地丘陵区	24 豫西丘陵区
3 西北黄土区	31 片沙丘陵沟壑区	32 陕北黄土丘陵沟壑区
	33 陇中西部丘陵沟壑区	34 晋西黄土丘陵沟壑区
	35 高塬沟壑区	
4 长江上游及西南诸河流域区	41 陇南山地区	42 川中丘陵区
	43 川东谷岭区	44 金沙江干热河谷区
5 南方红壤区	51 湘西丘陵区	52 衡邵丘陵区
	53 赣中丘陵区	54 金衢盆地区
	55 粤桂低山丘陵区	
6 西南石漠区	61 黔北高原区	62 黔西南高原峡谷区
	63 桂西北峰丛山区	64 滇东黔西喀斯特高原区
7 西北风蚀水蚀交错区	71 浑善达克沙地	72 腾格沙漠边缘
	73 毛乌素沙地	74 河西走廊

2.3 因子采集方法

2.3.1 抽样调查因子采集 根据研究思路,有效土层厚度、土壤容重、地面坡度、土地利用类型、林草覆盖度是决定水土流失危险度的指标。这 5 个指标的获取是进行水土流失危险度分析的基础。在本研究中,除地面坡度外,其余 4 个指标采用野外抽样调查方法获取^[1]。土地利用类型按照全国土地利用分类系统,根据实际调查确定;对于利用类型为林草地的地块,需同时调查该地块的林草覆盖度。林草覆盖度

指在各土地利用类型中,每个林草地地块中,林、灌、草各层茎叶投影面积占地块面积的比例,实际调查时采用目估法,对每一个地块进行 3 次目估取其平均值;有效土层厚度由野外剖面量测确定,野外剖面点采用公里网规则采样和成层随机采样的方式确定;在量测有效土层厚度的剖面点上,用环刀法测定土壤容重,取其均值作为该样区的土壤容重值。

2.3.2 坡度数据的获取 坡度是影响土壤侵蚀的重要因素。坡度数据的获取,可以采用地形图人工判读的方法。但是由此方法获取坡度数据需要周期长,环节多,人为因素多,准确度不高,而利用地理信息系统的数字高程模型(DEM),可实现快速、准确地自动提取坡度数据。因此,本研究采用数字高程模型和 GIS 的空间分析功能实现坡度数据的自动提取。具体操作时首先根据精度要求数字化栅格底图,生成拓扑关系完整的矢量图,作为建立 DEM 的数据基础,然后在 GIS 软件平台支持下利用规则格网的方式插值生成 DEM。DEM 生成后即可利用一定的算法自动提取出地面坡度。在 Region Manager 软件中,根据其支持的窗口微分分析坡度提取办法,计算提取各调查样区的坡度值。

2.4 侵蚀强度评价方法

野外抽样调查完成后,即可根据野外抽样调查结果进行土壤侵蚀分析。土壤侵蚀分析是水蚀后果危险度分析的基础,是危险度分析的关键所在,其分析精度直接决定着水蚀后果危险度分析的准确性。

2.4.1 基本数据准备 野外调查获取的土地利用、林草覆盖度、有效土层厚度和土壤容重等数据,在做侵蚀分析前需要首先进行室内转绘。转绘时根据野外土地利用类型及林草覆盖度调查结果,采用专题系列制图法,依据有关技术规程和全国土地利用分类系统,以 1:10 000 地形图为基础底图,建立土地利用类型、林草覆盖度等专题信息图形数据库。有效土层厚度和土壤容重的处理主要是依据抽样调查完成的数据库文件中的地理位置信息,利用 GIS 软件生成含土层厚度信息和容重信息的土壤剖面位置(点)图,为有效土层厚度模拟分析提供原始数据。

2.4.2 数据集成 数据集成之前,首先根据表 2 对坡度数据进行分级,将整个区域的坡度数据分为 6 个等级(分别为 0°~5°,5°~8°,8°~15°,15°~25°,25°~35°,35°~90°),然后再将分级后的栅格坡度数据转化为矢量坡度数据。

分级后的栅格坡度数据转化为矢量数据后,即可与同为矢量数据的土地利用类型、林草覆盖度专题信

息数据库叠加。叠加完成后,参与叠加的坡度、土地利用类型、林草覆盖度等信息均链接到新生成的专题信息数据库中。叠加后生成的每个地块都具有相同的坡度、土地利用类型和林草覆盖度,是进行土壤侵蚀分析的最小单元。

2.4.3 侵蚀分析 地面坡度、土地利用类型和林草覆盖度等信息空间叠加完成后,即可根据表2判断叠加后图形中每个地块的侵蚀强度。本研究土壤侵蚀强度的判断可在Region Manager的侵蚀分析模块中完成。在Region Manager软件的侵蚀分析模块中进行土壤侵蚀分析主要包括以下2个过程。

(1) 知识规则建立。建立判断土壤侵蚀的知识规则是进行侵蚀分析的基础。建立知识规则前,首先设定进行规则判断的数据域和数据类型,并对由于条件判断的数据域的因果关系进行定义。根据表2,林草覆盖度、地面坡度和土地利用类型是侵蚀强度判断的条件,因此需要将此3类数据定义为条件数据域。侵蚀强度是该3类数据条件判断后的结果,则将其定义为结果域。条件域和结果域的数据类型需要根据实际情况调整。

根据定义的数据域和数据类型及数据的因果关系,利用Region Manager软件中的知识规则工具,依据表2和叠加后生成图形中的地面坡度、土地利用类型、林草覆盖度等3个字段的的数据类型及具体内容,建立判断土壤侵蚀的知识规则。

(2) 土壤侵蚀判断。运用上面定义和建立的知识规则,对空间叠加后的矢量数据进行侵蚀分析,即可得到叠加后图形中每个地块的土壤侵蚀强度。侵蚀分析完成后,还可利用软件中的数据分析工具对各侵蚀强度级别所占的面积和比例等进行数据统计。

通过建立的知识规则进行土壤侵蚀判断后所得到的结果即为土壤侵蚀强度。

2.5 危险度评价方法

根据样区内各剖面点的土层厚度信息,模拟出各样区的土层厚度,然后以土壤侵蚀强度图的最小地块为单元,对研究区域土层厚度进行基于DEM的空间分析,分析每个最小地块的平均有效土层厚度。根据地块侵蚀强度和平均有效土层厚度,计算抗蚀年限,参照水蚀区危险度分级表,对各地块抗蚀年限进行分级,得到样区水蚀危险度级别。

2.5.1 有效土层厚度模拟分析 由已知点的土层厚度来模拟分析整个研究区域的土层厚度状况需要用到地理信息空间插值。空间插值常用于将离散点的测量数据转换为连续的数据曲面,以便与其它空间现

象的分布模式进行比较。空间插值的理论假设是空间位置上越靠近的点,越可能具有相似的特征值;而距离越远的点,其特征值相似的可能性越小。

空间插值方法主要有样条函数插值、距离倒数插值、泰森多边形插值和克里金插值等。本研究采用克里金插值来实现土层厚度的模拟实现。利用土壤剖面位置点图的土层厚度字段,在Region Manager软件中,用克里金算法运算对离散的剖面点图插值生成土层厚度图。

2.5.2 地块有效土层厚度计算 地块有效土层厚度是指相对应土地利用类型、林草覆盖度和地面坡度的最小地块的平均有效土层厚度。其计算方法为在Region Manager软件平台上,以土壤侵蚀强度图作为处理对象,以侵蚀强度图中的最小地块为单元进行基于DEM的空间分析,依据由克里金插值得到的土层厚度模拟图,计算出土壤侵蚀强度图中每个最小地块的平均有效土层厚度。

2.5.3 抗蚀年限计算及危险度分级 根据每个地块土壤侵蚀强度对应的侵蚀模数与实测的土壤容重值,计算出每个地块的侵蚀深度。根据以上分析得到的每个地块的平均有效土层厚度值和对应的侵蚀深度,计算出每个最小地块的抗蚀年限。然后依据表1对样区水蚀后果危险度进行分级。

3 研究实例及其结果

根据前述研究方法及对应的技术流程,以7大片区中的北方土石山区、西北黄土区、长江上游及西南诸河流域区、南方红壤区和西南石漠化区为例,依托region manager软件,处理得到该5大片区的侵蚀强度和危险度级别结果如下(见表4—5)。

表4 各区土壤侵蚀强度分级比例 %

侵蚀强度等级	北方土石山区	西北黄土区	长江上游及西南诸河流域区	南方红壤区	西南石漠区
剧烈	0.09	5.12	0.26	1.21	14.82
极强度	1.17	8.97	1.56	3.71	9.70
强度	3.93	24.01	6.34	7.99	19.70
中度	19.28	30.21	27.96	27.88	25.08
轻度	26.09	11.53	26.77	18.23	9.60
微度	49.44	20.17	37.11	40.98	21.10
合计	100	100	100	100	100

表 5 各区危险度级别分级比例 %

危险度级别	北方土石山区	西北黄土区	长江上游及西南诸河流域区	南方红壤区	西南石漠区
毁坏型	3.45	0.00	1.44	0.50	10.53
极险型	3.40	0.00	0.05	0.00	1.89
危险型	19.25	0.00	9.23	13.14	40.60
轻险型	36.36	68.38	55.04	40.66	31.72
无险型	37.55	31.62	34.25	45.70	15.26
合计	100	100	100	100	100

分析数据表明,我国东部水力侵蚀区当前的侵蚀强度很大。西北黄土区仍然是侵蚀最为严重的地区,侵蚀面积占总面积的比例为 79.83%,其中强度以上侵蚀面积比例达到 38.1%;西南石漠化区,侵蚀面积占总面积 78.9%,而强度以上侵蚀面积比例甚至超过了西北黄土区,达到 44.22%,该区侵蚀强度已属强度等级,侵蚀现状严重;南方红壤区侵蚀面积比例接近 60%,侵蚀强度属中度侵蚀;长江上游及西南诸河流域区也已达到中度侵蚀强度;北方土石山区是 5 个区中侵蚀强度最轻的一个区,侵蚀面积较小,约占 50%,属轻—中度侵蚀。

除土壤侵蚀强度等级较高外,我国水土流失危险度形势也很严峻,在分析的 5 个区中除西北黄土区因为土层深厚,只有无险型和轻险型两种危险度级别外,其余 4 区都存在一定比例的危险型以上危险度级别,其中西南石漠化区和北方土石山区极险型以上面积比例更是达到了 12.42%和 6.85%。

4 结语

目前,我国已经出现了水土保持领域的专业地理信息系统软件,土壤侵蚀分析、流域规划设计、资源评价等方面都有了较为成熟的模块进行程序处理,极大

地提高了工作效率。虽然近年来土壤侵蚀危险度分级在方法上已由定性及简单定量发展到模式化过程,在技术上有地理信息系统和遥感等新技术的尝试,然而,经实践证明可行的危险度评价模型尚未出现,大范围的土壤侵蚀危险度分析评价仍缺少行之有效的快速处理方法。社会的发展对土壤侵蚀的研究提出了更高的要求,如何有机结合现代技术与水土保持专业知识,达到侵蚀危险度研究的集成化,对于今后的工作具有重要意义。

本研究在国产专业 GIS 软件支持下,对中国水蚀区土壤侵蚀后果危险度研究方法进行了初步探索,提出了国产水土保持 GIS 软件平台下的土壤侵蚀后果危险度评价分析操作流程,经实践证明依据该操作流程完成的我国典型水蚀地区土壤侵蚀后果危险度评价结果基本合理。由于本研究提出的操作流程完全依据有关技术标准,过程简单易行,容易被大多数水保技术人员掌握,因此在分析掌握本操作流程的基础上,经过进一步的研究与探索,可能开发建成基于 GIS 的土壤侵蚀危险度评价专业模块,为土壤侵蚀危险度评价的信息化服务。

[参 考 文 献]

- [1] 中华人民共和国水利部标准,土壤侵蚀分类分级标准(SL190—96)[S].北京:水利电力出版社,1997.
- [2] 傅伯杰,陈顶利.小流域土壤侵蚀危险评价研究[J].水土保持学报,1993,7(2):16—19.
- [3] 史志华,蔡崇法,蔡强国,等.GIS支持下土壤侵蚀潜在危险度的分级研究[J].长江流域资源与环境,2002,11(2):190—193.
- [4] 孙希华,闫福江.基于遥感与GIS的土壤侵蚀潜在危险度评价研究[J].土壤,2004,36(5):516—521.
- [5] 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].北京林业大学硕士论文,2006.