

基于 GIS 的区域水土流失评价研究*

胡良军 李 锐 杨勤科

(中国科学院、水利部水土保持研究所, 陕西杨凌 712100)

摘 要 以黄土高原为研究区, 对该区的水土流失进行系统、宏观、综合的分析, 确定了一套适于该区水土流失宏观定量评价的指标体系, 并运用 GIS 技术, 对该区影响水土流失的各个因素进行空间分析, 实现了多源数据的空间集成和专题信息的提取, 建立了适于该区水土流失评价的宏观定量数学模型, 并对研究区一定评价年限内的水土流失状况进行了应用评价。

关键词 GIS, 区域水土流失, 数学模型, 定量评价, 黄土高原

中图分类号 S159-3, N39

水土流失问题按研究尺度的不同可以归结为三个层次: 坡面、小流域和区域研究^[1]。由于水土流失的复杂性、学科发展水平以及研究手段的局限, 长期以来国内外关于水土流失的研究主要集中在坡面和小流域的尺度上^[1~4], 对区域水土流失的研究还很薄弱。在我国一般是通过宏观分区的方法来实现区域的整体评价^[5]; 国外(主要是美国)则通常是通过建立地面定位监测网络实现大比例尺评价并结合统计汇总(Aggregation)的方式定期得到全国土壤侵蚀状况的数据资料^[3, 4]; 关于全球变化的研究则力图在坡面研究的基础上, 通过比例尺转换(主要是 Upscaling)的方法获得区域以至于全球性的土壤侵蚀数据^[6, 7]。

区域水土流失的宏观综合与定量研究对于区域综合治理的合理决策、灾情快速调查以及水土流失定期公告制的实现具有十分重要的意义。现有的区域研究从不同的角度出发, 在不同程度上均取得了一定的成果, 但也存在着一些问题, 突出表现在^[1, 8]: 区域宏观综合与定量的程度不够; 对区域水土流失的过程机理缺乏足够的认识; 评价指标有待规范, 通用性与实用性欠佳; “3S”等现代地学研究手段应用不够。

水土流失的评价是一个多因素、多层次、多尺度的地学问题。对区域的水土流失进行定量评价, 目前还未见到用纯物理的手段进行研究的报道, 一般是运用统计学的方法^[9, 10], 建立水土流失的相关回归方程, 作为在一定时期内对区域水土流失进行宏观定量评价的依据。本研究正是致力于对区域问题的探索, 利用 GIS (ARC/INFO) 技术, 建立区域水土流失的宏观定量评价模型。故本研究的基本思路为: 基本评价单元的划分; 评价指标的采集; 评价模型的建立; 模型的应用。

* 中国科学院重点项目(批准号KZ952-S1-234)和水利部科技基金项目“水土流失遥感清查技术研究”

收稿日期: 1999-10-01; 收到修改稿日期: 2000-02-14

1 研究区概况

黄土高原地区,东起太行山,西止日月山,北邻阴山山脉,南接秦岭山地,总面积约 62.37 万平方公里。目前全区水土流失面积约 50 万平方公里,是世界上水土流失最严重的地区之一。考虑到本研究仅针对水蚀的特点和现有数据资料的完整性,选取本区 $103^{\circ}30'E$ 以东、 $40^{\circ}N$ 以南面积约 40 万平方公里的区域作为本研究的工作区域(见图 1)。

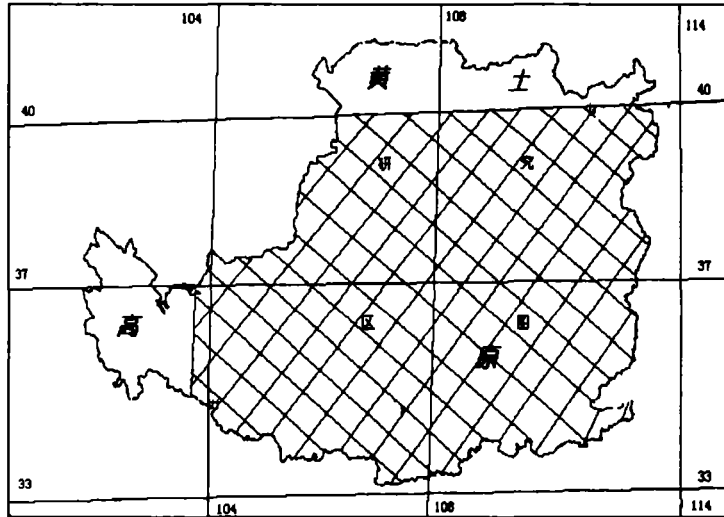


图1 研究区在黄土高原的位置示意图

Fig.1 Location of the study area

该区大部分地区岩性很弱,易遭侵蚀。第四纪黄土是本地区最主要的侵蚀地层,分布广泛,且山盆高差大,次生黄土地貌广泛发育,地形破碎,沟壑纵横。大陆性气候特征明显,降雨稀少,区域差异大,且季节变化明显。降雨集中在夏季,且多为高强度暴雨。植被稀少,绝大部分地区为农田或撂荒地。土壤多为黄土母质,土层深厚,土质疏松,富于垂直节理,含有多种易溶成分,具有显著的湿陷性和沉陷性,极易遭受侵蚀。人口居住集中,人地矛盾比较突出,土地利用方式极不合理。另外,本区地域广大,侵蚀类型多样,且侵蚀产沙强度具有明显的地域分异规律^[11]。

2 区域水土流失定量评价指标

区域水土流失定量评价指标的确定,应遵循以下原则^[9]: (1)全面性。即影响水土流失的各个因素均应有所反映,各指标构成一个完整的水土流失影响因子集。(2)系统性。由各指标构成的体系是一个相互联系的有机整体。(3)科学性。各指标能客观地揭示水土流失发生的规律性,与侵蚀量密切相关。(4)与数据管理手段的一致性,并反映研究手段的特色。

水土流失的影响因素可归结为五个方面^[4,12]:降雨、地质地貌、土壤与母质、植被和人为影响。区域水土流失研究的是大面积水土流失的宏观规律,故区域水土流失过程主要取决于区域的水土流失因子特征,即区域地形特征、区域土壤分布、区域气候特征、区域植被覆盖以及区域土地利用状况等。

利用数学模型定量地评价一个区域的水土流失状况,要求所选取的评价指标还应具备以下特点:宏观性;可定量性;易于获取;适于GIS处理。按照对区域水土流失评价指标的要求,同时参考前人关于水土流失因子的研究结果,经过反复的比较和筛选,最后确定适于黄土高原区域水土流失评价的各指标为:气候—汛期降雨量,本文中特指黄土高原6、7、8、9四个月的降雨总量;土壤—大于0.25 mm风干土水稳性团粒含量;地形—沟壑密度;植被—植被盖度;人为影响—坡耕地面积比^[9]。(详见表1)

表1 建模参数一览表

Table 1 Parameters for water erosion modeling

内 容	侵蚀产沙强度	沟壑密度	汛期降雨量	土壤团粒含量	植被盖度	坡地面积比
Contents	Erosion intensity	Gully density	Rainfall during flooding season	Soil aggregate content	Ratio of coverage	Ratio of slopland area
反映因子	土壤流失	地形	气候	土壤	植被	土地利用
量纲	($t km^{-2} \cdot a$)	($km km^{-2}$)	(mm)	($g kg^{-1}$)	(%)	(%)

3 区域水土流失评价模型

3.1 基于GIS的区域水土流失定量评价方法

区域水土流失的定量评价,一般是通过建立区域宏观统计模型来实现,即模型评价。首先将区域划分为若干个基本评价单元(或网格化),并确定适于区域水土流失评价的各个指标(模型参数),然后利用多种来源、多种比例尺和多种类型的资源环境数据资料,建立空间数据库,并运用GIS等现代地理分析工具,将建模所需的各项参数数据集成到各评价单元内,使每一评价单元对应着一条包含各建模参数数据的记录。将全部评价单元作为统计回归分析建模的样本,分析侵蚀量与各侵蚀因子的关系,建立起土壤流失量与各评价指标之间的统计回归模型。根据评价的需要更新各因子数据库,应用该模型即可实现对区域土壤流失状况的快速、定量评价^[5,13]。

3.2 基本评价单元的划分¹⁾

基本评价单元的划分遵循了以下原则:(1)侵蚀因子相似性原则。水土流失的发生发展与气候、下垫面等因子特征有着严格的一致性,故据侵蚀因子的异同划分的评价单元基本可以反映区域水土流失的空间差异性^[11,12]。(2)与研究尺度相匹配的原则。由于是区域尺度的研究,故划分的评价单元不能太小(坡面),又不能太大,而应与本研究的尺度相适应。(3)简洁明了、科学实用。根据上述原则,将黄土高原划分为3380个适于区域水土流

1) 胡良军. 中国科学院水利部水土保持研究所硕士论文:基于GIS的区域水土流失评价研究. 1999

失评价的基本评价单元(也就是说,参与回归分析建模的样本总数为 3380),各单元的面积大致为 80~150 km²。

3.3 评价数据库的建立

本研究中的数据,表现为三个层次:原始数据层—规范数据层—建模与应用数据层。这三个层次的数据,分别对应着数据处理的三个不同阶段:数据收集与预处理、数据规范化和数据分析及应用;且各自构成一个相对独立的子数据库。在概念设计上,各数据库主要涉及以下三个方面的内容^[14]:(1)专题层。区域水土流失评价中所需的各专题数据,均是以矢量多边形(Polygon)为基础的,主要有:土壤专题层;降水专题层;沟壑专题层;土地利用专题层;泥沙专题层;基本评价单元层;研究区边界层。(2)信息元。GIS 中的信息元,即 GIS 管理的地理空间数据中携带特定专题信息的基本地理数据管理单元。在空间上,它通常表现为一个点、一条线或一个多边形。在 GIS 中,一个信息元对应着一到多个专题的信息,这取决于信息元的产生过程。一幅单一的专题图,其信息元只携带一种专题信息,可称之为单纯信息元;而一幅由几种不同的专题图叠合生成的图件,每一个信息元则携带着包括几种不同专题在内的多项专题信息,谓之复合信息元。本研究中的信息元主要有:单纯信息元—土壤团粒分布、汛期降水分布、土地利用、沟壑密度分布、产沙强度分布和评价单元;复合信息元—土壤分布+评价单元、汛期降水+评价单元、土地利用(包括坡地与植被)+评价单元、沟壑密度+评价单元、产沙强度+评价单元。(3)数据项。数据项是针对属性数据而言的。本研究中的数据项有:多边形面积、多边形周长、多边形用户标志码、多边形内部标志码以及用户追加的一些专题信息字段等。

本研究涉及的多源数据有两类:(1)面状数据。包括 ARC/INFO 数据产品(基本评价单元图和土地利用图)和直接数字化的数据(土壤图和研究区边界图);(2)点状数据。是靠传统方式采集汇总的非图形数据,包括汛期降雨量、沟壑密度和泥沙数据。按照 GIS 的数据管理要求,必须将上述两类数据处理为规范的 ARC/INFO 格式数据。

3.3.1 面状数据的处理 基本评价单元图和土地利用图(包含植被和坡耕地信息)的处理工作主要有图面控制点的精校正和投影变换;土壤图的处理是先数字化 1:400 万的《中国土壤分布图》(地图出版社,1982),然后给各土壤类型分别赋予一个大于 0.25 mm 风干土水稳性土壤团粒含量值(从《中国土壤》、《陕西土种志》等中查得),再经投影变换完成;研究区边界图则是经数字化 1:50 万《黄土高原及其比邻地区图》(地图出版社,1988)再进行投影变换而成。

3.3.2 点状数据的处理 汛期降雨数据来源于遍布黄土高原 178 个雨量站 1956~1988 年间的记录资料;泥沙和沟壑密度数据则采自 1:50 万《黄土高原土壤侵蚀强度分布图》(中科院综考会,1992)。这三种数据的处理过程基本一致,主要包括:(1)预处理。主要是按照图形分析软件 Surfer 的要求将这三种数据整理为一对地理坐标对应一个专题信息值、形如(x, y, z)的数据集;(2)面状信息的生成。在 Surfer 中,将经过预处理的点状数据处理为空间图形数据(Surfer 格式);(3)Surfer 格式的图文数据向 ARC/INFO 格式的转换;(4)后处理。包括拓扑重建、空间编辑、属性添加以及投影变换等。这些工作都是用 FOX 和 ARC/INFO 的 SML 语言联合编程实现的。最后完成的沟壑密度和汛期降雨图分别如图 2、图 3 所示。

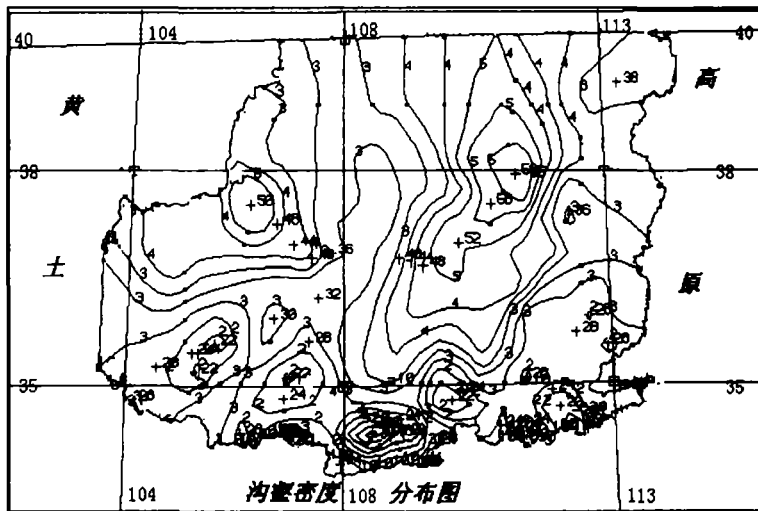


图2 沟壑密度空间分布图

Fig.2 Distribution of the gully density

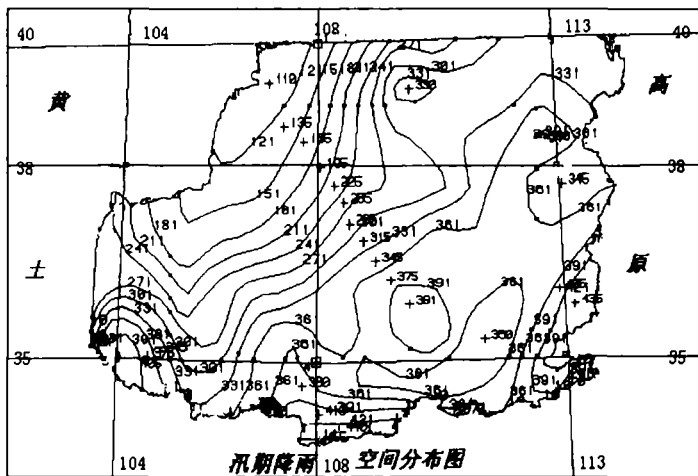


图3 汛期降雨分布图

Fig.3 Distribution of the rainfall during the flooding season

3.4 评价模型的建立

现有研究表明,土壤流失量与汛期降雨量、沟壑密度、坡耕地面积比以及土壤团粒含量之间均呈幂函数相关^[15,16],与植被盖度呈指数相关^[17]。故本模型的数学表达形式为:

$$L = a \cdot P^p \cdot S^s \cdot G^g \cdot e^{-c} \cdot M^m \tag{1}$$

式中: L ——侵蚀模数 ($t \text{ km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$); P ——汛期降雨量 (mm); S ——大于 0.25 mm 风干土水稳性团粒含量 (g kg^{-1}); C ——植被盖度 (%); G ——沟壑密度 (km km^{-2}); M ——坡耕地面积比 (%); 其余小写字母均为待定系数。

通过 GIS 的空间叠加/属性提取分析,将基本评价单元图依次与各专题图进行叠加,

使符合模型建立要求的各水土流失影响参数的专题信息,集成到各个基本评价单元的属性库中,使各评价单元具有独立、全面的水土流失因子的定量信息。我们用 FOX 和 SML 语言编制了一个数据集成程序,实现了多源数据的空间叠加和模型参数数据的提取。在 EXCEL 中对集成结果数据进行回归分析,最后得:

$$L = 3.5210P^{0.7887}S^{-0.09616}G^{1.9945}M^{0.01898}e^{-0.00144C} \quad (2)$$

复相关系数 $R = 0.8968$, $F = 1708 \gg F_{0.01} = 2.21$,相关性非常显著。式中参数意义同式(1)。

从模型可以看出,侵蚀产沙强度与汛期降水量、沟壑密度、坡地面积比呈正相关,而与土壤团粒含量、植被盖度呈负相关。这是完全符合土壤侵蚀的客观事实规律的。

4 区域水土流失的应用评价

这里对黄土高原部分地区 1981~1985 年五年内的水土流失状况进行评价。区域水土流失的应用评价,必须首先根据特定评价年限的要求,处理用于应用评价的各项参数数据(其处理要求和具体过程同建模数据的处理,图 4 即为处理完成的评价期内的年均汛期降雨分布图),然后用评价模型对各参数数据分别进行运算,求出每一评价单元所对应的侵蚀强度,并按照黄土高原地区的侵蚀强度分级标准将其归入某一强度级。其评价流程图如图 5。例如 J4915 号图地区的部分评价结果如表 2 所示。

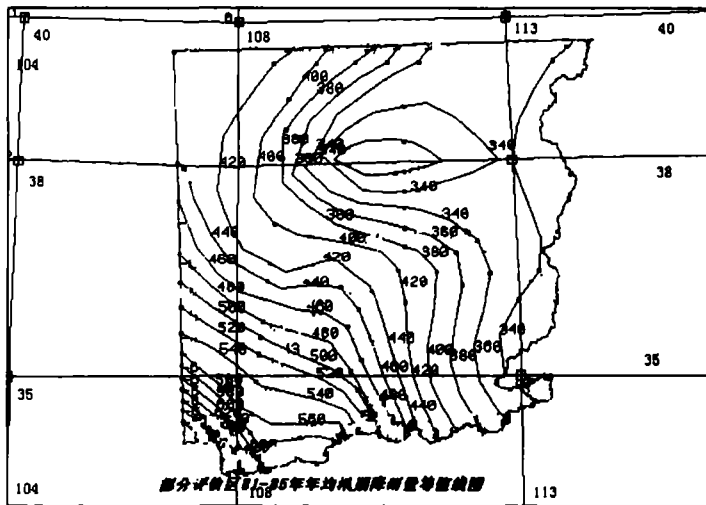


图4 黄土高原1981~1985年年均汛期降雨图(部分地区)

Fig.4 Average rainfall distribution during 1981~1985

经过数据的空间叠加、专题提取以及模型运算等处理后,各评价单元图的属性库中便包含了以评价单元为基础的各水土流失因子和流失量的详细数量信息。在 ARC/INFO 的制图模块 ARC PLOT 中,根据空间图及其属性库可以很方便地实现水土流失因子及流失强度制图。

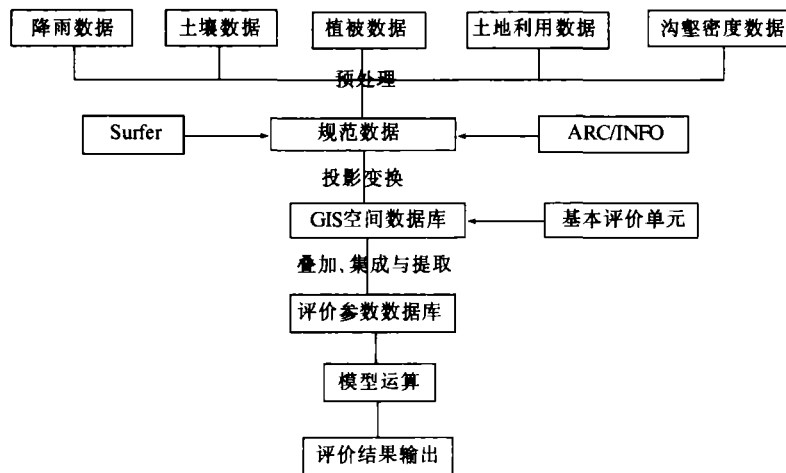


图5 评价流程图

Fig.5 Assessing procedure

表2 J4915号图地区模型评价结果表(1981~1985年)

Table 2 Calculation of soil loss using the model during 1981~1985

评价单元 Assessing unit	植被盖度 Ratio of coverage (%)	土壤团粒 Soil aggregate content (g kg^{-1})	汛期降雨 Rainfall during flooding season (mm)	坡地比 Ratio of slopeland area (%)	沟壑密度 Gully density (km km^{-2})	侵蚀模数 Erosion modulus ($\text{t km}^{-2} \text{a}^{-1}$)	侵蚀强度级 Class group of erosion intensity
1	27.34	165.8	407.9	18.37	5.32	7029.12	强烈
2	7.72	147.3	369.2	4.21	1.13	299.13	微度
3	77.58	186.7	390	0.8	4.74	4670.13	中度
4	28.45	147.3	370	3.58	1.2	326.86	微度
5	17.71	147.9	370	3.06	4.01	3669.93	中度
6	36.88	165.4	390.3	8.52	4.8	5376.5	强烈
7	0	186.7	390	4.6	1.32	421.61	微度
8	98.35	186.7	355.1	1.65	3.6	2465.48	中度
9	23.92	151.8	389.6	3.8	1.25	371.08	微度
10	75.05	156.7	390	18.45	4	3606.32	中度

5 结 语

运用 GIS 等先进的地理分析技术,对区域的水土流失进行宏观、定量的分析、建模和快速评价,无论从理论研究还是生产应用上均具有十分重要的意义。从本研究的实践来看,结果是比较令人满意的。但要把该方法推广到更广大的区域,还有一些问题有待于进一步的探索:(1)受研究客观条件的限制,建模所应用的数据在全面性和可信度上均不能令研究者十分满意,这一问题的完满解决有赖于与模型参数有关的各基础研究的积累。(2)本研究以黄土高原作为研究的样区,其建模参数的选择主要考虑了本区的具体特点。

当研究的区域不同时,应具体问题具体分析,选择适合该区的评价指标。(3)按照快速评价的思想,本研究的应用规程最好表现为应用软件的形式。由于时间的限制,本研究在这方面的考虑不多。(4)由于水土流失定量研究水平的现状,本研究仅针对水力侵蚀。当需要为决策提供全面的水土流失信息时,还需考虑风蚀以及冻融侵蚀等侵蚀类型。

参 考 文 献

1. 杨勤科,李锐. 中国水土流失和水土保持定量评价研究进展. 水土保持通报,1998,18(5):13~18
2. De Roo A P J, Wesseling C G, Ritsema C J. LISEM: A single-event physically based hydrological and soil erosion model for drainage basins. I: theory, input and output. Hydrological Processes, 1993, (10):1107~1118
3. Renard K G, Foster G R, Weesies G A, McCool D K, Yoder D C. Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). USDA Agriculture Handbook, No.703, 1997
4. Laflen J M, Lane L J, Foster G R. WEPP: A new generation of erosion prediction technology. J Soil and Water Cons., 1991, 46(1):34~38
5. 周佩华. 2000年中国水土流失趋势预测与防治对策. 中国科学院水利部水土保持研究所集刊,1988,(7):57~71
6. Kirkby M J, Imeson A G, Bergkamp G, Cammeraat L H. Scaling up processes and models from the field plot to the watershed and regional areas. J. Soil Water Cons., 1996, 51(3):391~396
7. Bloschl G, Sivapalan M. Scale issues in hydrological modeling: a review. Kalma J D, Sivapalan M etc. Scale Issues in Hydrological Modeling. New York: John Wiley & Sons, Chichester, 1995. 9~48
8. 唐克丽,蒋定生等. 土壤侵蚀的研究及其展望. 水土保持通报,1990,10(3):1~5
9. 胡良军. 基于 GIS 的区域水土流失定量评价指标研究. 水土保持通报,1998,18(5):24~27
10. 卜兆宏,孙金庄,周伏建. 水土流失定量遥感方法及其应用的研究. 土壤学报,1997,34(3):235~245
11. 1:50万黄土高原地区资源与环境遥感系列图编委会主编. 黄土高原地区资源与环境遥感调查和系列制图研究. 北京:地震出版社,1992
12. 辛树帜,蒋德麒. 中国水土保持概论. 北京:农业出版社,1982. 115~140
13. Burrough P A. Dynamic modeling and geo-computation in environmental modeling, In: GIS Reader Karssenber D & Burrough P A eds. Faculty of Geographical Sciences, Utrecht University, The Netherlands, 1998
14. ESRI. Understanding GIS. Redland, New York, U.S.A, 1983
15. 马俊杰. 陕西中部黄土山、梁和塬地的土壤侵蚀回归分析. 水土保持学报,1990,4(4):21~28
16. 梁季阳. 黄土高原暴雨径流及产沙的分析与模拟. 水土保持学报,1992,6(2):12~16
17. 王秋生. 植被控制土壤侵蚀的数学模型及其应用. 水土保持学报,1991,5(4):68~72

REGION-SCALED WATER EROSION ASSESSMENT BASED ON GIS

Hu Liang-jun Li Rui Yang Qin-ke

*(The Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences &
Ministry of Water Resources, P.R.C. Yangling Shaanxi 712100)*

Summary

In this project, the soil and water loss of the sample region, the Loess Plateau of China, has been studied systematically, synthetically and macroscopically; series of quantitative indices have been set up to assess the soil and water loss of this region; GIS is used to analyze the factors of soil and water loss spatially, to aggregate the data with different origins and to extract the thematic information; the mathematical model is set up to assess the regional soil loss and finally some application results have been got.

Key words GIS, Regional soil and water loss, Mathematical model, Quantitative assessment, the Loess Plateau in China