

贵州省喀斯特山区水土流失遥感信息模型的建立

张宏群, 安裕伦

(贵州师范大学 资源与环境科学系, 贵州 贵阳 550001)

摘 要: 选择贵州省喀斯特山区 17 个闭合流域的降水强度和径流强度、土壤颗粒粒径与土层厚度、坡面坡度、地面植被的覆盖度等自然因素作为参数, 借助于 SPSS 软件, 运用多元统计学的方法, 建立了水土流失的动力遥感信息模型, 对贵州省喀斯特山区水土流失进行了预测。

关键词: 喀斯特山区; 水土流失; 遥感信息模型; 回归分析; SPSS 软件

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2003)05-0039-04

中图分类号: S157, TP79

A Design of Remote Sensing Information Model of Soil and Water Loss in Karst Mountain Region of Guizhou Province

ZHANG Hong-qun, AN Yu-lun

(Department of Resources and Environment, Guizhou Normal University, Guiyang 550001, Guizhou Province, China)

Abstract: By choosing precipitation intensity, runoff intensity, soil particle diameter, thickness of soil layer, slope gradient, surface vegetation of 17 closed basins in a karst mountain region of Guizhou province as parameters, SPSS software and Multivariate Statistical Analysis are employed to build the dynamic remote sensing information model of soil and water loss to give a predication of the soil and water loss of Guizhou province.

Keywords: karst mountain region; soil and water loss; remote sensing information model; regression analysis; SPSS software

水土流失是区域生态环境退化的重要表现形式之一^[1]。长期以来,不少地学工作者对其进行了大量研究,贵州喀斯特山区水土流失近年来也有所研究。朱安国研究分析了贵州省水土流失规律与影响因素及其综合评价^[2],安裕伦等在利用遥感技术编制贵州省土壤侵蚀图的基础上,阐述了贵州省不同级别水土流失强度分布状况、水土流失潜在危险程度及水土流失强度分区;分析了贵州高原水土流失产生的自然背景与影响因素;并根据贵州高原的特点提出了治理保护的策略措施^[3],彭建等选取能较好反映喀斯特峡谷特征的花江峡谷作为研究对象,采用埋桩、修建沉沙池及充分利用当地沟谷谷坊等手段相结合的方法,集中讨论了花江喀斯特峡谷水土流失的现状和特点,认为:研究区的土壤侵蚀量远小于大多数非喀斯特地区正是水土流失发展到极其严重地步的必然现象;流域的土壤侵蚀强度还受其内部岩性结构的影响碎屑岩的比重越大,土壤侵蚀模数也越大;通过对不同天然植被条件下的土壤侵蚀监测发现种草是减轻峡谷地

区的土壤侵蚀的一条十分有效的途径^[4],等等所有这些研究成果为贵州的水土保持工作提供了科学依据,但目前贵州省通用的计算水土流失的土壤侵蚀强度的遥感信息模型尚未建立,对水土流失的预测与推算倍显困难,本文基于 GIS,RS 技术^[5-6],利用 SPSS 软件对贵州多年的降水强度和径流强度、土壤颗粒粒径与土层厚度、坡面坡度、地面植被的覆盖度诸多变量进行多元回归分析,得出贵州喀斯特山区水土流失的动力遥感信息模型,为贵州喀斯特山区以行政区划为单位进行水土流失的预测与推算提供了新的途径与方法,在满足模型有关的基础资料的基础上,计算各地区的水土流失问题。

1 贵州省水土流失现状

贵州省位于我国西南部,东经 103°31'—109°30',北纬 24°30'—29°13'之间,总面积 176 128 km²。贵州全省称为贵州高原,贵州高原是一个以山地为主,丘陵、盆地(包括河谷平地和岩溶洼地)、峡谷交错分布

收稿日期:2003-04-04

修回日期:2003-07-20

资助项目:贵州省基金项目“贵州岩溶山区土地利用/土地覆盖动态监测系统研究”,黔基合计字(20023069 号)

作者简介:张宏群(1972-),男(汉族),安徽青阳人,在读硕士,研究方向为环境遥感与地理信息系统。电话:(0851)6750047, E-mail: zhangyueyue@163.com。

的山区,沟谷切割密度和切割深度较大,大部分地区陡坡水急、土层薄,加之人口增长过快,毁林毁草开荒严重,全省除黔东南州及其它一些局部地区外,水土流失强度和水土流失潜在危险程度均较大。按照水电部划分土壤侵蚀强度和水土流失潜在危险程度的统一标准,根据贵州省实际情况,利用卫星影像结合其它资料对贵州省水土流失状况进行了解译,结果显示在 6 个侵蚀强度级别中,除剧烈级没有以外,微度、轻度、中度、强度和极强度均有不同程度的表现,在 5 个潜在危险程度级别中,无险型、较险型、危险型、极险型和毁坏型都有分布,而且微度侵蚀(无明显侵蚀)的面积和无险型的面积都偏小,而轻度以上的侵蚀强度面积和较险型以上的潜在危险程度面积却相当大,这说明贵州高原的水土流失是一个亟需解决的问题^[1]。

1.1 水土流失强度

根据 1996 年卫星影像解译,贵州全省无明显侵蚀(微度侵蚀)的面积为 102 987.59 km²,仅占全省土地总面积的 58.46%,而明显侵蚀的面积 73 180.01 km²,占全省土地总面积的 41.54%。

(1) 轻度侵蚀:侵蚀模数为 500~2 500 t/(km²·a),面积 37 917.1 km²,占全省总面积 21.53%。侵蚀形式以面蚀为主,有少部分沟蚀。分布较普遍,但以碳酸质岩丘陵区 and 轻变质岩低山丘陵区为多。

(2) 中度侵蚀:侵蚀模数为 2 500~5 000 t/(km²·a),面积 20 681.1 km²,占全省土地总面积的 11.7%。侵蚀类型主要是面蚀,有少量沟蚀,各地均有分布,但以土石质山地和丘陵地为多。

(3) 强度侵蚀:侵蚀模数为 5 000~8 000 t/(km²·a),面积 14 962.6 km²,约占全省土地总面积的 8.5%。以面蚀和沟蚀为主,局部有重力侵蚀。主要在页岩、砂页岩区分布较广、坡度较大、开垦较多的山地和丘陵地区,即乌江流域上游和下游、赤水河流域和锦江流域。

(4) 极强度侵蚀:侵蚀模数为 8 000~15 000 t/(km²·a),面积 3 122.9 km²,占全省土地总面积的 1.77%,以沟蚀和崩塌侵蚀为主。主要分布在页岩所形成的山地地区,即乌江上游和下游的山地地区。

1.2 水土流失潜在危险程度

由于贵州省水土流失强度大、土层薄,水土流失的潜在危险程度也比较高。全省属无险型面积约 54 215.7 km²,仅占土地总面积的 30.8%,而较险型以上的面积达 121 882.3 km²,占土地总面积 69.2%。

(1) 较险型。面积 35 754.4 km²,占土地总面积的 20.3%,主要分布在碳酸质岩及其与碎屑岩的互层岩和植物覆盖度较低的丘陵地区。在各地州市中,以贵

阳市的比例最大,占土地总面积的 34.5%,其次是黔东南州和毕节、铜仁、安顺 3 地区,分别占土地总面积的 29.5%,28.1%,23.0%,22.3%。

(2) 危险型。面积 79 800.3 km²,占土地总面积的 15.3%,主要分布在石质山地中,在植被覆盖度低的土质山地中也有较大面积分布。在行政区中,面积最大的是毕节地区,占土地总面积的 73.8%,其次是遵义和铜仁地区,分别占土地总面积的 66.8%和 59.5%,再次是六盘水市和安顺地区,分别占 49.1%和 45.8%,面积最小的是黔东南州和黔西南州,分别占 22.1%和 17.5%。

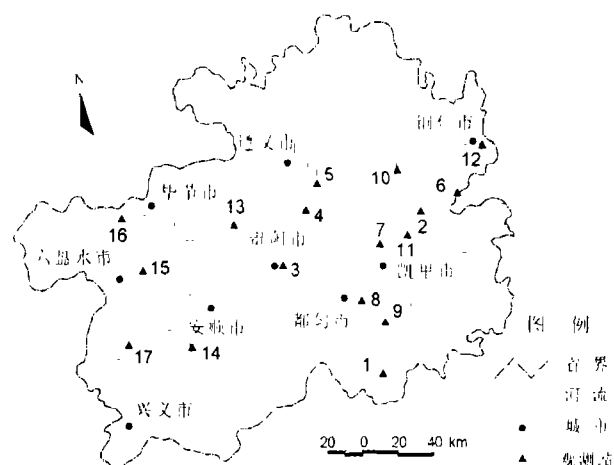
(3) 极险型。面积 2 804.9 km²,占土地总面积的 1.6%,主要分布在土质山地中坡耕地多和植被覆盖度很低的地区。在各地州市中,毕节地区和六盘水市的百分比最大,分别占土地总面积的 7.30%和 2.40%,其次是遵义地区和黔西南州,分别占 1.80%和 0.30%,其它地州市分布甚少或无分布。

(4) 毁坏型。面积 3 456.9 km²,占全省土地总面积的 2.0%。分布零星,一般分布在耕垦过度的土质和石质山地的局部地段。

2 研究方法和资料来源

2.1 研究方法

选择贵州省喀斯特山区有代表性的闭合流域站点 17 个,分布状况详见图 1。



- | | | |
|-----------|------------|------------|
| 1 樟江荔波 | 2 舞阳河大寨园 | 3 南明河贵阳(2) |
| 4 洛旺河洞头 | 5 湄江鲤鱼塘 | 6 舞阳河玉屏(2) |
| 7 重安江湾水 | 8 马尾河下司(2) | 9 都柳江把本(2) |
| 10 石阡河石阡 | 11 清水江施洞 | 12 锦江铜仁 |
| 13 耳海河火石坝 | 14 打帮河高车 | 15 三岔河牛吃水 |
| 16 六冲河七星关 | 17 乌都河草坪头 | |

图 1 研究流域站点在全省的分布状况

17 个流域站点分别是：樟江流域荔波站、舞阳河流域大菜园站、南明河流域贵阳（二）站、洛旺河流域洞头站、湄江流域鲤鱼塘站、舞阳河流域玉屏（二）站、重安江流域石阡站、清水江流域施洞站、锦江流域铜仁站、耳海河流域火石坝站、打帮河流域高车站、三岔河流域牛吃水站、六冲河流域七星关站、乌都河流域草坪头站，这 17 个流域站点从布点上看代表了全省的主要几大河流水系，主要有乌江水系、红水河水系、清水江水系、沅江水系、都柳江水系。分布网点在全省也比较均衡，从高海拔到低海拔均有分布，上至海拔 2 900 m 下到 200 m，这些流域流经了全省几乎所有的地质岩组区、地貌型区、不同植被覆盖程度区，以及程度不同的农业垦殖区，具有极高的综合代表性。根据它们多年的水文资料计算出年均土壤侵蚀强度 E 、降水强度 I 、临界降水强度 I_0 （不产生土壤侵蚀的降水强度）、径流强度 h ，然后计算出 17 个流域的坡度均值 α （弧度）；根据坡度算出各流域土层的平均厚度 D ^[1]；由各流域的土壤类型及所占面积的百分比计算它们的土壤被侵蚀的颗粒粒径 d ；用 GIS 软件把 1994 年贵州省 TM 影像生成 N_{DVI} 图，并计算出各流域的 N_{DVI} 值的均值；最后利用 SPSS 软件反求出（2）式中的地理系数和地理指数。

2.2 资料来源

本文数据来自于《贵州省历年水文特征值统计资料》（贵州省水文总站），课题《贵州山区水土流失影响因素综合评价研究》（朱安国等，1993），1994 年贵州省 TM 影像（成像时间为 1994-10-27），图像解译和几何校正时所用地图资料为 1：50 000 地形图。

3 水土流失遥感信息模型的建立

3.1 建立信息模型的基础数据和理论基础

由上述方法计算出的各数据整理成表 1。

坡面的水土流失主要是在降雨之后，坡面径流汇流过程中产生的颗粒侵蚀。

美国的通用土壤流失方程为：

$$A = KRSLCP \tag{1}$$

式中： A ——侵蚀强度； k ——土壤因子； R ——降水因子； S ——坡度因子； L ——坡长因子； C ——作物耕作因子； P ——田间管理因子。由于诸因子在各地的差别很大，因此必须按照各地的实测数据去求出上述各因子的诺模图。近年来，美国认为上述通用方程不理想，又做了很多研究工作，应用计算机试图将 100 多个因子都输入进行计算，但是从形式逻辑的因果决定论出发，尚未得到满意的结果^[8]。

表 1 贵州省有代表性的 17 个闭合流域特征值统计表

观测站名	年均输沙模数	侵蚀强度 E ($\text{mm} \cdot \text{a}^{-1}$)	降水强度 I ($\text{mm} \cdot \text{a}^{-1}$)	临界降水强度 I_0 ($\text{mm} \cdot \text{a}^{-1}$)	坡度 α (弧度)	径流强度 h ($\text{mm} \cdot \text{a}^{-1}$)	土层厚度 D /mm	颗粒粒径 d /mm	植被指数 N_{DVI}
荔波	56.277 0	0.051 358	1 331.063	663.951 35	0.356 930	788.755	894.726	0.027 424 2	0.324 436
大菜园	73.289 0	0.066 884	1 033.041	434.965 14	0.422 848	547.558	855.02	0.027 451 8	0.289 098
贵阳（二）	92.230 0	0.084 169	1 120.800	1 010.562 8	0.197 163	466.290	1 167.155	0.027 371 0	0.205 917
洞头	99.775 0	0.091 055	1 029.667	614.182 45	0.298 483	561.068	973.327	0.027 115 2	0.240 556
鲤鱼塘	101.721	0.092 831	1 082.872	637.466 47	0.302 141	528.183	961.626	0.027 468 8	0.213 875
玉屏（二）	111.697	0.101 935	1 188.305	571.297 15	0.370 328	537.563	887.375	0.027 487 9	0.280 623
湾水	138.856	0.126 720	1 133.363	591.447 16	0.341 172	570.215	913.657	0.027 332 3	0.259 169
下司（二）	146.457	0.133 657	1 227.087	709.263 42	0.308 027	762.361	991.951	0.026 901 2	0.257 436
把本（二）	155.015	0.141 467	1 330.865	611.151 53	0.385 627	707.232	845.599	0.027 250 2	0.247 126
石阡	160.679	0.146 636	1 101.831	546.060 19	0.359 249	618.670	870.295	0.027 100 1	0.295 992
施洞	164.333	0.149 970	1 050.865	561.824 94	0.331 218	670.063	939.357	0.027 193 3	0.225 525
铜仁	192.408	0.175 592	1 254.481	542.256 77	0.411 889	839.607	828.743	0.027 550 7	0.261 008
火石坝	215.076	0.196 279	905.399 0	522.761 62	0.308 359	487.515	970.148	0.027 619 0	0.176 940
高车	262.145	0.239 231	1 248.148	705.617 48	0.314 919	655.223	949.139	0.027 324 3	0.150 840
牛吃水	691.708	0.633 991	1 221.396	651.101 56	0.333 832	529.530	914.454	0.026 614 2	0.141 563
七星关	811.528	0.710 601	915.360 0	459.339 19	0.354 796	406.578	891.369	0.026 993 5	0.134 934
草坪头	1 046.988	0.955 482	1 211.090	607.747 71	0.354 792	618.576	888.278	0.027 043 0	0.087 188

马蔼乃教授认为耕作因子与管理因子是人工干预,而人工干预是通过自然因子起作用的。例如:植树种草,就是改变植被覆盖度;做梯田,就是改变坡度;沟间打坝,就是提高局部侵蚀基准等等。对于水土流失的土壤侵蚀强度,在同样考虑降水强度、径流强度、土壤颗粒粒径与土层厚度、坡面坡度、地面植被的覆盖度的情况下,通过泥沙运动的有关方程,选出无量纲独立因子团,再用非线性多元回归方和求出地理参数的方法,建立我国的通用方程。该方程为:

$$E = a_0 \left(\frac{I - I_0}{I_0} \right)^{a_1} (\sin 2\alpha)^{a_2} h \cdot \left(\frac{D}{d} \right)^{a_3} \exp[a_4 N_{DVI}] \quad (2)$$

式中: E — 坡面土壤侵蚀强度 (mm/a); $I - I_0/I_0$ — 无量纲降水因子团,即降水强度减去不产生侵蚀的降水强度(临界降水强度); $\sin 2\alpha$ — 坡度无量纲因子团; h — 坡面径流强度 (mm/a); D/d — 土层厚度除以颗粒粒径的无量纲因子团; N_{DVI} — 遥感影像上的“绿度”,即归一化植被指数 N_{DVI} 计算式为:

$$N_{DVI} = \frac{N_{IR} - R_c}{N_{IR} + R_c}$$

式中: N_{IR} — 近红外波段; R_c — 红色波段; N_{DVI} 与地表植被覆盖率及生物量有密切关系。实测计算出上述无量纲因子团的物理量,就可以反求出地理系数与地理指数 a_0, a_1, a_2, a_3, a_4 。100 多个影响因子,这里只考虑了 9 个因子,尚未考虑到的都包括在 a_0 系数里了。比较公式(1)与(2)可以看出,(2)式考虑的因子与(1)式是类似的,所不同的是(1)式是线性方程,(2)式是非线性方程。(1)式考虑了大气圈、土圈、地形圈、人类圈的因子,(2)式考虑了大气圈、水圈、土圈、地形圈、生物圈的因子,人类圈的因子是通过土圈、地形圈、生物圈起作用的,(2)式比(1)式更加通用,理论上也比较完整。

3.2 遥感信息模型的建立^[9-10]

对方程(2)两边取自然对数,转化为多元线性回归方程:

$$\ln E = \ln a_0 + a_1 \ln \left(\frac{I - I_0}{I_0} \right) + a_2 \ln (\sin 2\alpha) + \ln h + a_3 \ln \left(\frac{D}{d} \right) + a_4 N_{DVI} \quad (3)$$

利用最小二乘法原理进行参数 $a_i (i = 0 \sim 4)$ 估计。把表 1 的数据按方程(3)进行转化,再利用 SPSS

软件进行多元统计,计算结果如下:

$$\begin{aligned} \ln E = & -22.408 - 0.613 \ln \left(\frac{I - I_0}{I_0} \right) + \\ & 4.950 \ln (\sin 2\alpha) + \ln h + \\ & 1.864 \ln \left(\frac{D}{d} \right) - 13.273 N_{DVI} \end{aligned}$$

$$E = 1.855 \times 10^{-10} \cdot \left(\frac{I - I_0}{I_0} \right)^{-0.613} (\sin 2\alpha)^{4.950} h \cdot \left(\frac{D}{d} \right)^{1.864} \exp[-13.273 N_{DVI}] \quad (4)$$

为了判定回归方程所有的自变量对因变量 E (坡面土壤侵蚀强度) 的影响的显著性,本文采用 F 检验,由 SPSS 计算的 F 值与对于给定置信度 $\alpha (\alpha = 0.05)$ 所查出的临界值进行比较:

$$F_{\text{水土流失}} = 17.401 > f(4, 12) = 3.26$$

由此可以看出,上述方程中各自变量对 E (坡面土壤侵蚀强度) 的影响是显著的,而且其多元相关系数 R^2 为 0.853,说明方程(4)具有一定的可靠性,可以作为贵州喀斯特山区水土流失遥感信息的通用模型,并用来估计或预测以不同行政区划为单位的水土流失的土壤侵蚀强度。

致谢:本文撰写期间得到了杨明德教授的悉心指导,在此深表敬意和谢意!

[参 考 文 献]

- [1] 杨明德. 论喀斯特环境的脆弱性[J]. 云南地理环境研究, 1990, 2(1): 21-29.
- [2] 朱安国. 水土流失与水土保持[M]. 贵阳: 贵州省人民出版社, 1985.
- [3] 安裕伦, 蔡广鹏, 熊书益. 贵州高原水土流失及其影响因素研究[J]. 水土保持通报, 1999, 19(3): 47-52.
- [4] 彭建, 杨明德. 贵州花江喀斯特峡谷水土流失状态分析[J]. 山地学报, 2001, 19(6): 511-515.
- [5] 邬伦等. 地理信息系统教程[M]. 北京: 北京大学出版社, 1994.
- [6] 王学军. 空间分析技术与地理信息系统的结合[J]. 地理研究, 1997(3): 70-73.
- [7] 贵州省农业厅, 中国科学院南京土壤研究所. 贵州土壤[M]. 贵阳: 贵州人民出版社, 1980.
- [8] 马蔼乃. 地理科学与地理信息科学论[M]. 武汉: 武汉出版社, 2000.
- [9] 王在高, 梁虹. 基于 GIS 分析喀斯特流域下垫面因素对枯季径流的影响[J]. 中国岩溶, 2002, 21(1): 55-60.
- [10] 卢纹岱, 朱一力, 沙捷, 朱红兵. SPSS for Windows 从入门到精通[M]. 北京: 电子工业出版社, 1997.