

对研制云南山地水土流失动态监测系统的初步尝试

周跃¹, 万晔², 汪竹青³, 杨永红³

(1. 昆明理工大学环境科学与工程学院, 云南 昆明 650093; 2. 云南省地理研究所, 云南 昆明 650223;

3. 云南师范大学, 云南昆明 650092)

摘 要: 采用基于 3S 技术的定量遥感方法, 对 1998 年和 1999 年金沙江一级支流龙川江上游小流域进行了水土流失动态监测和防治决策分析。结果表明, 1999 年为涝年, 侵蚀总量高达 869 008.97t, 强度及其以上侵蚀级别的侵蚀量占总量的 86.39%, 侵蚀模数平均为 7 703.87t/km²。1998 年为旱年, 流失情况较 1999 年的轻微。1999 年中度及其以上侵蚀级别的侵蚀面积占流失总面积的 32.41%, 而 1998 年只占 26.09%。1999 年需要治理和急需治理的面积占侵蚀总面积的 15.45% 和 0.82%, 而 1998 年的治理面积较低。本研究采用的技术在国内具有先进性和快速、准确、经济等优点, 在云南山地有广阔的运用推广前景。

关键词: 水土流失; 定量遥感技术; 动态监测; 防治决策分析

中图分类号: S157

文献标识码: A

云南山地环境脆弱, 水土流失严重, 水土保持工作是实施西部大开发战略中生态环境建设的艰巨任务。过去, 对于云南省水土流失的研究, 定量的和动态的工作不多, 在给定的时空范围内进行流失量监测和防治强度预报的工作更少。因此, 难于对水土流失做出准确的、及时的判断和评估, 很难科学地、客观地做出水土流失防治规划(包括时间、地点和预算等)和采取相应的治理措施。2000 年下半年, 我们与中国科学院南京土壤所合作, 以楚雄地区为例, 采用定量遥感技术在云南首次进行了水土流失动态监测系统的探索性研究, 并运用所建立的系统, 尝试了对 1998 年和 1999 年研究地区水土流失的动态监测和防治决策分析。目标是研制、开发和建立更准确、更快速、更先进、更实用的监测和预报技术系统, 包括若干数学模型、因子算式算法和图形软件, 为建立云南全省范围的水土流失监测网络提供更好的理论、文化和技术支撑。

1 研究方法

1.1 试验区选择

试验区选择在楚雄州的南华、姚安、楚雄、牟定、禄丰 5 个县, 面积大约 2 300km²。项目区位于金沙

江一级支流龙川江上游, 境内有大小河流 20 余条, 高程从 1 720m ~ 2 820m 之间。区内被红色地层所覆盖, 通过第三系以来的外力侵蚀形成和缓起伏的准平原和红色丘陵地形。这里的气候属亚热带季风气候类型, 具有季节变化不明显, 年温差小, 日温差大, 垂直变化明显, 干湿季节分明等特点。年均降雨量在 800 mm ~ 1 000 mm。本区具有以山地红壤和紫色土为主的土壤类型, 亚类和土属较多, 可蚀性强。自然植被属亚热带常绿阔叶林和云南松林, 原始森林受破坏严重, 1999 年植被覆盖率已接近 50%, 森林覆盖率 32% 以上。研究地区人类活动频繁, 工农业发展和城市化进程较快, 水土流失对区域生态环境和经济建设影响突出, 迫切要求水土保持的研究、规划和工程实施。

1.2 方法集成

本研究方法基于遥感理论的三条基本原理和四项土壤流失可遥感原理^{1,2}, 由土壤年流失量监测模型、防治强度预报模型及各侵蚀因子算式算法及其软件组成。其技术关键是获得由实测数据建立的监测模型及其各侵蚀因子的影响量值。利用现时性强的卫星遥感数据和地形、土壤、土地利用、给定时段的降雨资料等图文资料, 通过其软硬件系统作业, 实现对原始资料的数字化、栅格化并与 DEM 复合配准。在编制出各侵蚀

收稿日期: 2001-07-12; 改回日期: 2001-12-30.

基金项目: 云南省软科学项目(编号: 2000R19)和云南省中青年学术带头人后备人才培养基金项目支持。

作者简介: 周跃(1958-), 男, 现为昆明理工大学环境科学与工程学院研究员, 昆明理工大学环境工程研究所所长。1991~1997 年在英国赫尔大学留学和工作, 获地理学博士学位。研究方向为高原水土保持与生态工程。现已主持国家和省部级科研项目 16 项, 在国

内外发表学术论文 48 篇, 出版个人学术专著 2 部。© 2002 CNKI Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

因子像元图后, 先按其流失量监测模型运算出遥感像元作为基础的流失量图, 然后按国家部颁标准制作水土流失现状图。最后按其防治强度模型运算出防治强度预报图或流失治理规划图。

所采用的监测模型是土壤年流失量模型(式 1), 其形式与美国农业部颁发农业手册(NO. 537, 1978; NO. 703, 1996)中的通用土壤流失方程 USLE 和修订的通用土壤流失方程 RUSLE 相同^[3]

$$A=f\circ R\circ K\circ LS\circ CP$$

(1)

式中 A 为土壤年流失量, f 是使 A 代表我国单位量纲 $t/km^2\cdot a^{-1}$ 的综合转换常数($f=224.42$), R 为降雨侵蚀因子, 物理意义为降雨侵蚀力, K 为土壤可蚀性因子, 物理意义为土壤可蚀性, LS 是坡长因子 L 与坡度因子 S 的乘积, CP 为植被、作物覆盖因子 C 与保土因子 P 之乘积。这些因子都有各自的确定方法^[4], 它们算式的研制基于云南山地的自然特征。

水土流失防治强度模型为

$$Y=CP-C'P'$$

(2)

式中 $C'P'=A_t/(FRKSL)$, A_t 为土壤容许流失量, 在云南一般为 $500\ t/km^2\cdot a^{-1}$, Y 为在 A_t 时的防治强度差, $C'P'$ 为确保土壤年流失量 $\leq 500t/km^2\cdot a^{-1}$ 所要求的植被与作物保土因子之乘积, 依据流失量将 Y 划分为重点治理区、一般治理区、预防监督区和无需治理区。

1.3 基础资料

本研究的应用资料中, 遥感资料主要有项目区 1999—08 波段卫星数据, 包括 130—42(渡口幅)和 130—43(景东幅)两幅; 非遥感资料主要有: 1. 研究地区 1:10 万地形图, 用于建立数字高程模型并计算 SL 图; 2. 1:20 万的土地利用现状图, 用于计算 CP 值图; 3. 土壤类型图和土壤志, 用于计算土壤侵因子 K 值图; 4. 区域除雨及相关水文资料, 包括代表站的降雨自记值数据, 区内 1 个代表站(小河口站)和 9 个一般站 1999 年和 1998 年的汛期月总雨量值, 用于制作降雨侵蚀力 R 值图。

2 结果与分析

2.1 土壤可蚀性因子(K 值)

通过对研究地区 111 个土壤剖面的分析, 运用 K 值因子算式求得各土壤类型、亚类和土种的 K 值(表 1)。将不同剖面的 K 值输入 K 因子模型并运行转换软件可求得全区的 K 值图。结果表明, 研究地区 9 种土壤类型 40 个土壤亚类中, $K>0.3$ 的亚类

有: 湖冲洪积燥红土、黄紫泥土、暗紫泥土和紫砂泥田, 这些土壤人为扰动强烈, 土壤质地疏松、有机质含量少, 抗降雨侵蚀能力差, 属于强可蚀性土壤, 面积有 $13.33\ km^2$ 。 K 值在 $0.2\sim0.3$ 的亚类较多, 属于中等可蚀性土壤, 面积有 $500.58\ km^2$ 。 K 值在 $0.1\sim0.2$ 的亚类最多, 它们由于有机质丰富、团粒之间胶结较紧, 质地好, 属于弱可蚀性土壤, 面积有 $1\ 666.59km^2$ 。 $K<0.1$ 的土壤亚类有第三系红壤、棕紫泥、棕紫泥土, 土表植被覆盖好, 土壤中含有有机质丰富、土壤团粒结构紧密, 属于难侵蚀性土壤, 面积有 $113.29km^2$ 。若与中国东部地区比较, 太湖流域土壤 K 值普遍较大^[4,5], 有的高达 0.57 , 流域 24 种土壤亚类中 $K>0.3$ 的占 16 种; 而龙川江流域 K 值最大的才为 0.35 , 36 个亚类中 K 值 >0.3 的仅有 5 个。这说明龙川江流域的易侵蚀类土壤普遍少于太湖流域。

表 1 研究地区 9 种土壤类型及其 K 值范围¹⁾

Table 1 The nine soil forms and the ranges of their value

类型代号	类型名称	K 值范围
3	红壤	0.11~0.26
5	燥红土	0.14~0.33
6	山地黄棕壤	0.1~0.12
7	山地棕壤	0.056~0.19
8	紫色土	0.027~0.36
9	石灰土	0.2016
10	水稻土	0.15~0.27
11	山地暗棕壤	0.14
12	冲积土	0.059~0.28

1)表中仅列出了相关土类的情况, 亚类和土种的 K 值由于占用较大篇幅已略去。

2.2 降雨侵蚀因子(R 值)

研究地区 1998 年和 1999 年的汛期降雨总量分别为 $652.0\ mm$ 和 $908.10\ mm$ (表 2)。从表中可见, 1998 年为旱年, 侵蚀性降雨次数 21 次, 最能影响水土流失的降雨侵蚀(x 值)为 154.46 。1999 年为涝年, 侵蚀形势比上年严重, 侵蚀性降雨次数 44 次, R 值达 331.51 。这些指标显著影响了后面土壤年流失总量、侵蚀模数和中度以上侵蚀强度的水土流失面积的计算结果。对小河口代表站和另外 9 个水文站的资料分析来看, 1999 年 10 个水文站的降雨总值为 $16\ 956.9\ mm$, 是 1998 年($5\ 755\ mm$)的 3.9 倍, 1999 年代表站的降雨侵蚀因子值为 331.51 , 是 1998 年的 153.45 的 12.16 倍。这是导致 1999 年土壤流失量大, 强度、极强度和强烈侵蚀面积比例大的主要原因。

表2 1998年、1999年降雨侵蚀R值各参数计算表
Table 2 The R values of the rainfall and other rainfall profile during 1998 and 1999 in the research area

年份	汛期月降雨总量(mm)	连续30分钟雨强(mm)	降雨侵蚀力R值	侵蚀性降雨次数	旱涝年份
1998年指标	908.1	2.85	331.51	21	涝年
1999年指标	652.00	1.84	153.46	44	旱年

*10个水文站的R值由于占用太大版面未在表中一一列出。

同样与太湖流域比较,太湖流域1999年汛期R值为272.54^[3],而龙川江流域的R值为331.51,表明在1999年龙川江流域水土流失发动因子或降雨侵蚀力显然大于太湖流域。作为可能的结果,尽管其易侵蚀类土壤较多,太湖流域1999年侵蚀模数仅为1 068.46 t/km²,而龙川江流域达到7 703 t/km²(表3),是前者的7.21倍。由此可见R值对水土流失的重要影响。

2.3 流域水土流失总量(A值)

基于得出的各因子值,根据公式(1)可以得到

1998年和1999年研究地区土壤流失量状况监测结果(表3)。可以看出,因为1999年是涝年,侵蚀总量869 008.97t,强度、极强度和剧烈侵蚀量占总量的比重高达86.39%,侵蚀模数平均为7 703.87t/km²。说明该年本区水土流失非常严重。1998年为旱年,土壤流失总量仅为484 0092.05 t,占1999年的55.70%,强度、极强度和剧烈侵蚀量占总量的68.72%,侵蚀模数平均为6153.84t/km²,流失情况较1999年的轻微。从面积来看,1999年中度以上流失面积占流失总面积的32.45%,而1998年只占26.16%。涝年旱年水流失之差异由此可见一斑。

2.4 防治强度预报

根据公式(2)可以求出试验研究区1999年和1998年各等级水土流失防治强度预报面积数(表4)。由表可知,1999年需要治理和急需治理的面积占总面积的15.45%和0.82%,1998年的分别为13.85%和0.78。两年中仍以1999年水土保持工作任务艰巨。该年的投资治理力度因此应该加大,并且应把重点要放在强、重和剧烈流失区。

表3 研究区1998年、1999年土壤流失量、侵蚀模数和各级面积弦统计
Table 3 The soil loss amount and erosion module during 1998 and 1999 in research area

年份	侵蚀模数(t/km ²)范围	流失级别	侵蚀模数(t/km ²)	流失量A(t)	所占总量比(%)	流失面积(km ²)	占总面积比(%)
1998	0~1	微度侵蚀级1	0.013	58.67	0.0012	205.013	8.94
	1~500	微度侵蚀级2	109.22	117882.33	2.44	993.80	43.33
	500~2500	轻度侵蚀级	1286.21	467435.08	9.66	350.38	15.27
	2500~5000	中度侵蚀级	3658.08	928427.36	19.18	174.60	7.61
	5000~8000	强度侵蚀级	6324.92	1101546.56	22.76	172.82	7.53
	8000~15000	极强度侵蚀级	10561.74	1414000.76	29.21	238.41	10.39
	≥15000	剧烈侵蚀级	21136.67	810741.29	16.75	158.76	6.92
			平均6153.84	总量4840092.05		总量2293.78	
1999	0~1	微度侵蚀级1	0.0082	35.80	0.00041	250.78	10.93
	1~500	微度侵蚀级2	119.41	118671.44	1.36	1079.36	47.06
	500~2500	轻度侵蚀级	1186.08	415584.44	4.78	363.42	15.84
	2500~5000	中度侵蚀级	3718.71	649172.85	7.47	253.80	11.06
	5000~8000	强度侵蚀级	6436.68	1112424.75	12.80	174.16	7.59
	8000~15000	极强度侵蚀级	10990.81	2620280.04	30.16	133.88	5.84
	≥15000	剧烈侵蚀级	23771.52	3773923.65	43.43	38.36	1.67
			平均7703.87	总量8690082.97		总量2293.76	

表 4 试验研究区 1998 年、1999 年防治强度决策面积(km²)
Table 4 The forecasting extent of protecting and treatment of soil erosion during 1998 and 1999(km²)

年份	防治强度分级	无需治理区(含水面)	预防监督区	需要治理区	急需治理区	合 计
1998	实际面积数	1336.15	628.13	317.77	17.96	2300
	占总面积比(%)	58.09	27.31	13.82	0.78	100.00
1999	实际面积数	1204.82	721.82	354.45	18.91	2300
	占总面积比(%)	52.38	31.38	15.41	0.83	100.00

3 讨论

3.1 该方法的优点

目前国内水土流失现状调查的方法大致包括常规地面调查法、卫片目视解译法和遥感数据处理法三种,后两种常称为定性遥感方法。我们这次以定性遥感为基础,引入了土壤流失量监测模型、防治强度预报模型及各侵蚀因子算式算法,成为一种定量遥感技术系统。它经中科院南京土壤所多年的研发已经走向成熟,先后在山东、江苏、江西、福建等地成功应用。本次试验研究对 R 、 K 、 LS 、 CP 值的计算方法均应用了中科院南京土壤所 2000—09 在太湖流域水土流失动态监测研究的最新成果,并结合云南的特点进行了调整。

这一方法的优点,一是可以得到定量和直观的结果。监测结果可以是数据输出、图形输出,定点定时,明确直观。二是得到动态的或适时的结果。 R 值是影响一个地区水土流失的最易变因子。只要采用各年不同的 R 值和其他基础数据,利用该系统就可以依据水利部部颁标准所规定的流失等级和防治等级,对当年的流失量和预报强度进行监测,而且可以进行年际比较。三是更为客观。该方法与目前水土流失普查方法相比有三个最为突出的特点:1. 根据实际计算出的结果真正按部颁标准实现土壤年流失量侵蚀强度分级(不是人为先定等级后反算);2. 监测模型得到的水土流失量的运算单元是遥感像元(不是图斑);3. 流失量监测模型同时考虑了影响流失的频变因素(如 R 值、 CP 值、土地利用状况等)和缓测结果反映出土壤年流失量和流失面积的增减,与监测年的各侵蚀影响因子,特别是 R 值的大小密切相关。这一特征使该方法有可能更为真实地反映客观实际。四是快捷、准确。我们在研究地区开展工作不到半年,进入计算和制图不到两月就完成了 2 300km²、1 070 万个像元点的监测任务,显示了其快速的优点。该定量遥感方法具备在省、地、县和大、中、小流域以同一精度监测的能力,可以保障结

果的准确性。五是成本较低。该方法在首次使用时因为要建立监测和预报系统以及一个地区地基础数据库,需要一定的经费和人力,但在以后的若干年中每年只需要对系统进行必要的更新,带入相应数据和资料便可开展工作,无须再消耗太多的经费。六是适用于多方面的需要。

3.2 该项技术在云南的应用前景

本研究方法是国内目前对土壤流失量和侵蚀等级进行动态定期监测的较好办法,经过进一步的完善后,将具有更为广阔的应用前景。首先是在水土保持工作中的运用。因为它可以成为云南水土流失监测网络的技术支撑。云南山地水土流失点多面广,每年 R 值、 CP 值不同,流失量也因时因地变化,给水土保持规划(包括选点、预算等)和各类治理措施的实施计划带来困难。只有建立动态、适时、准确的动态监测系统和遍布全省的网络系统,才能做到科学的决策、治理和管理。通过在龙川江上游的试验和应用,本研究初步给出了滇中高原红壤—季节区表土流失量现状和所需防治等级及其面积,经过进一步补充和完善,该方法可在我省六大流域的 1、2、3 级支流上得到运用。其次是在防洪减灾中的运用。由于定量遥感给出了土壤年流失总量和淤积泥沙的来路、方向和具体分布,故可准确测算每个水利工程(水库、水渠等)的淤积总量和使用寿命,为修筑堤坝等防洪减灾工作以及实施长时间水土保持工作提供依据。如果再把 GPS 技术结合进去,本技术可以更准确地提供土壤流失量的发生位置和发生量,可以为水利部门作出对常规和应急的水土保持计划和决策提供依据。第三是在水质面源污染监测中的运用。该方法能够给出进入河流、水库和湖泊的泥沙量,而这些泥沙对应着一定的养分含量,故也能给出进入水体的 N 、 P 、 K 及其他物质增量。该方法曾在太湖流域苏皖区面源污染量监测中得到非常成功的运用。云南有九大湖泊和众多的水库、河川,是该方法的用武之地。

致谢:首先感谢我们合作研究中的技术顾问和参与者、中科院南京土壤研究所的卜兆宏教授。云南省地理研究所的周贵荣助理研究员和云南师范大学的赵波等同学在资料收集、辅助计算、制图等方面给予了协助。感谢云南地理研究所王学林高级工程师和云南大学的欧晓昆教授提供了有关资料。此外还有许多为本研究默默奉献的人们,在此,一并表示感谢!

参考文献:

- [1] 陈述彭, 赵英时. 遥感地学分析[M]. 北京: 测绘出版社, 1990.
- [2] 卜兆宏, 孙金庄, 等. 水土流失定量遥感方法及其应用的研究[J]. 土壤学报, 1997, 34(3), 235 ~ 244.
- [3] Renard K G, G R Foster, *et al*, RUSLE revisited: status, questions, answers, and the future. J. of Soil & Water Conservation, 1994, 49(3): 213 ~ 220.
- [4] 卜兆宏. 土壤流失量及其参数实测的新技术[J]. 土壤学报, 1995, 32 (2): 210 ~ 219.
- [5] 卜兆宏. 长江流域太湖区降雨侵蚀力及其应用的研究[J]. 农村生态环境(学报), 1994, 10(4): 1 ~ 6.
- [6] 卜兆宏, 唐万龙. 降雨侵蚀力(R)最佳算法及其应用的研究成果简介[J]. 中国水土保持, 1999, (6): 16 ~ 17.

A Preliminary Study of Dynamic-System Establishment For Soil Erosion Inspect in Yunnan Mountains

ZHOU Yue¹, WAN Yen², WANG Zhu-qing³ and YANG Yong-hong³

(1. Kunming University of Science and Technology, Kunming, 650223 China;

2. Yunnan Institute of Geography, Kunming, 650223 China; 3. Yunnan Normal University, Kunming, 650223 China)

Abstract: With a severity of soil erosion in Yunnan Mountains, soil conservation is a hard task in process of the "West Exploitation". In order to guide the soil conservation into a scientific and standard approach, it is urgently needed to develop a dynamic system for soil erosion inspect. After a collaboration between School of Science and Technology, Kunming University of Science and Technology, and Nanjing Institute of Pedology, Academy Sinic, we carried out a work to establish such a system, based on 3S technology, for first time in Yunnan. This technique is excellent with its advance, rapid, accurate and economic characteristics. It will be used widely in soil conservation in Yunnan after being further modified.

We made a dynamic inspect of soil erosion during the year 1998 and 1999 in the area concerned, and made a decision-making analysis of erosion protection and treatment. The area our study was carried out was in the subcatchment of up-stream of the Longchuan River, the main stream of the Yangtze River. As the inspect results showing, it was a waterlogging year in 1999, the gross of erosion in the area reached 869 008.97t; the sum of erosion amount at intensity level of intensive and above, took 86.39% of the gross; and the erosion module averaged 7 703.87t/km². It was a drought year in 1998, however, the extent of soil erosion was lighter than that in 1999. The three values discussed were respectively 4 840 092.05t, 8.72% and 6 153.84t/km². The total erosion area in 1999 at intensity level of moderate and above took 32.41%, and it in 1998 only took 26.09%. As the results of decision-making analysis indicating, the treatment area required for soil erosion control was 354.45 and 317.77 respectively in 1999 and 1998. The urgent treatment area were 18.91 and 17.96 respectively in 1999 and 1998. This explains that the task of erosion control in 1999 was much more difficult than that in 1998.

Key words: soil erosion; quantitative remote sense; dynamic inspect; decision-making analysis