

水土流失定量遥感方法及其应用的研究*

卜兆宏

(中国科学院南京土壤研究所, 210008)

孙金庄

(山东省水利厅水土保持办公室)

周伏建

(福建省水土保持试验站)

唐万龙 席承藩

(中国科学院南京土壤研究所, 210008)

摘 要

本文介绍了水土流失定量遥感方法、应用实验和结果,并讨论了它的实质和应用前景等。该法的监测模型虽有与USLE和RUSLE相同的表达形式,但其因子算式算法系由我国实测资料所建,故有更合我国流失实际的应用效果,尤其它适用于遥感和GIS数据的微机处理。其应用结果不仅有比常规调查法和定性遥感法更准确实用的流失总量、各级面积的统计数据 and 流失现状图,而且还有流失治理规划的防治强度预报图。实验区的应用结果,得到当地水保部门的肯定和使用。

关键词 定量遥感, 监测模型, 像元流失量

在我国水蚀区,常称土壤侵蚀为水土流失。为治理和预防水土流失,需定期查清其现状。查清水土流失现状的方法,有常规地面调查法和卫片目视解译法、遥感数据处理法(后两种也可称为定性遥感法)^[1,1]。虽然它们都标称按部颁技术规程获得调查或监测的图件和数据结果,但皆因存在人为定侵蚀等级而产生或高或低偏差一级的差误现象。这不仅给流失治理和预防监督的规划、重点治理区片的确定和治理经费的分配等带来差

* 国家自然科学基金资助项目(批准号:49070046)论文。

1) 夏夫川,1985:应用遥感技术调查土壤侵蚀现状及定量研究。第四届全国遥感技术交流会论文摘要,山东威海,177—178页。

收稿日期:1995-02-28;收到修改稿日期:1995-08-25

误,而且也影响着与防洪减灾密切相关的河湖库塘底的淤积和水利工程有效寿命的估算准确。为克服现有方法的缺陷,实验研究出更为准确实用的水土流失定量遥感方法并开展应用,则是本研究的目的所在。

1 水土流失定量遥感方法

1.1 土壤年流失量及其影响参数的实测方法

本研究采用的实测方法为标桩法加常规观测法^[2]。在均匀布设标桩的径流小区内,标桩法实测的平均年流失量与径流小区沉沙池的观测值比,有90%的一致性。这表明标桩法有国内外采用的建规整坡面径流小区的观测法(下称小区法)相同的实测精度,但它比实测一个小区一年仅有一套资料的小区法获得的资料套数多,而费用却很少。四年来,在南北方五省(河北、山西、山东、江西、福建等)有关站点实测了近千套、达亿个数据。实测资料,不仅是建立监测模型的基础,也是选用模型、评价定量遥感成果的依据。

1.2 水土流失定量遥感模型与因子算法和因子图编制法

1.2.1 监测模型结构的选定 监测土壤年流失量的模型或方程很多,有美国的 USLE、MUSLE、PSL、ANSWERS 和 OF 等,津巴布韦的 SLEMSA,英国的 Silsoe,捷克的 Stehlik 等模型或方程^[13,16]。虽然它们各有长短,但从其为主管部门所采用、各国都在广泛应用和对遥感数据处理的适应性而论,则以 USLE 为佳。在涉及水土流失定量遥感的初步实验中,美国 B. J. Ripley (1982)、M. A. Spanner (1983)、W. C. Hession (1988)、G. W. Petersen (1990)所使用的模型也是 USLE^[15,17,19,20]。利用在较小坡度上实测的资料代入 USLE,所监测的流失量与实测值比,约有70%的一致性。因此,本研究采用的监测模型结构与 USLE 相仿。其模型结构为:

$$A = f \cdot R \cdot K \cdot S \cdot L \cdot C \cdot P \quad (1)$$

式中 A 为土壤年流失量,单位为 $t / (km^2 \cdot a)$; $f = 224.2$; R 为降雨侵蚀力因子,单位为 $100ft \cdot sht \cdot t \cdot in / (ac \cdot h \cdot a)$; K 为土壤可蚀性因子,单位为 $shtt \cdot h / (100ft \cdot sht \cdot t \cdot in)$; S 为坡度因子, L 为坡长因子, C 为植被覆盖或作物管理因子, P 为保土措施因子,它们均为无量纲单位。 f 及 R 、 K 的单位使用准确十分必要,否则将招致结果的重大错误。

1.2.2 防治预报模型 本研究确定的防治预报模型为:

$$\Delta = CP - C'P' \quad (2)$$

式中 $C'P' = A_r / (fRKSL)$, A_r 为土壤容许流失量,除黄土高原外,一般为 $500t / (km^2 \cdot a)$ 。其余与(1)式同。 Δ 为在 A_r 容许流失时的防治强度值, $\Delta < 0$ 为良好治理区; $\Delta \geq 0$ 为防治区,依据流失量和治理经费可将 Δ 划分为预防监督区、流失治理区、急需重点治理区。

1.2.3 模型因子的算式算法 ① R 因子算法: R 因子是侵蚀动力因子,是不同地区或同一地区不同年代的侵蚀流失量大小差异的主要决定因素。利用我国各典型降雨区多年降雨资料和流失量观测资料,研究出一种降雨侵蚀力因子(R)新算法^[3,4,12]。其算式为:

$$R = 0.128P_f I_{30B} - 0.192I_{30B} \quad (3)$$

$$R = 2.179P_f I_{30B} - 3.268I_{30B} \quad (4)$$

(3)式中 R 单位为美习用单位, (4)式中的为公制单位; P_f 为该区汛期各月的降雨总量, 以 mm 为单位; I_{30B} 为该代表站的连续 30 分钟最大降雨强度的年代表值, 以 cm/h 为单位。 R 新算法与魏氏 (Wischmeier) 的经典算法比有 90% 的一致性^[6]。它对降雨资料的要求较易实现, 可为县境内编制出反映 R 差异的图来, 而魏氏法因需详尽的降雨自记资料则难以实现; ② K 因子算法: K 为侵蚀对象因子。它主要由土壤的机械组成粒级含量 (N_1 、 N_2)、土壤有机质含量 (O_m)、土壤结构级别 (S)、土壤渗透级别 (P) 等土壤性状 S_p 决定。其算式为:

$$K = F(N_1, N_2, O_m, S, P) \quad (5)$$

该式与查 K 值诺谟图结果是一致的。为便于利用土壤普查成果资料, 我们研究了一种查图表法, 与 (5) 式计算的 K 值比有 86.0% 的一致性^[7]; ③ SL 因子算法: SL 是侵蚀动力的加速因子。我国坡耕地的坡度一般比美国的大, 故不能采用 USLE 的坡度因子算式。利用 1991 年度自然坡面裸土区和顺坡耕翻小区实测的较多资料, 在消除其它因子影响后, 初步建立的 S 因子算式为^[8]

$$S = 0.743 \times 1.0595^a \quad (6)$$

利用后几年实测的更大量数据, 对 S 算式作了较大改进, 并编入软件中。L 因子算式虽采用了 USLE 的, 但为满足水土流失定量遥感以像元为基础运算的要求, 计算像元坡度、坡长及其因子的算式均作了改进。本研究采用的像元 (i) 坡度 α_i 和像元坡长因子 L_i 算式为^[5,8]

$$\alpha_i = F(h_r, h_p, d_i), L_i = F(d_i, \alpha_i, m_i) \quad (7)$$

式中 α_i 为 i 像元相邻 8 个方向的最宜坡度值, h_r (h_p) 为像元高程值, d_i 为像元边长或对角长度 (视 α_i 方向而定), m_i 为随坡度而变的指数值。 L_i 值随像元位置所处坡顶、坡中、坡脚而变大, 符合上坡沟浅而小、下坡沟深又多的流失实际。 L_i 算式的建立, 可克服 G. W. Petersen 不考虑 L_i 的缺陷而完整地利用 USLE^[17]; ④ CP 因子算法: CP 都是侵蚀动力的抑制因子, 起着保持水土的作用。 CP 因子值虽小于或等于 1, 但其相对变化范围却是诸因子中最大的。本研究利用自然植被区的实测资料建立的 C 因子算式为^[9]

$$C = 0.4149 - 0.0052c, C = 0.4399 - 0.0058c, C = 0.4500 - 0.0079c \quad (8)$$

式中 c 分别为七、八月和年平均的植被覆盖度或为一个地区植被生长期最大、次大和平均的覆盖度, 以百分数表示之。耕作区不同作物类型的 C 值, 则利用顺坡耕翻的和种作物的两相同径流小区实测流失量的比值来确定。在自然植被区和坡耕地的 P 因子一般取值为 1, 凡修了水平梯田的为 0.01, 介于两者中间的治理措施的坡耕地则取值于 0.7—0.02。

1.2.4 涉及模型因子图的编制方法 ① R 因子图: 在收集了监测区代表站和一般站的降雨资料, 按 R 新算法获得其 R 值后, 用内插外延法和等值线法则可勾绘出全境的 R 值分布图; ② K 因子图: 在全面收集第二次土壤普查成果的土壤图件 (有类型 and 质地图)、剖面及理化分析资料后, 先按 K 值的公式算法或查图表法获得每个剖面点的 K 值, 再按照本研究获得的图斑 K 值的确定原则和图斑界线并合与划分的原则^[7], 则可完成监测区的 K 值图编制; ③ 土地类型图: 10 年来我国多数地区利用航片加野外调查, 完成

了 1:1 万—1:5 万县级土地利用现状类型图的工作。水土流失定量遥感中使用这种图, 主要用来准确分割遥感图像为山丘自然植被区、水平梯田区、坡耕旱作区。因此, 应将土地详查图并合为 3 大类; ④ 建立 DEM 的图件: 为建立像元数字高程 (h_i) 模型 (DEM), 需利用 1:5 万地形图编制出等高线图、区界与水系图、高程注记点位图。等高线图上在山丘区只需描计曲线和每个山头的最高等高线 (大于 2mm^2), 缓坡及平原区应描绘出每根首曲线, 甚至半距等高线。区界与水系图应描绘出单线、双线河和池塘水库。高程注记点位图, 除应把图上的高程注记点标出和书写出其高程外, 对单线水系源头、交会点位和双线水系至少 2 处边上标出和书写其高程。三种图件均应标出四个图廓点和每边中间及图幅中心 5 个整数公里网点的点位。

1.3 像元因子图的建立法

1.3.1 非遥感像元因子图的处理 为获得每个像元的非遥感数据 R_i 、 K_i 、 S_iL_i 图, 需使用地理信息系统 (GIS) 技术。非遥感图像可分为等值线图和图斑图两大类。① 等值线图的处理: 编制出的 R 因子图和等高线图、区界与水系图、高程注记点位图, 可使用 A_4 幅面扫描数字化仪获 tif 格式数据图, 再用细化、矢量化、拼接、赋值的 Mapscan 软件和 DEM 内插专用软件, 获得每 $30 \times 30\text{m}$ 有一个高程 (h_i) 的 DEM 像元图或像元 R_i 因子图。使用本研究获得的 SL 软件, 才可将 DEM 运算出像元 S_iL_i 因子图^[14,21]; ② 图斑图的处理: 编制出的 K 值图和土地利用类型图, 在扫描完并用软件细化、矢量化拼接后, 赋图斑 K 值或土地类型代号则使用图形处理软件。经矢栅转换处理后, 则可获得 K 值或类型号的像元 K_i 图或土地类型图。

1.3.2 遥感像元因子图的处理 为获得像元 C_iP_i 因子图, 必须使用能全面反映植被与作物现状的卫星遥感数据, 并利用具有一定图形处理功能的图像处理软件进行处理。① 几何校正: 上述所有非遥感的和遥感的像元图, 均需使用图像处理软件中的几何校正命令, 利用它们间的同名点位 4—16 个作为控制点, 都统一校正到能与 DEM 套合配准。校正后的各像元图的行、列数与 DEM 完全相同, 而字节数则因各种像元值大小不同而异; ② 遥感像元图的分割、分类与合并处理: 利用一些新编软件, 以土地类型图作控制, 可将全境遥感图像分割成水平梯田、坡耕地、荒山植被三大区。水平梯田和坡耕地农区采用常规分类法, 将遥感图像分出密中疏覆盖作物类型、城镇居民地、道路、水域等各为 6—10 类。农区的 C_iP_i 值图, 依据不同作物类型及其覆盖类型、地物类型的实测和观察结果, 将每个类型号赋予相应的 C_iP_i 值。在将农区两个图像合并后, 运行新编软件, 则可获得农区 C_iP_i 图, 其值为 0.0001—0.7。荒山植被区则可采用植被指数法或排序特征分类法^[9,10], 先求得植被覆盖度 c , 再按 (9) 式获得 C_i 值。该区的 $P_i = 1$, 经处理后获得的 C_iP_i 图, 其值为 0.0001—0.44。经逻辑运算后, 则可将农区的与荒山植被区的 C_iP_i 图合并, 获得全境 C_iP_i 像元图。

1.4 定量遥感成果的运算与统计法

1.4.1 像元流失量 A_i 图与区域流失总量 使用像元乘法程序, 按 (1) 式先将两个因子图相乘运算, 直至六大因子 (RKSLCP) 图连乘后, 最终获得 A_i 图。为获得区域流失总量, 需使用像元统计程序, 则可统计出全区或每个小流域或乡的土壤流失总量。

1.4.2 部颁流失现状图及其各级面积 使用新编的变换软件, 可将 A_i 图变换成完全按

部颁技术规程所要求的流失现状图。这时现状图仅有微度、轻度、中度、强度、极强度和剧烈共 6 类,若将前二级再各细分 2 级,则有 8 级。运行像元统计程序,则可获得各级面积数。

1.4.3 防治强度预报图 用新编软件先获得一张 Ar 图,再按(2)式要求运算出防治强度预报图。此中的预报关键是 R 值的选用,粗报可用该区多年 R 均值图,精报应选用该区 R 变化周期中来年最或是的 R 值。运行统计程序,同样可以获得急需治理区和其它区的面积数。

1.5 成果图的整饰与输出法

1.5.1 成果图整饰 成果图整饰,有上色、字符注记、美化整饰。为确保文字符号注记的点位精度,使用新编的汉字注记软件,先在经几何校正、彩色合成的卫星图像上注记图名、图例及县城、乡及大村的符号和名称。再拷贝成果图为红、绿、蓝三个图像,并将所注的符号和文字标注在成果图上。界外的黑色区,最好整饰为遥感影像,既美观又可检查成果图的接边状况。成果图界内各类应按合成配色原则,选定颜色^[1],并用新编软件将各类赋值,完成成果图中各类的上色整饰。

1.5.2 成果图输出 每一成果图在注记整饰成红绿蓝三个同名图像后,则可将其压缩、拷贝输出,提供 C4500 光电扫描仪或激光扫描仪,最终获得彩色负像底片。经彩色放大至用户所需比例尺的彩色正像照片后,水土流失定量遥感应用的任务则告完成。

2 应用实验

2.1 实验区、资料、硬软件系统

2.1.1 实验区 实验区选在山东省临朐县,面积 1887.47km²,人口近百万,山丘面积占全县 70%。境内沂山 1031m,是流经全县弥河水系的源头。年均降雨量为 400—1100mm,年际变化大且多暴雨。土壤母岩有花岗岩、花岗片麻岩、玄武岩和石灰岩等,发育有棕壤、黄棕壤、棕色石灰土、褐土等。该县是水土保持先进县。其北半部丘陵缓岗区,大部改造为水平梯地的水浇地。近年来,在较陡的丘陵山区,开展了坡改梯、炸山砌埂造梯地的治理,新农地及干鲜果园面积逐年增加。由于治理质量好,梯埂上一般都种植了多年生黄花菜,故梯地年流失量极小。随着人口的增加,该县山区的坡耕地改造和石质化石灰岩山地的治理任务仍很艰巨。该县于 1982 年设有水土保持试验站,建有十几个规整坡面径流小区和 8.34km²的小流域水文观测点,累积了较长时间的正规观测资料。

2.1.2 实验资料 实验区有较齐全的实测和图件资料。实测资料,除水保站累积的 1990 年以前的资料外,近三年还在水保站径流小区内外,冶源、上林等乡典型地段布设了 430 个标桩,实测土壤年流失量及其影响参数,每年获约 200 套实测资料。该县各乡镇和拦河水库处都有汛期降雨量观测点,共计 30 个,加上县气象站和水保站的自记降雨资料,可编制出较好的县 R 值图。1988 年 R 值图的编制,利用了这些实测资料。水保站和各乡的实测资料,是确定 $C_i P_i$ 值的依据。该县在 80 年代完成了土壤普查和土地详查,编有 1:5 万全县土壤类型图、土壤质地图和土地利用现状图。为验证其可靠性,还

专门野外校验和采土样 150 袋,并分析了土壤机械组成。 K 值图是在土壤质地图上编制的。所编 K 值图和土地类型图,为便于扫描,均经复照缩小。该县的 1:5 万航测地形图虽 1969 年航摄,除新建水库外,整个地形依旧,故仍用其建 DEM。该县位于 TM 数据的 120—35 的上半景,是中科院北京卫星遥感地面站 1988 年 9 月 30 日接收的,质量评定为 9 分。此时,当地玉米全已收割并耕翻播了小麦,坡地上地瓜、黄烟叶尚未收割,花生地有部分收获。自然植被区的树草依然青绿。这表明,所使用的遥感资料是宜于水土流失定量遥感的。

除上述实验区外,在福建省南安市增设了一个南方实验区。

2.1.3 实验硬软件 ① 实验所用的硬件系统:硬件系统由 CPU 为 486DX₂/50MHz、内存 8MB 和硬盘构成的兼容机和 A₃ 幅面扫描仪、显示器、鼠标器等外设组成;② 实验所用的软件系统:有用于非遥感图像数字化的扫描软件、细化矢量化赋值软件、两种常用图形处理软件、具有一定图形功能的图像处理软件,以及本研究获得的 S_LI 软件、字符注记软件和数据转换接口的新编软件,并由它们集成为水土流失定量遥感的软件系统。

2.2 应用实验结果

2.2.1 实验区的具体结果 ① 全区土壤流失总量:临朐县和南安市 1988 年土壤年流失总量与平均侵蚀模数值,均被注记在成果图的图例下方,在表 1 注中也被列出;② 全区流失现状图:按部颁规程要求制出的临朐县和南安市流失现状图,共分 8 级。其各级面积数,详见表 1。实验区流失现状图(因彩色不便刊出,略),已提交当地水保办验证使用了;③ 防治强度预报图:按(2)式运算获得的防治预报图,显示出各类防治区。各类防治区的面积数,详见表 2。这些成果中,第一、三项是现有其它方法所没有的。

表1 山东临朐县和福建南安市定量遥感的水土流失现状图监测结果

Table 1 Monitoring results of soil erosion in Linqu County of Shandong province and Nanan County of Fujian Province by using quantitative method of remote sensing.¹

侵蚀模数 Soil loss (t/km ² ·a)	部颁侵蚀级别名 Soil loss grade	像元数 Number of pixels (个)		面积数 Area (km ²)	
		临朐县	南安市	临朐县	南安市
0—1	微度侵蚀	113237	433056	101.91	389.75
1—500	微度侵蚀	1077860	1298378	970.08	1168.54
500—1000	轻度侵蚀	220840	138922	198.76	125.03
1000—2500	轻度侵蚀	260469	134711	252.42	121.24
2500—5000	中度侵蚀	178035	78100	160.23	70.29
5000—8000	强度侵蚀	89660	48844	80.69	43.96
8000—15000	极强度侵蚀	82460	60767	74.21	54.69
≥15000	剧烈侵蚀	58578	76911	52.72	69.22
总 计		2101139	2269689	1889.02	2042.72

注:①全区流失总量:临朐为390.168,南安为366.325万吨;②平均侵蚀模数:临朐为2063,南安为1793t/km²。

2.2.2 方法与设备结果 ① 方法结果:实验区任务的成功完成,验证并完善了所研究的监测与预报模型和一系列方法,从而确立了水土流失调查的定量遥感方法的可行性。这是确保进一步推广应用区(如山东全省)任务高质量完成的方法保证;② 设备结

表2 临朐县和南安市各类防治区面积(km²)

Table 2 The areas of various conservation regions in Linqu and Nanan counties.

防治类型							
Conservation type							
防治良好区		预防监督区		流失治理区		重点治理区	
Better conservation region		Monitoring region		Control loss region		Key control region	
临朐县	南安市	临朐县	南安市	临朐县	南安市	临朐县	南安市
1073.10	1558.29	640.40	385.77	130.49	54.35	47.04	43.31

果: 较顺利完成实验区的绝大部分处理任务, 则表明所选用和开发的微机软硬件系统能胜任大面积的推广应用, 尤其在有 CD-ROOM 盘遥感数据输入和彩喷绘图仪输出的今天。

3 讨 论

3.1 水土流失定量遥感的实质

本研究确立的水土流失定量遥感方法, 是以流失量监测模型为核心的水土流失调查新方法。它利用已有气象观测、土壤普查^[11]、土地详查和航测地形图资料, 借助于由一系列软硬件组成的定量遥感系统获得各像元侵蚀因子图, 代入监测或预报模型中, 逐个运算出像元流失量或防治强度值, 进而获得全区流失总量、流失现状图和防治预报图, 更准确快速有效地提供水土保持、农林业和防洪减灾等部门使用。因此, 它实质上是一种由 GIS 和 RS 紧密结合而成的实用遥感新技术。

本研究采用的监测模型, 虽然结构形式与美国 USLE 和近年刊载的 RUSLE 类似^[18], 但是其因子算式算法有较大差异。首先, 建立模型因子算式算法的基础是来自我国各水蚀区的大量实测资料, 因而更适用于我国。其次, 在因子算式算法方面, 本研究的比 USLE 的或同类研究所使用的更符合流失实际。例如, USLE 的 R 算法对降雨资料较苛刻, 以至 Ripley (1982)、Spanner (1983)、Hession (1988) 的整个研究区内仅一个 R 值, 且他们的坡度取用加权均值; 又如 Petersen (1990) 的 USLE 模型中没有像元坡长因子 (实则 $L = 1$) 等, 均有与客观流失规律相悖处。本研究在建立模型因子算式算法中取用更符合流失实际的原则和采用微机运算的措施, 则与美国 RUSLE 有较多相同点^[18]。

3.2 水土流失定量遥感成果的可靠性

山东省临朐县和福建省南安市水土保持办公室分别对北、南方实验区的各项定量遥感成果写出了验证使用报告, 认为“准确可靠”、“实用性强”, 给予充分肯定。同时, 我们用具有图形图像功能的软件从临朐县 DEM 中提取了辛庄小流域的区界, 并以此区界从县像元流失量图中套取和统计出该小流域内的全部像元的流失量值 (详见表 3)。这些值, 与该小流域内相同坡面的标桩实测值和径流小区的实测值较为一致 (详见表 4)。水文点在 1988 年观测的小流域流出泥沙 (悬移质) 为 5160.7t, 沉积于水文点上游河道内 (0.352km², 年均厚度约 20mm) 的石英砂计有 9504t, 两者之和为 14464.7t, 可作为小流域该年的实测值。监测的小流域流失总量为 13393.7t, 与实测值有 91.3% 的一致性。依

据汇流面积占全县 50.64% 的四大拦河水库的年均淤积量 (253.80 万 t)、县年均雨量和 1988 年雨量, 可以推算出 1988 年全县水库淤积沙量 (悬移质) 为 194.24 万 t; 再依据小流域土质、悬移质与流失总量之比和全县土质, 则可推算出 1988 年的全县流失总量为 408.1 万 t, 可作为全县该年的实测值。监测的全县流失总量为 390.168 万 t, 与实测值则

表3 辛庄小流域定量遥感像元流失量统计结果

Table 3 Statistical results of pixel soil losses in small watershed of Xinzhuang by quantitative method of remote sensing.

侵蚀模数 Soil loss (t/km ² ·a)	部颁侵蚀级别名 Soil loss grade	像元数(个) Number of pixels	面积数 Area (km ²)	说明 Note
0—1	微度侵蚀	498	0.4482	在119个剧烈侵蚀像元中, 侵蚀模数分别为: 15000—20000有79个; 20000—30000有35个; 30000—40000有4个; 53503.96t/km ² 有1个。全小流域流失总量: 13393.66t
1—500	微度侵蚀	5308	4.7772	
500—1000	轻度侵蚀	671	0.6039	
1000—2500	轻度侵蚀	1069	0.9621	
2500—5000	中度侵蚀	902	0.8118	
5000—8000	强度侵蚀	420	0.3780	
8000—15000	极强度侵蚀	366	0.3294	
≥15000	剧烈侵蚀	119	0.1071	
全小流域总计		9353	8.4177	

表4 辛庄小流域各径流小区的实测流失量

Table 4 Annual observed soil losses of runoff plots in small watershed of Xinzhuang.

年份 Year	径流小区实测的土壤年流失量(t/km ²) Annual soil loss of runoff plot							降雨侵蚀力R值 Erosivity factor of rainfall 100ft·sht t·in ($\frac{ac \cdot h}{\text{ac} \cdot h}$)
	小区号 No. of plot							
	83-3	83-2	83-5	83-3-1	83-2-2	83-5-1	83-9	
1985	5834	40013	3965	—	—	—	63	316.4
1988	28281	13635	2391	—	—	—	0	165.1
1991	37746	19362	15685	—	—	—	0	193.7
1992	51495	20494	—	62920	28026	—	0	209.4
1993	19125	11166	2130	34650	23918	4489	0	165.3

注: ①小区坡度: 83-3、83-2、83-5、83-3-1、83-2-2均为 25°, 83-5、83-5-1均为 15°, 83-9为 5°; ②小区坡长: 83-3、83-3-1为 44.5m, 83-2、83-2-2为 22.25m, 83-5、83-5-1为 20.71m, 83-9为 22.18m; ③小区植被: 83-3、83-2、83-5种花生, 83-9为草地, 其它为顺坡耕翻一次的裸地。

有 95.6% 的一致性。纵观坡面、小区、小流域和全县的实测值与相应监测值的一致性, 表明实验区定量遥感成果确实如当地水土保持办所肯定的那样, 是准确可靠的。

诚然, 水土流失定量遥感成果的可靠性, 首先是由该方法所决定。由于其模型包含了产生流失的侵蚀动力、加速与抑制侵蚀和侵蚀对象的各要素, 故较其它常规调查和定性遥感方法 (目视解译和纯遥感数据处理) 可靠。其次, 它还受所使用的已有资料的准确性影响。

3.3 水土流失定量遥感的成本

为使本研究成功, 我们投入的人力、财力是巨大的, 成本较高。对于一个具体实验区而言, 从建 DEM、R、K 因子图和土地类型图、购 TM 遥感数据带直到完成一个

2000km²县的任务,至少需投入5万元的经费。然而,在过若干年后当进行第二次或更多次定量遥感时,则只需极少费用。因DEM和K是基本不变的,即使有变也仅需局部更新,所做的 S_iL_i 、 K_i 图可重复使用;变的只是R和 C_iP_i 图,需花收集降雨资料和购TM遥感数据带费,仅需1万元就可完成。此外,所建DEM,对于农林水其它部门也有参考应用价值。因此,基于它的定期重复监测的廉价和多用性,其成本只会比常规调查和定性遥感方法的低。

3.4 水土流失定量遥感的应用前景

3.4.1 在水土保持部门的应用前景 本研究成果提供的流失现状图和防治强度预报(实则治理规划)图,对水土保持部门管理的科学化极有应用价值。例如,重点治理区片和经费的确定,可参考其决定。实验区是水土保持先进县市,虽然防治图上的急需治理区与近年实施的治理区片一致,但也存有被忽视处(如较为偏僻的地处沂山东北坡,现才被临朐县定为重点治理片)。本成果将在为实验区的流失治理达到更加全面先进的水平中,发挥其应有的作用。可以肯定,水土流失定量遥感方法,在流失严重的省县中将有其广泛的应用前景。

3.4.2 在农林业部门的应用 本成果显示的较大像元流失量,主要出现在农区坡耕地或自然植被荒山区的人为扰动土壤区。这提醒农业部门在坡改梯的同时,对未治理区还应选用该区年内R值大(即多暴雨汛期)少耕或免耕翻土的作物品种;也提醒林业部门造林时,宜穴种而不可全垦造林。只有农林部门的配合并为农民实行,水土流失才可根治。

3.4.3 在防洪减灾、水利工程管理中的应用 本成果,较准确地提供了全区或流域的流失总量及二个成果图,可准确测算每个水利工程的淤积总量和有效使用寿命。在北方实验区的冶原、高崖和大关水库,每年的淤积总量都达数十万吨。由于定量遥感成果给出了年流失总量和淤积沙源的具体分布,故可提供防洪减灾和水利工程等部门,为确保全区安全渡汛作出正确决策;是修堤筑坝、清淤的暂时防治?还是强化水土保持的长期防治。

综上所述,可对水土流失定量遥感方法作出如下结论:1.它实质上是由GIS和RS紧密结合而成的实用遥感新技术;2.它的成果准确可靠,有利于水土保持管理的科学化;3.它可定期监测,成本费用可比现有方法低;4.它在水土保持、农林水和防洪减灾中有广泛应用前景。这些结论,在山东全省山丘区推广应用后业已被证明。

参 考 文 献

1. 卜兆宏、李士鸿, 1989: 水土流失调查的遥感数据处理。216页, 东南大学出版社, 南京。
2. 卜兆宏、刘绍清, 1995: 土壤流失量及其参数实测的新方法。土壤学报, 第32卷2期, 210~220页。
3. 卜兆宏、董勤瑞、周伏建、张立文, 1992: 降雨侵蚀力因子新算法的初步研究。土壤学报, 第29卷4期, 408~418页。
4. 卜兆宏、宫世俊、阮伏水、蔡士强, 1992: 降雨侵蚀力因子的算法及其在土壤流失量监测中的选用。遥感技术与应用, 第7卷3期, 1~10页。
5. 卜兆宏、唐万龙等, 1993: 像元坡度新算法的初步研究。遥感技术与应用, 第8卷1期, 1~6页。
6. 卜兆宏, 1994, 长江流域太湖区降雨侵蚀力及其应用的研究。农村生态环境(学报), 第10卷4期, 1~6页。

7. 卜兆宏、李全英, 1994: 土壤可蚀性(K)图编制方法的初步研究。遥感技术与应用, 第9卷4期, 22~27页。
8. 卜兆宏、唐万龙, 1994: 土壤流失量遥感监测中GIS像元地形因子算法的研究。土壤学报, 第31卷3期, 322~329页。
9. 卜兆宏、赵宏夫、刘沼清、陈明华, 1993: 用于土壤流失量遥感监测的植被因子算法的初步研究。遥感技术与应用, 第8卷4期, 16~22页。
10. 陈述彭、赵英时, 1990: 遥感地学分析。297页, 测绘出版社, 北京。
11. 席承藩、章士炎, 1994: 全国土壤普查科研项目成果简介。土壤学报, 第31卷3期, 330~335页。
12. 赵富梅、赵宏夫, 1994: 应用新算法编制永定河上游张家口地区R值图的研究。海河水利, 第2期, 47~51页。
13. M. J. 柯可比、R. P. C. 摩根, 王礼先等译, 1987: 土壤侵蚀。326页, 水利电力出版社, 北京。
14. Bu Zhaohong, Xi Chengfan, 1992: Preliminary study on monitoring of annual soil erosion loss in red earth region by remote sensing. in Proceedings of International Symposium On Management And Development Of Red Soils In Asia And Pacific Region (Dec. 3-5, 1990, Nanjing, China), Edited by Gong Zitong, Science Press, Beijing, New York. pp140~142.
15. Hession, W. C. et al., 1988: A geographic information system for targeting nonpoint-source agricultural pollution. J. of Soil and Water Conservation, 43(3): 264~266.
16. Morgan, R. P. C., 1986: Soil Erosion & Conservation. Longman Group.
17. Petersen, G. W. and Hamlett, J. M. et al., 1991: Evaluation of Agricultural Nonpoint Pollution Potential in Pennsylvania Using a Geographic Information system. Environment Resources Research Institute, ER9105, Uni. Park, PA.
18. Renard, K. G., et al., 1994: RUSLE revisited: status, questions, answers, and the future. J. of Soil & Water Conservation, 49(3): 213~220.
19. Ripple, B. J., et al., 1982: Remote sensing and computer modeling for water quality planning in South Dakota. in Remote Sensing for Resource Management. pp309~316, SCSA, Iowa. 50021.
20. Spanner, M. A., et al., 1983: Soil loss prediction in a geographic information system format. in Proc. of 17th Inter. Sym. on Remote Sensing of environment.
21. Tang Wanlong, Bu Zhaohong, 1995: Anew software for GIS image pixel topographic factor in remote sensing monitoring of soil losses. Pedosphere. 5(1): 67~74.

A STUDY ON QUANTITATIVE REMOTE SENSING METHOD OF SOIL EROSION AND ITS APPLICATION*

Bu Zhaohong

(Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing, 210008)

Sun Jinzhuang

(Office of Soil and Water Conservation, Water Conservancy Department of Shandong Province)

Zhou Fujian

(Experimental Station of Soil and Water Conservation of Fujian Province)

Tang Wanlong and Xi Chengfan

(Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing, 210008)

Summary

A quantitative method of remote sensing for soil erosion is described in this paper. Although form of the model for monitoring losses in the method is the same as the USLE and RUSLE, the formula and algorithms for model factors are generated from loss data observed in our country. Therefore, it is more applicable to loss regions in our country, and suits personal computer processing of the GIS and remote sensing data. The results of its application which include the total loss of region, the area of soil loss grades, the soil erosion map and the forecast map of soil conservation, are more accuracy and useful than those of existing methods for the conventional survey and qualitative remote sensing.

Key words Quantitative method of remote sensing, Monitoring model, Soil loss of pixel

* The Project (No. 49070046) supported by the National Natural Science Foundation of China.