

# 定西市安定区土壤侵蚀及生态安全评价<sup>\*</sup>

林 斌<sup>1</sup>, 邸 利<sup>1</sup>, 吴东平<sup>2</sup>, 彭静波<sup>3</sup>, 石 斌<sup>3</sup>, 于世广<sup>1</sup>

(1. 甘肃农业大学 资源与环境学院, 兰州 730070; 2. 定西市水土保持科学研究所, 甘肃 定西 743000;  
3. 甘肃农业大学 林学院, 兰州 730070)

**摘 要:**通过利用遥感影像, 计算了定西市安定区的植被覆盖度; 利用栅格数字高程模型 DEM, 计算安定区的地表坡度, 并对其地形坡度、植被覆盖和土地利用类型进行迭加分析的基础上对安定区的土地进行分级。从环境资源条件、社会经济水平和生态平衡程度状况 3 个方面, 筛选了 18 项指标, 分 3 个层次构建了定西市安定区生态安全的评价指标体系。选取均方差的评价方法对定西市安定区生态环境进行定量评价, 对黄土高原典型代表区域一定西市安定区 1993–2005 年生态安全状况进行了定量评价与动态分析, 结果表明: 定西市安定区生态安全总体水平比较低, 但生态环境正向良好态势发展, 健康状况从恶性循环状态变化为脆弱状态。

**关键词:**土壤侵蚀; 生态安全评价; 植被覆盖度; 安定区

中图分类号: S157.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2010)02-0115-05

## Evaluation of Soil Erosion and Ecological Security in Anding Region of Dingxi City

LIN Bin<sup>1</sup>, DI Li<sup>1</sup>, WU Dong-ping<sup>2</sup>, PENG Jing-bo<sup>3</sup>, SHI Bin<sup>3</sup>, YU Shi-guang<sup>1</sup>

(1. College of Resources and Environmental, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China; 2. Dingxi Institute of Soil and Water Conservation Research, Dingxi, Gansu, 743000 China; 3. College of Forestry, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

**Abstract:** The vegetation coverage and area of land-use types in Anding region of Dingxi city was calculated by means of remote sensing image. The land slope in the region was computed by raster Digital Elevation Model (DEM) and the soil erosion intensity was graded based on overlay analysis of slope, vegetation coverage and land-use type. 18 indexes were selected based on the environmental resources conditions, socio-economic level and ecological balance conditions of the region. The evaluation index system of the ecological security of Anding region was established from three levels. Quantitative evaluation of the ecological environment was made by the mean square deviation. Quantitative evaluation and dynamic analysis of the ecological security from 1993 till 2005 of Anding region representing the Loess Plateau were carried out. The results showed that the overall level of ecological security in the region is relatively low. However, the ecological environment is appearing a good developing trend towards and the health status is changing from the vicious circle to the fragile state.

**Key words:** soil erosion; ecological security evaluation; vegetation coverage; Anding region

20 世纪以来, 随着人类社会的高速发展, 全球性和区域性的环境问题, 如温室效应、全球性气候变化、环境污染、水土流失、土地荒漠化等一系列问题正以前所未有的速度威胁着人类的生存环境和经济的可持续发展, 生态安全问题越来越受到人类的密切关注。区域

生态安全状况一方面受自然因素影响, 另一方面受人类活动影响, 是上述两方面因素相互交织、共同作用的结果<sup>[1]</sup>。在人类活动导致的生态环境问题中, 土地利用变化过程对区域生态安全起着决定性的作用。

在 20 世纪 80 年代, 关于生态系统健康问题的

\* 收稿日期: 2009-09-16

基金项目: 中国-全球环境基金项目(GEF/OP12)项目

作者简介: 林斌(1985-), 男, 甘肃临夏人, 硕士研究生, 主要从事生态安全研究。E-mail: lbin@st.gsau.edu.cn

通信作者: 邸利(1961-), 女, 在读博士, 教授, 主要研究方向恢复生态。E-mail: dili@gsau.edu.cn

研究逐渐兴起, 现在人们已普遍认识到维护和恢复一个健康的生态系统是可持续发展的基础。国内的生态安全评价研究刚刚起步, 但发展迅速<sup>[2-3]</sup>。因此, 生态安全评价越来越受人们的普遍关注, 尤其在生态环境脆弱区。定西市安定区是全国水土流失最严重的地区之一, 人地矛盾日益突出, 对其进行生态安全评价具有重要意义。

土壤侵蚀是一个复杂问题, 涉及的影响因素很多, 利用常规方法进行时空变化研究难度很大。其原因在于土壤侵蚀分布地域广大, 大规模经常性地地进行常规土壤侵蚀调查不大可能。遥感(RS)和地理信息系统(GIS)技术的结合<sup>[4-5]</sup>, 给土壤侵蚀、生态安全时空变化研究提供了先进的手段, 与传统手段相比, 优势在于提供了全球或大区域精确定位的高频度宏观影像, 提供了多学科综合分析的数据, 在遥感与GIS基础上建立的数学模型为生态安全定量分析奠定了基础。

## 1 研究区概况

定西市安定区位于甘肃省中部, 北纬  $35^{\circ}17' - 36^{\circ}02'$ , 东经  $104^{\circ}12' - 105^{\circ}01'$ , 西连榆中县、兰州市, 东接渭源、陇西, 北部与会宁、通渭相邻。面积约为  $3\,638\text{ km}^2$ , 属陇中黄土高原丘陵沟壑区, 梁峁起伏大、沟壑纵横、地形破碎是区内最显著的地貌特点。地势南高北低, 海拔  $1\,700 \sim 2\,580\text{ m}$ , 相对高差  $150 \sim 300\text{ m}$ 。年均降雨量约  $420\text{ mm}$ , 且多集中在 7 - 9 月三个月, 而蒸发量却高达  $1\,526\text{ mm}$ <sup>[6]</sup>。年平均气温  $6.3^{\circ}\text{C}$ , 冬春季西北风盛行, 为典型的大陆性气候。总耕地面积  $17.02\text{ 万 hm}^2$ , 人均拥有耕地  $0.44\text{ hm}^2$ 。水资源奇缺, 人均水资源占有量  $80\text{ m}^3$ , 仅占全省平均量的  $1/16$ , 全国平均量的  $1/27$ 。区内主要以结构松散的黄绵土为主, 地表植被覆盖率极低, 是全国水土流失最严重的地区之一。

## 2 研究方法

### 2.1 数据来源与处理软件

数据主要采用 1993 年(TM)、1999 年(ETM)及 2005 年(CBERS)三期遥感影像数据, 时相分别为 8 月、7 月和 6 月, 影像资料的分辨率为 TM 为  $30\text{ m}$ , ETM 为  $15\text{ m}$ , 其中中巴地球资源技术卫星(CBERS)是 2005 年 6 月 14 日采集的、轨道编号为 12-60 的 CCD 影像, 空间分辨率为  $19.5\text{ m}$ , 共 4 个波段, 分别对应蓝光、绿光、红光和近红外波段, 处理级别为 L2, 也就是经过了系统的大气校正和几何校正。辅助数据包括 1:5 万的地形图、1:3 万的定

西县水土保持现状图(2001 年)及实地考察数据。

数字图像处理软件 ERDAS IMAGINE 8.5 主要用于遥感图像的纠正与融合、解译与图像监督分类等处理<sup>[6]</sup>; MapGIS 6.7 用于地形图的矢量化及空间数据库建库; ArcGIS 9.2 用来生成坡度图及数据叠加分析。

### 2.2 植被信息与土壤侵蚀信息提取

2.2.1 植被覆盖度计算 目前估算植被覆盖度的方法主要有两种: 地表实测法和遥感监测法<sup>[7]</sup>。由于植被覆盖度有显著的时空分异特征, 所以基于离散点的地表实测法虽然可能在局部小区域测量时精度较高, 但推广到大范围时具有很大的不确定性。以定西市安定区为研究区域, 以混合像元分解模型为基础, 通过分析该区域的植被覆盖等级的空间分布, 对植被覆盖度调查的工作方法进行了一定的尝试和总结。采用 1993 年 TM 影像数据, 1999 年 ETM 影像数据和 2005 年中巴资源卫星(CBERS)影像数据, 将遥感影像的像元分解为植被信息和非植被信息两部分, 估算其中植被信息的比重, 即植被覆盖度。

植被指数 VI 是单位像元内的植被类型、覆盖形态、生长状况等的综合反映, 其大小取决于植被的叶面积指数 LAI(垂直密度)和植被覆盖度(水平密度)等要素。诸多经验模型证实植被覆盖度与植被指数 VI 之间存在密切关系。

在混合像元分解模型中, 植被信息可以用不同的植被指数来表示, 用于建立模型测量植被覆盖度的遥感植被指数有:  $NDVI$ 、 $RVI$ 、 $NDGI$ 、 $DVI$ 、 $SAVI$  等, 有关学者针对其区域适应性做了研究<sup>[8-9]</sup>, 目前认为估算植被覆盖度使用最广泛的植被指数是  $NDVI$ , 计算式如式(1)。

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R) \quad (1)$$

式中: NIR 和 R 分别代表多波段遥感数据的近红外波段和红光波段。

根据公式(1), 在 ERDAS 中, 利用空间建模工具 MODEL MAKER 建立模型, 得到研究区植被覆盖度图。再根据水利部部颁标准, 利用条件操作函数将其划分为 5 个等级( $\leq 30\%$ 、 $30\% \sim 45\%$ 、 $45\% \sim 60\%$ 、 $60\% \sim 75\%$ 、 $\geq 75\%$ )(附图 11, 表 1)。

2.2.2 土壤侵蚀强度分析 土壤侵蚀是一个缓慢的地质过程, 影响因子又非常繁多, 而且土地表面又覆盖着不同的植被, 因此, 采用一般的遥感方法难以直接确定土壤侵蚀的定量值, 因此, 严格的讲, 土壤侵蚀强度分级, 必须以年平均侵蚀模数为判别指标,

但在缺少实测及调查侵蚀模数资料时,可以在经过分析后,运用有关侵蚀因子的指标叠加分析后进行分级。在全国第二次土壤侵蚀调查中,其土壤侵蚀强度的分级主要通过植被覆盖度、坡度、植被结构、地表组成物质、海拔高度、地貌类型等间接指标进行综合分析而实现,这些间接指标可通过陆地卫星影像、地形图结合其他相关成果资料等判读分析而获取,然后在微机屏幕上根据综合分析的结果直接进行土壤侵蚀强度勾绘和制图。

表 1 安定区植被覆盖等级面积统计 km<sup>2</sup>

植被覆盖度/ %	1993 年	1999 年	2005 年
≤30	1762.08	61.33	803.58
30~ 45	1279.00	826.53	1540.33
45~ 60	453.75	1503.61	835.47
60~ 75	119.08	958.07	357.31
≥75	24.09	288.47	101.31
总计	3638.00	3638.00	3638.00

本文参照周为峰等在水利部颁布的土壤侵蚀分类分级标准基础上,在数据可获取的前提下,重点考虑代表植被因子、地形因子、地表特征参数的植被覆盖度、坡度和土地利用/土地覆盖 3 个指标<sup>[10]</sup>,建立研究区水土流失强度面蚀分级指标<sup>[11]</sup>。

将不同的水土流失等级对应于不同等级的植被覆盖度,同时根据研究区的实际情况,通过野外调查不同覆盖度的土地利用类型和分布状况在影像上的色调、形状、分布特性等方面的不同,按 ≤30%、30% ~ 45%、45% ~ 60%、60% ~ 75%、≥75% 的指标划

表 3 安定区生态安全评价指标数值

指标		1993 年	1999 年	2005 年
环境资源条件	人均耕地( hm <sup>2</sup> / 人)	0. 2749	0. 2553	0. 2407
	林草覆盖率/ %	13. 23	35. 56	34. 13
	平均降雨量/ mm	387. 6	442. 2	421. 4
	农用土地生产力/ hm <sup>2</sup>	1171. 85	1556. 79	1516. 19
社会经济水平	人均纯收入( 元/ 人)	561. 58	1180	1490. 02
	恩格尔系数/ %	0. 6147	0. 6672	0. 4824
	新能源占农村能源的比例/ %	0. 1	0. 3	0. 5
	人口密度/( 人· km <sup>-2</sup> )	102	110	113
	受教育程度( 高中生/ 万人)	84	108	158
	农业产投比/ %	5. 8208	10. 6989	9. 2620
	人均牲畜存栏量( 头/ 人)	0. 0279	0. 1987	0. 1968
生态平衡程度	粮食潜势实现率/ %	0. 100	0. 118	0. 143
	系统抗逆力/ %	0. 4838	0. 6796	0. 7307
	化肥施用程度/ ( kg· hm <sup>-2</sup> )	126. 1604	166. 1425	192. 3432
	梯田比例/ %	0. 4249	0. 4746	0. 5753
	土地利用结构/ %	0. 71759	0. 80635	0. 70857
	治理度/ %	0. 695	0. 665	0. 722
	土壤侵蚀模数/ ( t· km <sup>-2</sup> · a <sup>-1</sup> )	11577. 16	8822. 55	10572. 32

注: 部分数据来源于定西市水土保持科学研究所, 部分数据来源于《甘肃省水土保持统计资料汇编》及《定西年鉴》。

分了 5 个植被覆盖等级,并以此为依据来划分定西市安定区植被覆盖等级面积统计表(表 1)。然后,利用数字高程模型数据生成坡度图(附图 10)。最后,结合土壤侵蚀强度分级指标,将坡度图与土地类型图、植被覆盖度图空间叠加,判断和计算侵蚀强度等级,获得区域土壤侵蚀强度等级图(附图 12)和土壤侵蚀分级面积统计表(表 2),经计算得出定西市安定区 1993 年、1999 年、2005 年的土壤侵蚀模数分别为 11 577. 16, 8 822. 55, 10 572. 32 t/( km<sup>2</sup> · a)。

表 2 安定区土壤侵蚀分级面积统计 km<sup>2</sup>

侵蚀强度级别	1993 年	1999 年	2005 年
微度	66. 00	229. 84	114. 37
轻度	23. 13	59. 03	40. 09
中度	228. 96	706. 92	372. 35
强度	499. 70	1004. 67	661. 51
极强度	1245. 64	529. 00	1170. 45
剧烈	1574. 57	1108. 54	1279. 24

由数据生成的定西市安定区土壤侵蚀强度分级图清楚地显示:在 1993– 2005 年微度、中度、轻度和强度侵蚀面积有所增加,而剧烈侵蚀面积明显减少,表明各侵蚀等级在朝微度方向发展,水土流失状况趋于好转。从附图 12 中可以看出,2005 年强度侵蚀主要发生在北部地区。在查阅到的资料中也表明北部地区存在沟状侵蚀,陈芳等人的研究认为<sup>[7]</sup>,在北部高丘陵区和中部低丘陵沟壑区,由于生态工程实施区域较小,自然因素与人为破坏共同作用,导致坡面径流冲刷和水土流失加剧。

3 研究区生态安全评价

区域生态安全评价体系的建立应该充分体现出当地区域生态安全的现状与水平,特别是能够反映人类社会对生态安全的影响。根据定西市安定区的具体情况,从环境资源条件、社会经济水平和生态平衡程度状况 3 个方面,筛选了 18 项指标,分 3 个层次构建了定西市安定区生态安全的评价指标体系<sup>[12]</sup>。

文献统计资料与遥感影像所获取的 18 项评价指标数据如表 3,参照刘国彬等人的研究<sup>[13]</sup>,将生态健康指数分为恶性循环、脆弱、相对稳定、良好和良性循环 5 个等级。

采用最大离差法对指标进行无纲标准化处理。

对于效益型指标有:

$$y_{ij} = (x_{ij} - x_{jmin}) / (x_{jmax} - x_{jmin}) \tag{2}$$

对于成本型指标有:

$$y_{ij} = (x_{jmax} - x_{ij}) / (x_{jmax} - x_{jmin}) \tag{3}$$

式中:  $x_{ij}$  ——各指标的具体值;  $y_{ij}$  ——各指标的量化值;  $x_{jmax}, x_{jmin}$  ——指标  $I_j$  的最大值和最小值;  $i$  ——指标序列;  $j$  ——时间序列。

对各指标数值量化处理后得到定西市安定区 3 个时间段的生态安全评价指标量化值,发现效益型指标占绝大多数,并随时间的变化呈上升趋势,这也说明该区域的生态环境在逐步好转,呈良性循环态势。

采用均方差法确定指标层指标权重(表 4),计算步骤为:

求随即变量的均值

$$E(I_j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_{ij} \tag{4}$$

求  $I_j$  的均方差

$$\alpha(I_j) = \sqrt{\sum_{i=1}^n [y_{ij} - E(I_j)]^2} \tag{5}$$

指标  $I_j$  权重

$$w_j = \alpha(I_j) / \sum_{j=1}^m \alpha(I_j) \tag{6}$$

对于准则层指标权重,先采用多目标线性加权函数法确定指标量化值,计算式如式(7)。

$$C_k = \sum y_{ij} w_j \tag{7}$$

式中:  $C_k$  ——准则层指标量化值;  $y_{ij}$  ——指标层各指标量化值;  $w_j$  ——单项指标权重。

根据上述公式计算出量化值,同理运用均方差方法计算获取准则层指标权重  $w_i$ 。

并对各指标权重进行分析后可知,林草覆盖率、人均牲畜存栏量和土地利用结构 3 项指标的权重值最高,新能源占农村能源的比例、治理度和人均耕地

3 项指标的权重值最低,这表明增加梯田比例,加大治理力度,改善土地利用结构,增加粮食产量等措施的实施会对区域生态环境产生明显效果;准则层权重从大到小依次为生态平衡程度(0.361 1)、社会经济水平(0.330 5)和环境资源条件(0.308 4),表明改善研究区的生态平衡程度对提高区域生态安全健康最为有力,在生态平衡程度的 7 项指标中,梯田比例、治理度、土壤侵蚀量和土地利用结构经过长期的治理已基本稳定,只有通过施用有机肥料来提高粮食产量,增强系统抗逆力从而改善生态平衡程度。

表 4 安定区生态安全评价指标权重

目标层	准则层	指标层	权重
定西市安定区生态安全评价	环境	人均耕地	0.0537
	资源	林草覆盖率	0.0598
	条件	平均降雨量	0.0539
	0.3084	农用土地生产力	0.0587
		人均纯收入	0.0544
		恩格尔系数	0.0551
	社会	新能源占农村能源的比例	0.0534
	经济	人口密度	0.0552
	水平	受教育程度	0.0545
	0.3305	农业产投比	0.0549
		人均牲畜存栏量	0.0614
		粮食潜势实现率	0.0537
		系统抗逆力	0.0564
	生态	化肥施用程度	0.0538
	平衡	梯田比例	0.0544
	程度	土地利用结构	0.0591
	0.3611	治理度	0.0535
		土壤侵蚀模数	0.0541

最后,构建安定区生态安全评价模型——健康指数。其计算模型为:

$$R_H = \sum_{i=1}^3 (C_k w_i) \tag{8}$$

式中:  $R_H$  ——区域安全评价健康指数;  $w_i$  ——准则层指标权重。

经计算得定西市安定区不同年份健康指数值如表 5。

表 5 安定区健康指数及等级划分

年 份	1993 年	1999 年	2005 年
健康指数	0.0356	0.2161	0.2703
健康等级	恶性循环	脆弱	脆弱

从表 5 中可以看出,定西市安定区生态安全总体水平比较低(3 个时期的健康指数一直在恶性循环和脆弱两个等级水平)。健康指数经历了 1993 年的恶性循环,到 1999 年进入脆弱阶段,2005 年生态健康指数虽然达到了 0.270 3,但仍属脆弱级别。为此,区域生态环境治理工作任务艰巨,责任重大。可

喜的一点是健康指数随时间呈上升趋势,并从 1993—1999 年健康指数上升的幅度较大,增幅将近 510%,达到了 0.216 1,而 1999—2005 年上升减缓,为 25.1%,2005 年达到了 0.2703,虽然环境健康等级仍然处于脆弱阶段,但健康指数有明显上升,生态环境正向相对稳定方向发展。

## 4 结果讨论

研究的特色是利用地理信息系统和遥感作为土壤侵蚀评价模式的基础,以植被覆盖度和地形坡度及土地利用类型 3 个要素来评价土壤侵蚀,虽然获取影像时的数据不一致及时相有差别,但不影响总体上对研究区的分析,所以这种监测方法还是可行的。

从生态安全进行的变化程度分析发现,研究区生态环境质量整体呈上升趋势,但是区域生态环境治理工作任务仍然艰巨。研究中发现,1999 年定西市安定区的植被覆盖率是最高的(表 1),同时土壤侵蚀模数也是最小的(表 2),但健康指数却是 2005 年最高,这表明一个区域的生态环境状况受到多因素综合作用,关键性指标(权重值较高的指标)的大小会对整体结果产生一定影响,但不能简单的认为一两个指标会决定整个区域的生态环境状况,最后的结果应该是各项指标综合作用的结果。

安定区作为“三西”建设重点和全国八片水土保持治理重点,自 1984 年不断对其水土流失进行治理,至于在 1993 年起,植被覆盖度和土壤侵蚀模数呈现的此起彼伏的现象,缘由在于自然和人为因素共同作用下,生态环境系统中各要素都在发生变化,导致了区域生态环境系统的不平衡。人口的增长导致了对粮食、燃料、用材等的需求增加,促使人们不断地加大对自然资源的开发力度,城市建设用地和工矿用地占用耕地,随意的陡坡垦殖等,对环境的压力加大,这必然大大减少了当地的生物多样性,致使该区域的生态安全受到威胁。

### 参考文献:

[1] 喻锋,李晓兵,王宏,等.皇甫川流域土地利用变化与生态安全评价[J].地理学报,2006,61(6):645-653.

[2] 嵇昌芬,张国成.基于 GIS 的区域生态安全评价:以江苏徐州市为例[J].内江师范学院学报,2008,23(4):60-63.

[3] 嵇昌芬,张国成,胡召玲.基于 GIS 的徐州市生态安全评价[J].苏州科技学院学报:自然科学版,2008,25(2):49-53.

[4] 谢花林.基于 GIS 的典型农牧交错区土地利用生态安全评价[J].生态学杂志,2008,27(1):135-139.

[5] 邹秀萍,王毅,齐清文,等.基于 RS&GIS 的西双版纳生态安全评价[J].生态经济:学术版,2008(1):24-27.

[6] 汪明冲,潘竟虎,赵军.基于 GIS 与 RS 的土壤侵蚀变化定量监测:以黄土高原水土保持二期世行贷款庆城项目区为例[J].干旱地区农业研究,2007,25(6):116-121.

[7] 陈芳,魏怀东,丁峰,等.基于 NDVI 的黄土丘陵沟壑区退耕还林还草监测及效果评价:以定西市安定区为例[J].西北林学院学报,2008,23(1):50-53.

[8] 张云霞,李晓兵,张云飞.基于数字相机、ASTER 和 MODIS 影像综合测量植被盖度[J].植物生态学报,2007,31(5):842-849.

[9] 江洪,王钦敏,汪小钦.福建省长汀县植被覆盖度遥感动态监测研究[J].自然资源学报,2006,21(1):126-132.

[10] 吴炳方,罗治敏.基于遥感信息的流域生态系统健康评价:以大宁河流域为例[J].长江流域资源与环境,2007,16(1):102-106.

[11] 曾大林,李智广.第二次全国土壤侵蚀遥感调查工作的做法与思考[J].中国水土保持,2000(1):28-31.

[12] 李芬,王继军.黄土丘陵区纸坊沟流域近 70 年农业生态安全评价[J].生态学报,2008,28(5):2380-2388.

[13] 戴全厚,刘国彬,田均良,等.侵蚀环境小流域生态经济系统健康定量评价[J].生态学报,2006,26(7):2219-2228.