

黄土高原水土流失监测指标体系研究

高振纪<sup>1</sup>, 邬 伦<sup>1</sup>, 马修军<sup>2</sup>

(1. 北京大学遥感与地理信息系统研究所, 北京 100871; 2. 北京大学信息科学中心, 北京 100871)

摘 要: 黄土高原是我国水土流失最为严重的地区之一。通过建立水土流失监测指标体系, 可以为黄土高原水土流失监测提供统一的标准, 从而为控制该地区的水土流失服务。在分析黄土高原水土流失影响因素的基础上, 按照科学性、主导性、独立性和可操作性原则初步建立了水土流失监测指标体系, 水土流失监测指标体系包括三方面的内容: 水土流失影响因素, 水土流失状况和水土保持效益。

关键词: 指标体系; 水土流失; 黄土高原

中图分类号: S 157

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409( 2005) 04-0053-03

On Loess Plateau Water Loss and Soil Erosion Monitor Index System

GAO Zhen-ji<sup>1</sup>, WU Lun<sup>1</sup>, MA Xiu-jun<sup>2</sup>

(1. RS and GIS Research Institute of Peking University, Beijing 100871, China;

2. Information Science Research Institute of Peking University, Beijing 100871, China)

**Abstract:** Water loss and soil erosion monitor index system sets a standard for surveying and improving Loess Plateau soil conditions which are destructed seriously now. Based on the factors that influence the water loss and soil erosion in the Loess Plateau, a primary monitor system is founded according to the principle of being scientific, oriented, independent and pragmatic, furthermore, this system seek to analyze: water loess and soil erosion influence factors, water loss and soil erosion conditions and the efficiency of water and soil conservation.

**Key words:** index system; water loss and soil erosion; Loess Plateau

1 引 言

水土流失是一个全球性的生态环境问题。我国是水土流失最为严重的国家之一, 特别是位于黄河中游的黄土高原地区, 侵蚀十分严重, 多年平均输沙量达 16 亿t<sup>[1]</sup>。为了控制日益严重的水土流失, 必须弄清黄土高原的水土流失规律, 这就需要对水土流失进行长期系统的监测, 而建立水土流失指标体系是进行科学监测的基础。

虽然人们对水土流失及其治理进行了大量的观测和试验研究, 但是至今没有公认的水土流失监测指标体系规范, 有关水土流失方面的指标体系研究较少。胡良军<sup>[2]</sup>在黄土高原依据水土流失的影响因素建立了一套宏观尺度的水土流失定量评价指标体系, 初步确定了汛期降雨量、土壤团粒含量、沟壑密度、坡耕地比例、植被盖度等作为基于 GIS 的区域水土流失定量评价指标。马晓微等人<sup>[3]</sup>也根据影响水土流失的因素建立了水土流失定量指标体系, 确定以土壤抗冲性、降雨侵蚀力、地形起伏度等作为基于 GIS 的中国潜在水土流失评价的指标。上述都是有关水土流失评价指标体系的研究, 缺乏有关水土流失监测指标体系的研究。李锐等人<sup>[3]</sup>在分析水土流失动态监测与评价研究现状与问题的基础上, 认为当前急需解决的问题之一是建立水土流失监测与评价

指标体系。黄土高原具有水土流失面积分布广、类型复杂等特点, 更需要一个公认的水土流失监测指标体系进行水土流失监测, 以获得长期连续的、可靠的、标准水土流失和水土保持监测数据。可以看出黄土高原长期以来水土流失监测仍存在着一些急需解决的问题: 监测指标体系不完整; 监测方法缺乏统一的规范。本文目的是根据黄土高原的水土流失特点, 研究水土流失监测指标体系, 及各指标的测量规范, 为科学研究和生产实践提供理论依据。

2 黄土高原水土流失因素分析

从成因分析, 水土流失受自然因素和人为因素的综合影响。自然因素是水土流失发生和发展的内在条件, 主要有气候、现代构造运动、地形地貌、地面组成物质、植被等。人为因素包括人类活动对侵蚀的促进作用和抑制作用。不合理的土地利用方式如毁林毁草、滥垦滥牧、陡坡耕作、开矿修路等都是造成水土流失的人为原因; 同时, 各种水保措施又对水土流失起到了抑制作用。

2.1 自然因素

2.1.1 气候因素

在黄土高原, 雨滴击溅作用和因降雨产生的径流是最重要的土壤侵蚀动力。一般用降雨侵蚀力来表征降雨的侵蚀能

\* 收稿日期: 2005-04-26  
基金项目: 黄河水利委员会水土保持科学研究基金“黄土高原水土流失遥感关键技术与网络设计”资助  
作者简介: 高振纪(1972-), 男, 安徽人, 北京大学遥感与地理信息系统研究所在读博士生, 主要研究方向为地理信息系统方法与应用。

力。影响降雨侵蚀力的降雨特性包括降雨量、降雨强度、雨滴组成和雨型等<sup>[1]</sup>。年降雨量大,其侵蚀总能量也大,侵蚀可能因此加强。降雨强度是判别降雨侵蚀力的最重要指标,因为降雨动能与降雨强度成正比。雨滴和雨型是影响降雨侵蚀力的另外两个重要因素,雨滴直径越大,它对地面的打击力越强;而天然降雨的雨滴直径大小和雨型有关,对于黄土高原的雨型,雨滴大小组成是随雨强增大而增大,所以黄土高原的降雨强度越大,降雨侵蚀力就越大。有研究表明,一次降雨过程中的降雨特点和侵蚀的关系十分密切。同时,天然降雨的动能还受其它气候因素的影响,如气温和风等<sup>[1]</sup>。径流冲刷力取决于它的动能和势能<sup>[1]</sup>。水体动能的大小主要是随流量和水体含沙量多少而变。径流深越大,侵蚀越强。特大暴雨发生频率较高是黄土高原的突出特点,是侵蚀发生的最主要动力。除了上述的降雨和径流外,风、气温等也是影响黄土高原水土流失的气候要素。

2.1.2 现代构造运动

在黄土高原,现代构造运动是影响侵蚀地重要内力因素。现代构造运动积极上升地区,现代侵蚀比较活跃;现代构造运动以下沉为主的地区,侵蚀作用常以堆积代替。黄土高原是一个新构造运动间歇抬升地区,因此黄土高原侵蚀强烈的一个重要影响因素就是现代构造运动<sup>[1]</sup>。

2.1.3 地面组成物质

地面组成物质包括土壤和成土母质。土壤是侵蚀过程作用的对象,也是河流泥沙的主要物质来源。土壤本身的性质差异,通过影响入渗、地表阻力等,对侵蚀发生过程的强弱及其产沙量的多少有着极为重要的影响。可蚀性是地面物质对降雨径流侵蚀作用影响的体现,是土壤遭受侵蚀的敏感程度的反映。地面物质的可蚀性一般取决于它的渗透性和抗蚀性<sup>[1]</sup>。土壤的渗透能力是影响径流量大小的重要因素,土壤的渗透能力与多种因素有关,属于土壤本身的因素主要的有粒度、结构、孔隙度、有机质含量、土壤水分含量和团粒结构等。地面物质的抗蚀性取决于它的一系列物理化学性质,其中与粒度组成、颗粒的胶结程度、结构及其遇水后的变化特点等关系最为密切。对已经发育为土壤的地面组成物质的抗蚀性,除了与上述粒度、结构等因素有关外,还和有机质含量、根系含量、土壤水分含量、土地利用方式等多种因素有关<sup>[1]</sup>。

2.1.4 地貌因素

地貌是影响土壤侵蚀的重要下垫面因素。地貌的形态特征可以视为各种形状和坡度的斜面在空间上的组合。正是由于坡度、坡长和坡向的交互作用,使得坡面侵蚀规律十分复杂。坡度是地貌形态特征的主要要素,在黄土高原,水流侵蚀量随坡度加大而增加。而坡度陡峻是黄土高原的主要地貌特征之一。坡长是决定坡面能量沿程变化,影响坡面径流与水流产沙过程的重要地貌因素之一。坡向对土壤侵蚀的影响,主要是由两个方面的因素所引起的。首先,由于坡向的不同,坡面上接受的热量、水分不相同,这种差异越到高纬度地区越明显<sup>[1]</sup>;其次,在降雨过程中,不同坡向所承受的降雨量及雨滴终点速度也存在差异,这主要受降雨过程中风向的影响,但这种影响纯属地方性因素<sup>[1]</sup>。

2.1.5 植被因素

植被是抑制侵蚀的主要自然因子。植被的防蚀效能包括植物枝叶对降雨侵蚀力的削弱和调节径流、缓和洪水过程,降低径流冲刷力,以及植物根系固结土壤,改良土壤理化性

质,提高土壤抗蚀力等综合作用。植被的截留作用可以拦截雨滴,截留能力受植被种类、郁闭度等因素影响,除此之外还有降雨量、降雨强度、气温、风、降雨雨滴直径以及植被本身干燥程度有关。植被还对径流冲刷力有重要影响,同时植被通过对土壤物理化学性质的改善,改变了土壤抗蚀力和渗透性,从而间接的改变了侵蚀作用。

2.2 人为因素

人类通过积极和消极两个方面影响着自然侵蚀。黄土高原近几十年人为加速侵蚀作用的主要原因包括:陡坡耕垦面积增加;天然林地面积进一步缩小;过度放牧和滥肆薪樵;工矿、交通、水利、住宅和基本农田建设过程中不注意水土保持。为了改变严重的水土流失状况,黄土高原人民施行了各种水土保持措施,水土保持措施已成为控制土壤侵蚀的决定性因素。

3 水土流失监测指标体系的建立

3.1 水土流失监测指标体系建立的原则

从以上分析可以看出,影响水土流失的因子很复杂。因此,为确定黄土高原的水土流失监测指标体系,应遵循以下原则:(1)科学性原则。即所建立的指标体系应充分反映水土流失的机理,并能客观评价水土流失状况和水土保持措施的效益。(2)主导性原则。即指标体系中的指标应该反映主导性的因素。(3)独立性原则。各个指标之间应该相互独立,避免重复。(4)可操做性原则。即指标简单且可采集。

3.2 水土流失监测指标体系的内容

按照上述原则,水土流失监测指标体系包括三方面的内容:水土流失影响因素,水土流失状况,水土保持效益。水土流失影响因素分为:气候、地貌、地面组成物质、水土保持措施、径流泥沙及侵蚀量等;水土流失状况包括土壤侵蚀强度、径流量以及水土流失程度、分布及其危害等;水土保持效益包括实施的各类水土保持措施的控制水土流失效果。

3.2.1 气候指标

影响水土流失的气候指标包括降雨、积雪及其它气象要素。降雨可通过对降雨过程的记录获得,包括降雨量、降雨强度、降雨历时、雨滴组成和雨型等,降雨过程可用自记雨量计测得;积雪可通过积雪深度来表示,其它气象要素有风速、风向、气温、地温、冻土深度、空气湿度、水汽压、气压、日照时数等,这些指标均是常规气象参数,根据相关方法<sup>[2, 3]</sup>能较容易获得。

3.2.2 地面组成物质指标

地面组成物质包括土壤和成土母质。成土母质可用母质类型表示;影响水土流失的土壤指标有类型、厚度、比重、容重、质地、前期含水量、田间持水量、有机质含量、水稳性团粒含量、入渗率、饱和导水率、黏结力、表土结皮、地表糙度等,这些指标的测量可参考相关土壤试验书籍<sup>[4]</sup>。

表1 时间变化尺度度量符号

符 号	意 义	符 号	意 义
O	只在最初测一次;	M	一月一次
E	有发生则测	S	一季一次
C	不间断观测	R	有降雨则测
D	一天一次	Y	一年一次
X	一天两次	5	5年一次
W	两周一次	10	10年一次

表 2 黄土高原水土流失监测指标体系			
定量指标	定性指标	测量周期	测量方法
气候指标			
降雨过程(包括降雨量、降雨历时、降雨强度、最大 30 min 雨强)		E	自记雨量计
积雪深度		E	量尺
风速、风向		C	风向风速计
气温		C	自记温度计
蒸发量		D	蒸发皿
地面组成物质指标			
	母质类型	O	第四纪地质学分类
	土壤类型	O	标准土壤分类系统、中国土壤志
厚度		O	标准土壤分类系统、中国土壤志
比重		Y	比重瓶法
容重		W、R	环刀法、蜡封法
机械组成		Y	吸管法、比重计法
含水量		W、R	烘干法、红外线法、酒精燃烧法
田间持水量		Y	淹灌方框法、威尔科克斯法
有机质含量		Y	重铬酸钾法
团聚体组成		Y	人工筛分法、机械筛分法
饱和导水率		Y	渗透管法、渗透筒法、环刀法
黏结力		Y	黏结力仪
结皮厚度		Y	量尺
地貌指标			
坡度		O	罗盘、地形图
坡向		O	罗盘、地形图
坡长		O	量尺、地形图
海拔		O	GPS、高程表
沟谷密度		S	野外量测、遥感影像
水土保持措施指标			
	水平梯田	Y	有或无
	鱼鳞坑	Y	有或无
	隔坡梯田	Y	有或无
	水平阶	Y	有或无
	坡式梯田	Y	有或无
	淤地坝	Y	有或无
	水平沟	Y	有或无
	穴种	Y	有或无
	等高沟垄耕作	Y	有或无
	垄作区田	Y	有或无
	套犁沟播	Y	有或无
	等高带状间轮作	Y	有或无
	等高耕作	Y	有或无
	植被类型	Y	
	植被组成	Y	
植被盖度		F	目估法、照相法、遥感影像法
叶面积指数		F	实测法、照相法、遥感影像法
	地面覆盖物	F	实测法
根系密度		Y	大型挖掘剖面壁法、冲洗法
	轮作	Y	有或无
	间作	Y	有或无
	套种	Y	有或无
	混播	Y	有或无
径流泥沙指标			
径流深		E	水文把口站、小区径流桶
产沙量		E	水文把口站、小区径流桶

参考文献:

[ 1 ] 陈永宗,景可,蔡强国.黄土高原现代侵蚀与治理[ M ].北京:科学出版社,1988.

[ 2 ] 胡良军.基于GIS 的区域水土流失定量评价指标研究[J].水土保持通报,1998,18(5):24– 27.

[ 3 ] 马晓微,杨勤科.基于GIS 的中国潜在水土流失评价指标研究[J].水土保持通报,2001,21(2):41– 44.

[ 4 ] 李锐,杨勤科,赵永安.水土流失动态监测与评价研究现状与问题[J].中国水土保持,1999,(11):31– 33.

[ 5 ] 中国科学院南京土壤所.土壤理化分析[ M ].上海:上海科学技术出版社,1978.

[ 6 ] 陆中汉,陆长荣,王婉馨.实用气象手册[ M ].上海:上海辞书出版社,1984.

[ 7 ] 罗汉民,等.气候学[ M ].北京:气象出版社,1980.1– 63.

3. 2. 3 地貌指标

考虑的地貌指标主要有坡度、坡长、坡向、海拔和沟谷密度,前四个指标意义明确,也较容易获得,即通过罗盘、GPS 等常规地质工具测量;沟谷密度指单位面积上的沟道长度,以公里/平方公里表示。它实际上是反映一个地区被水道分割破碎的程度,是气候、地形、岩性、植被等因素的综合反映。沟谷密度越大,地面破碎程度就越高,因此陡坡地的面积比例增加,侵蚀强度就越强;不仅如此,沟谷密度还影响沟道输送泥沙的能力<sup>[1]</sup>。沟谷密度的测量可以采用实地测量方法或遥感与地理信息系统方法。

3. 2. 4 水土保持措施指标

水土保持措施可分为三大类:水土保持工程措施、水土保持耕作措施、水土保持生物林草措施。水土保持工程措施是水土保持综合治理措施的重要组成部分,是指通过改变小地形(如坡改梯等平整土地的措施),拦蓄地表径流,增加土壤降雨入渗,改善农业生产条件,充分利用光、温、水土资源,建立良性生态环境,减少或防止土壤侵蚀,合理开发、利用水土资源而采取的措施。水土保持耕作措施是以保水保土保肥为主要目的,以提高农业生产为宗旨,以犁、锄、耙等为耕(整)地农具所采取的措施。水土保持生物林草措施是指在水土流失区植树造林种草,提高森林覆盖率、增加地表覆盖,保护地表土壤免遭雨滴直接打击,拦蓄径流,涵养水源,调节河川、湖泊和水库的水文状况,防止土壤侵蚀,改良土壤,改善生态环境,为此目的而采取的措施称为水土保持生物林草措施(中华人民共和国国家标准 2000)。

水土保持工程措施指标包括水平梯田、鱼鳞坑、隔坡梯田、水平阶、坡式梯田、淤地坝等;水土保持耕作措施指标包括水平沟、穴种、等高沟垄耕作、垄作区田、套犁沟播、等高带状间轮作、等高耕作等;水土保持生物林草措施指标指标包括植被类型、植被组成、郁闭度、植被盖度、叶面积指数、地面覆盖物(包括植物残体、及人工覆盖的麦草、木屑、砾石等)、根系密度,对于农作物而言还包括轮作(倒茬)间作、套种和混播。

3. 2. 5 径流泥沙指标

在黄土高原,因降雨产生的径流也是主要的土壤侵蚀动力之一,同时径流以及泥沙都是反映侵蚀程度的主要指标。径流指标可以用径流深表示,可以利用量水堰、小区径流桶等方法获得,泥沙可以根据径流中的泥沙含量和径流量计算得到,泥沙含量的获得是根据取样方法获得。

4 结 论

依据水土流失监测指标建立的原则以及对具体的水土流失影响因子的分析、筛选,最后选出一些较重要的参数和因子作为黄土高原水土流失监测指标的参考指标。见表1 和表2。