

基于 GIS 的土壤水蚀预报能量力学模型研究

李天文¹, 袁勘省¹, 许五弟²

(1. 西北大学 城市与资源学系, 陕西 西安 710069; 2. 西安建筑科技大学, 陕西 西安 710054)

摘要: 以能量力学原理作指导, 地理信息系统技术作支持, 通过对土壤侵蚀影响因子的综合作用过程与机理分析, 构建土壤水蚀预报的能量力学模型, 并在水蚀区通过典型小区和小流域试验予以完善。此研究对土壤侵蚀预报、水土保持与土地利用规划、生态恢复与重建等重大课题均有重要理论与实践意义, 并能推动地理学的定量化、信息化与现代化进程。

关键词: 土壤水蚀预报; 能量力学模型; GIS 应用

文献标识码: A

文章编号: 1000—288X (2004) 05—0014—05

中图分类号: S157

Soil Erosion Prediction and Energy Exchange Modeling Using GIS

L I T i a n w e n¹, Y U A N K a n - s h e n g¹, X U W u - d i²

(1. *Urban and Resource Department, Northwest University, Xi'an 710069, Shaanxi Province, China;*

2. Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710054, Shaanxi Province, China)

Abstract: An energy exchange model for soil erosion prediction has been developed around soil synthesis functions and soil erosion process factors. Model development was based on energy exchange principles and geographical information system (GIS) applications. This research is of theoretical and applied significance to soil erosion prediction, soil and water conservation, soil management, soil biodiversity management and the advancement of geographical principles.

Keywords: soil erosion prediction; energy exchange model; GIS application

土壤侵蚀的影响因素很多, 有气候水文、地质地貌、土壤植被及人类自身影响等。各因素对土壤侵蚀的作用及它们之间的关系又极其复杂, 致使研究难度增大, 一直未见理想的数学模型出现, 影响了土壤侵蚀的科学预报。

本文试图从能量力学原理出发, 构建一种能与现代地理学研究手段——地理信息系统(GIS)相结合, 可快速准确计算出侵蚀量的数学模型, 并通过实验加以检验。在现有研究基础上^[1], 建立并完善土壤水蚀预报的能量力学模型与应用方法体系, 为我国西部开发和水蚀区经济发展进行动态规划与现代管理提供科学依据和技术方法。

土壤侵蚀预报模型作为了解土壤侵蚀过程与强度, 掌握水土资源质量动态, 指导合理利用水土资源, 管理和维持人类长期生存环境的重要技术工具, 受到各国政府的普遍重视^[3—8]。

美国是第一个应用数学模型定量估算土壤流失量的国家, 20 世纪 50 年代就开发了一套统计分析的通用土壤流失方程(U S L E)^[7], 得到各国的普遍使

用。为使计算更加准确, 后来还对 U S L E 模型进行了改进, 改进后的模型叫 R U S L E 模型 (Revised Universal Soil Loss Equation), 于 1997 年完成。此模型仍属经验 II 型土壤侵蚀预报模型, 用于预报长时间尺度、一定种植和管理体系下、坡耕地径流所产生的多年平均土壤流失量, 也可预报草地土壤流失量。在美国, R U S L E 将代替 U S L E 用于农耕地、草地、林地和建设用地的土壤流失预报^[9]。

1986 年美国的 4 家政府部门 (农业部农业研究局、土壤保持局、林业局、内政部土地管理局) 签署了为期 10 a 的开发新一代土壤侵蚀模型的项目——水蚀预报项目 (Water Erosion Prediction Project 简称 W E P P)。1995 年 W E P P 正式发表, 包括坡面版和流域版 2 个版本^[10—12]。

除了上述美国 2 个模型外, 欧美许多学者在非洲和欧洲还建立了许多坡面或流域的不同预报模型, 例如: C R E M S 模型^[13] (Chemical Runoff and Erosion Form Agricultural Management Systems) 是一个用于评价农田管理系统不同耕作方式对水质影响的模

收稿日期: 2004-04-18

资助项目: 陕西省教育厅专项科研计划项目资助 (00JK149); 陕西省重大科研计划项目资助 (2003K12-G5);

国家自然科学基金项目资助 (40271089)

作者简介: 李天文 (1959—), 男 (汉族), 陕西户县人, 副教授。现从事 GPS、GIS 地学应用研究。电话 (029) 88363101, E-mail: tianwenli@126.com。

型; ANSWERS 模型^[14] (A real Non-point Source Watershed Environment Response Simulation) 是一个分布式侵蚀模型, 用于模拟土地利用方式以农田为主的流域侵蚀行为; AGNPS 模型^[15] (Agricultural Non-point Source Pollution Model) 是一个分布式网络参数模型, 用于模拟单次降雨事件; EUROSEM 模型^[16] (The European Soil Erosion Model) 是一个单次降雨事件的过程模型, 代表当今欧洲土壤侵蚀研究水平; LISEM 模型^[17] (Limburg Soil Erosion Model) 是一个基于过程的流域水文和土壤侵蚀的模型, 它能模拟流域内单次暴雨径流和土壤侵蚀与输沙过程, 可用于土地利用和水土保持规划。这一模型与GIS完全可以结合^[3]。此外还有MMF^[18] (Morgan R P C, et al) 模型、SPM 模型^[19] (Simplified Process Model)、KYERMO 模型^[20]、SLOP 3D 模型^[21]等, 都是近期有一定物理基础的土壤侵蚀产沙模型。这些模型都属于新一代的土壤侵蚀预报模型, 不同于通用土壤流失方程USLE模型。

我国对土壤侵蚀预报的模型研究与应用向来比较重视^[4]。解放后经过初创、起伏发展和创新发展3个阶段, 通过建立一批径流小区和实验场(站)及典型小流域的实验, 取得了大量的野外实测资料, 同时自制和进口了一些室内实验设备, 通过先进装置人工模拟降雨等, 也采集了许多实验观测数据, 为模型研究打下了良好的基础。但是前期的试验都是在美国通用土壤流失方程(USLE)的基础上做了一些应用方面的统计分析方法研究^[21-28]。这期间也有人用GIS进行小流域产沙量计算, 但也是对USLE或LISEM模型的应用方面的研究^[3]。近期人们重视了从动力学角度进行研究, 但多从单因素作用与土壤侵蚀的关系方面探讨, 如地形坡度与土壤侵蚀的关系^[29-31]; 土壤的可蚀性与土壤侵蚀的关系; 降雨与土壤侵蚀的关系^[32-34], 植被状况与土壤侵蚀的关系^[35-36]等。从动力学角度对多因子综合作用土壤侵蚀产沙模型研究的并不多见, 而且也是很不完善和成熟。国内外可以说包括美国在内目前都是如此。

在分析国内外研究基础上, 我们提出了按能量力学原理从综合角度考虑建模的指导思想: 认为动力是土壤侵蚀的直接原因, 植被、地形和土壤特性等因子通过对土壤侵蚀的动力改变来影响土壤的侵蚀过程。除动力以外其它所有的因子, 都为侵蚀的环境条件, 均可以归结为某种程度的力学作用之中, 从而可以按照力学原理, 建立真正符合动力学理论的土壤侵蚀的过程模型^[1]。

1 水蚀能量力学的机理与模型构建

1.1 水蚀过程的能量力学机理与理论分析

(1) 按牛顿力学第一定律(惯性定律), 没有外力作用, 物体将继续保持其原来的运动状态。土壤侵蚀是土壤和水分的空间位置改变过程, 如果没有外界的动力作用, 水土流失是不会发生的。因此, 土壤侵蚀是一个动力学过程。

(2) 在水力侵蚀区中, 水流是动力的物质源, 重力是能量源。水和重力构成了土壤侵蚀的外动力。

(3) 水流来源于大气降水, 大气降水在地表分化成地表径流、蒸发、渗透(成为地下水)等, 水分变化服从水量平衡方程。由此水流量可以被确定。

(4) 土壤侵蚀的动力变化受机械能制约, 机械能服从能量平衡和转化方程。在土壤侵蚀过程中, 水土流从高势能处流向低势能处, 势能转化为动能, 动能通过侵蚀土壤进行能量耗散, 所以能量变化可以通过能量平衡方程计算出来。

(5) 植被、地形和土壤特性因素的作用是通过対土壤侵蚀过程中力的影响(阻碍和增强)来影响土壤侵蚀的, 具体是对其中物质(水分和土壤)及动能的作用来影响水土流动能。

(6) 水土流中的土壤是动力的一个组成部分, 土壤侵蚀受能量平衡的制约, 在水流量确定后, 通过模型就可以计算土壤的侵蚀量(水土流变化总量减去水流量即可)。

关于土壤水力侵蚀能量力学机理的理论分析, 已有学者进行了系统总结和论述^[2]。

1.2 土壤侵蚀能量力学模型构建

(1) 首先构建水量平衡方程。对于一个地表最小均质单元, 水量变化服从水量平衡方程, 即有:

$$\text{降水} + \text{流入} + \text{渗入(上渗)} = \text{蒸发} + \text{流出} + \text{下渗} + \text{存集}$$

在单次暴雨过程中, 蒸发和上渗可忽略, 则公式可简化。按前人已建立的暴雨降水函数和下渗函数代入; 在相对最高单元处无水土流入, 从而可计算其流出量, 其它单元可通过单元间关系递推算水土流入和流出量。

(2) 其次构建能量平衡方程。在均质单元内有水土流入动能、降水(雨滴)动能、水土流出动能、势能转化的动能和动能耗散的能量, 其中动能耗散包括静摩擦耗能和动摩擦耗能。可建立能量平衡方程式:

$$\text{流入动能} + \text{降水动能} + \text{势能转化动能} = \text{流出动能} + \text{静摩擦耗能} + \text{动摩擦耗能}$$

(3) 求解平衡方程, 构建侵蚀模型。物质是能量的载体, 在土壤侵蚀过程中, 能量的每一个部分都有物质参与, 即水和土, 通过水量平衡可以计算能量体

系中的水量,通过能量和水量平衡可以计算参与能量体系中的土壤,即水土流中的土壤量(水土流变化总量减去水量),也就是要求的土壤侵蚀量。

(4) 基本模型公式及其符号与含义(公式推导过程见参考文献[1])。本模型基本公式如下:

$$m = M_1 \frac{2g\Delta H \frac{\sin\beta}{\sin\alpha} + 2\mu g\Delta H \operatorname{ctg}\alpha + V_2^2 - V_1^2}{2g\Delta H - g\Delta H \frac{\sin\beta}{\sin\alpha} - \mu g\Delta H \operatorname{ctg}\alpha - V_2^2} - Q$$

式中: m ——水土流中的土壤变化量,即土壤的侵蚀量(t/km^2); M_1 ——流入均质最小单元内的水土流质量,是一待求函数; H ——均质最小单元的高差(m); V_1 ——流入均质最小单元的水土流速度(m/s); V_2 ——流出均质最小单元的水土流速度(m/s); G ——重力加速度(m/s^2),小范围可看作常量; α ——单元的坡度($^\circ$); β ——水土流的运动休止角($^\circ$); μ ——水土流的动摩擦系数,是个待求的常量; Q ——单元的水分变化量,即产流量(m^3),是个待定函数。

1.3 基于 GIS 的水蚀预报能量力学模型应用

本模型的应用主要是在于确定参数。公式中参变量共 9 个,其中一个为重力加速度为常数 g ,其余几个变量有的(如坡度 α 、高差 H 等)可通过 GIS 数字高程模型(DEM)来确定。运动休止角 β 、动摩擦系数 μ 、产流量 Q 和流入均质最小单元的水土流质量 M_1 ,需要通过建立数学方程式计算而得,或采用实测与统计分析的计算数据;流入与流出速度 V_1 和 V_2 可用力学分析与实测办法得到。从而可以计算出土壤侵蚀量 m 。它的验证是指采用本模型在典型小区计算出来的数据和统计计算或实测的数据比较分析,找出产生误差的原因,并通过修正参数再推广应用到小流域和其它同类型地区去。

(1) 先通过 GIS 把地面实验小区划分成物质结构均一的许多最小单元块(一般用栅格小方块),根据模型确定和计算出每个单元块的参数值和侵蚀量;

(2) 然后按流径进行全流域覆盖计算,确定流域土壤侵蚀总量;

(3) 最后再将验证过的模型,应用到另一个流域中计算并分析。

1.4 研究内容

1.4.1 已提出的 3 个新理论研究

(1) 侵蚀平衡理论。土壤侵蚀的动能可分为土体分解耗费的动能和土粒搬运所耗费的动能。动能来源是物质势能转化的动能和输入系统的运动物质和能量产生的动能,土壤侵蚀时,动能分解为疏松土壤的动能部分和搬运土壤的动能部分。对于一定的输入,

分配到 2 方面的动能大小不同,形成不同的土壤侵蚀结果。

土壤侵蚀强度主要由土壤搬移量决定。土壤分解是搬移的前提,设分解量为 M_F ,搬移量为 M_Y ,如果 $M_F > M_Y$,则土壤侵蚀强度由搬移量决定,即土壤侵蚀强度与搬移耗能存在着函数关系。由于不能有 $M_F < M_Y$,所以当 $M_F = M_Y$,侵蚀强度由分解量决定。虽然两者是等式关系,但作为土壤侵蚀分析计算时,土壤侵蚀强度与分解耗能有函数关系而与搬移耗能关系不明确。

由于动能的 2 个方面分解由环境条件(坡度、土壤特性等)所决定,从能量平衡观点看,当 $M_F = M_Y$ 时,侵蚀作用效果最大,侵蚀强度也最大。该点可视为侵蚀平衡点。研究侵蚀平衡点的环境条件,对建立具体模型和确定参数,对土壤侵蚀治理等都有一定的指导作用。

(2) 最大梯度理论。从势能到动能的转化由地形坡度制约,据力学原理,势能向动能的转换总是采取最高效的途径。从坡面运动来看,物体运动从相对高处到相对低处的运行路径总是采取最短路径,也就是最大梯度方向。在土壤侵蚀过程中,水流按最大梯度方向进行势能向动能转换,这是最大梯度理论。

最大梯度理论在土壤水蚀过程中的实际意义是:从地表面蚀到细沟侵蚀的转换过程由地面的最大梯度坡度决定。在研究和实践中,可以依据此理论识别地表土壤侵蚀的类型和预测侵蚀发展方向,为针对性的水蚀治理提供依据。

(3) 水流侵蚀力理论。土壤为水流所搬运,水流的挟沙力是土壤侵蚀研究的间接的但可从数量角度把握的一个重要方面。按流体力学观点,水流的挟沙力由一定的条件限制,一定条件下水流的最大挟沙力是一定的。当水流挟沙达到饱和状态时,水流不再对地表进行侵蚀;反之,就要通过对地表侵蚀来增加水流含沙量。一定条件下水流饱和持沙量与实际持沙量的差,就是水流的侵蚀力。

水流侵蚀力概念的实际意义是:水流速度和流量是可以观测或者可以推算的,其变化过程也可以在一定程度上进行分析和计算,从而可以推算出土壤侵蚀强度和土壤侵蚀量,把土壤水蚀研究纳入力学分析与数学计算的轨道。

1.4.2 模型参数的数学表达式研究 此项研究包括:(1) 运动休止角 β 的数学表达式研究;(2) 动摩擦系数 μ 的数学表达式研究;(3) 单元产流量 Q 的数学表达式研究;(4) 流入单元的水土流质量 M_1 的数学表达式研究。

1.4.3 模型验证与应用的研究 包括: (1) 模型及其参数表达式的程序编制; (2) 应用RS, GPS技术采集实验样区实测资料, 收集与分析整理; (3) 实验区数据库建立与DEM的生成实验研究; (4) 应用GIS提取或求解模型参数的过程与方法研究; (5) 模型运算结果与实测统计资料分析比较研究; (6) 反复修正参数, 以确定其最佳适合参数值的实验研究; (7) 小区试验到小流域推广应用的问题研究。

2 模型应用中的几个关键问题

2.1 模型完善和参数确定

基本模型完成后, 还不能直接应用。在什么地方应用, 还得求取适合于该地区的参数值。由于影响土壤侵蚀因素的多样性和多变性与侵蚀情况的复杂性, 一般来说参数值也是不确定的, 这就要求将其与实际观测资料相结合, 认真分析处理。例如, 虽然可用水量平衡方程推导出产沙量 Q 的一般函数式为 $Q = \int T_0 l(t) dt$, 但实际上 Q 仍是一个变量函数, 是随降水和时间变化(即从 $t = T$)的地表蓄水强度 $l(t)$ 的函数, 它也有多种多样的数学表达形式, 在使用时仍然要根据所采用的具体形式来确定它的各项参数值。

2.2 制定GIS应用标准范式

为了模型使用的方便性和规范化, 必须研究制定模型的GIS应用范式。如果能对模型的使用条件加以严格限制, 并给出相应合适的参数值, 这将会给计算工作带来极大的方便, 自然就会产生很大的经济效益, 为使模型在我国的推广应用具有坚实的基础和可能, 就必须使用统一范式。因此, 制定出GIS应用的操作范式, 必然成为本项研究的另一个关键。

2.3 研究方法

(1) 在模型研究上, 依据能量力学的原理, 采用逻辑推理建模方法, 并且与典型小区长期实测资料相结合进行分析比较研究。例如在模型参数的确定上结合水文站或水土保持站观测结果分析比较加以确定。通过理论探讨与实证研究相结合的研究方法, 验证和分析GIS应用模型的正确性和实用性是GIS模型研究的通用方法。

(2) 在模型应用上采用地理模型程序化和地理信息数量化相结合的方法进行计算和分析, 同时应用软件工程方法进行程序设计、编码、调试与建档, 应用最新的GIS软件技术, 建立水蚀预报模型的分析和应用平台。

2.4 研究步骤

(1) 在模型的创新与完善上, 对每个参数先从分

析的角度找出其影响因子, 再从综合的角度构造函数关系, 然后用确定的数据代入, 计算后再分析检查哪一个因子存在问题, 再加以调整; 另外, 在整个模型的GIS应用上, 也是先分最小均质单元块计算, 再到小流域计算, 最后再回过头来分析找出存在的问题和不足, 只有这样反复进行才能逐步完善系统模型, 探讨其GIS应用的具体条件和实施的可能性。

(2) 在系统模型的程序编制和GIS建库与应用操作实施上, 要遵从信息系统工程开发的技术路线和程序进行。即从计划与分析 设计和编码 测试与完善, 采用全新的时空数据结构与数据模型、面向对象的GIS软件开发的方法和技术进行。编制出好的分析应用程序, 是应用GIS进行土壤侵蚀预报实验研究的有力保证。

2.5 实验工作流程

(1) 模型计算。最小均质单元计算 小流域计算 模型完成, 即参数确定; (2) 模型验证。用完成确定的模型对另一个小流域进行模型核证; (3) 模型计算应用。任意区域, 任一次暴雨的土壤侵蚀预报计算应用; (4) 模型分析应用。土壤侵蚀机理/规律的分析, GIS动态模拟与实地对照观察。

2.6 实验方案

2.6.1 样区选定 以模型实验需要为原则选定好实验样区, 最好选2个完整的小流域, 且其过去是水保工作的典型样区, 有着长期的实测和天文观测资料, 前人已系统做过野外实验和室内的分析研究工作, 资料积累较好, 用新模型新方法计算后, 便于分析比较和成果评价。

2.6.2 资料数据收集 拟收集样区的如下资料和数据: 1:10000~1:50000地形图、土地利用现状图、土壤图、降雨与径流观测资料(注意序列齐全)、航空照片等。并赴实地踏勘调查, 现势修正。

2.6.3 GIS系统设计 按GIS原理, 根据样区特点和实验要求设计实验方案和实施计划。即利用现代高新技术手段, 建造室内数字模拟实验样地, 以便把野外样区缩小搬到室内实验室里, 作为实验研究的物质基础, 实施科学的全数字式的模型模拟研究。

2.6.4 建立实验区土壤侵蚀GIS系统 系统建库, 并赴实地踏勘调查, 现势修改, 以高配置微机和配套的输入输出设备为硬件, 已有国产或进口GIS软件为开发平台, 建立实验区土壤侵蚀数据库, 包括基础图形库、数字高程模型库(DEM)、专题图形库及其属性库、影像库等。

2.6.5 模型编程与分析应用 在建立的GIS系统上, 应用本模型编程, 开发出专用于土壤水蚀分析应

用的程序模块,并反复修改完善,以设计建造的数据库为基础,实施模型的系统分析与验证和实验区由小到大、由此及彼地逐步应用。

3 结 语

从多因子综合分析的角度构建土壤水蚀的能量动力学模型,国外不多,国内也只有作者导出了基本模型公式,把诸多单因子分析成果从系统性、整体性、综合性与层次性上按能量与动力学原理加以组织,抓住了土壤侵蚀的实质与规律,解决了土壤侵蚀预报中定量计算的难题,应用这一表达公式,使土壤侵蚀的复杂性变得既简单化又科学化。

本模型的最大特点是完全可以与 GIS 技术相结合,这对建立土壤水蚀预报的快速反应系统是十分必要的,使用 GIS 进行地学研究,已是发展趋势。模型模拟的 GIS 应用是地球科学发展的要求,是解决综合性复杂地学问题的必要手段和途径。

由于本模型的计算是基于最小均质单元与能量力学原理,所以本模型可以应用到任意区域而不限流域,因为它的最小均质单元可以小到点。利用单元块大小不同其精度不同的特点,可通过概算或精算,实现概略预报与精确预报。

侵蚀与沉积是土壤水蚀的 2 个方面,通过本模型不仅可以计算土壤侵蚀量,也可以计算土壤沉积量,这有助于研究发现土壤水蚀的时空分布规律,解决区域内的土壤侵蚀问题,因而是一个真正的动态过程模型,值得人们进一步深入研究。

[参 考 文 献]

- [1] 袁勤省,许五弟,等. 土壤侵蚀的能量力学模型研究[J]. 地理学与国土研究, 1999, 15(4): 64—69.
- [2] 许五弟,袁勤省,等. 土壤水力侵蚀能量力学机理的理论分析[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2001, 31(2): 175—178.
- [3] 史培军,刘宝元,张科利,等. 土壤侵蚀过程与模型研究[J]. 资源科学, 1999, 21(5): 9—18.
- [4] 胡世雄,靳长兴. 坡面动力侵蚀过程的实验研究进展[J]. 地理科学进展, 1999, 18(2): 103—110.
- [5] 哈德逊 N W 著, 奚葆璋译. 土壤保持[M]. 北京: 科学出版社, 1975.
- [6] M. 霍利著, 余新晓, 等译. 侵蚀与环境[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1987.
- [7] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains - Guide for selection of Practices for soil erosion and water conservation. Agricultural Handbook, 1965.
- [8] 贾天松. 土壤流失量估算方法简评[J]. 水土保持学报, 1990, 4(4): 84—88.
- [9] 刘宝元, 谢云, 张科利. 土壤侵蚀预报模型[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2001.
- [10] Flanagan D C, Nearing M A, Laflen J M. USDA - Water Erosion Prediction Project: Hillslope Profile and Watershed Model Documentation [R]. NSERL Report No. 10. USDA - ARS National Soil Erosion Research Laboratory, West Lafayette, 1995.
- [11] Nearing M A, Foster G R, Lane L J, Finkler S C. A Process-Based Soil Erosion Model for USDA, Water Erosion Prediction Project Technology [J]. Transaction of the ASA E. 1989, 32(5): 1587—1593.
- [12] 刘宝元, 史培军. WEPP 水蚀预报流域模型[J]. 水土保持通报, 1998, 18(5): 6—12.
- [13] Knisel W G. CREAM S: A Field-scale Models for Chemical Runoff and Erosion from Agricultural Management System [R]. Washington D C: Report No. 26. 1980. USDA.
- [14] Beasley D B, Huggins L F, Monke E J. ANSWERS: A Model for watershed Planning [J]. Transaction of the ASA E, 1980, 23: 938—944.
- [15] Young R A, Onstad C A, Bosch D D, Anderson W P. AGNPS: A Nonpoint- Source Pollutin- Model for Evaluating Agricultural Watershed [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1989, 44: 168—173.
- [16] Morgon R P C, Quinton J N, Rickson R J. EUROSEM Documentation Manual [M]. Silsoe College, Silsoe June 1992.
- [17] De Roo R P J, Wesseling C G, Cremers N H D T, Olfemans R J E. LISEM: a New physically-based Hydrological and Soil Erosion Model in a GIS environment [J]. Technology and Implementation IAHS Publ. NO. 244: 339—448.
- [18] Morgan R P C, Morgan D D V, Finney H J. A Predictive model for the assessment of soil erosion risk [J]. J. Agr. Eng Res. 1984, 30: 245—253.
- [19] Hartley D M. Simplified process model for water sediment yield from Single storms Part I- Model formulation [J]. Trans ASA E. 1987, 30: 710—717.
- [20] Hirschi M C, Barfield B J. KYERMO - A Physically based research erosion model, Part I, Model development [J]. Transaction ASA E. 1988, 31: 804—813.
- [21] Ahnert F. Approaches to dynamic equilibrium in theoretical simulations of slope development [J]. Earth Surf. Prac Land f, 1987, 13: 3—15.

库淤积程度进行了比值处理。流域空间对比结果显示, 4 个流域内的上游河段水库淤积程度比中下游水库淤积程度大, 或中上游水库淤积程度比下游水库淤积程度大。在所统计的 4 个流域中, 有 3 个流域的上游水库淤积程度与中、下游水库淤积程度比值均在 1.5 以上, 仅内夹河流域小于 1 (见表 4)。

表 4 流域空间水库淤积程度对比

流域名称	水库名称	位置	高程/ m	淤积 级别	上下游 淤积比值
大沽河流域	招远市城子	上游	130	II	—
	招远勾山	上游	120	II	—
	青岛产芝	中游	70	I	1.943
内夹河流域	栖霞庵里	上游	120	I	—
	福山门楼	下游	40	II	0.519
漩河—蚬河流域	栖霞龙门口	上游	130	III	—
	莱阳沐浴	中游	100	I	15.071
小沽河流域	莱州庙埠河	上游	170	III	—
	莱州涝场	上游	190	II	—
	青岛北墅	中游	120	II	7.701

7 结 论

烟台市中西部及邻区水库淤积在卫星 TM 图像上反映明显, 识别标志清晰。库尾三角洲主要淤积体的主体部分, 可以采用 TM-4 图像通过灰度切片进行信息提取。基于建立的 2 种水库淤积模型, 通过图像分析获得的不同水库之间相对淤积程度与水库淤积实测值对照, 尤其是与兴利库容以下淤积量对照, 两种数据源所获水库淤积程度存在良好的协同性, 这对全区宏观水库资源与环境管理具有一定实践意义和

参考价值。其中, 临潼水库、庙埠水库、龙门口水库、盘石水库的淤积较严重, 应引起有关部门重视。流域空间上, 表现为上游水库淤积程度大于中、下游水库。据此, 应加强流域上游的水土保持, 减少上游汇水区的水土流失, 并把流域水土保持与水库资源及环境管理纳入到区域整体工作之中。

[参 考 文 献]

- [1] 姜乃森, 傅玲燕. 中国的水库泥沙淤积问题[J]. 湖泊科学, 1997, 9(1): 1—8.
- [2] 闫铁奎, 许鹏. 数字化测图在清河水库淤积测量中的应用[J]. 工程勘察, 2000(6): 52—54.
- [3] 刘士和, 周祖俊. 柘溪水库淤积测量及库容关系曲线修正研究[J]. 武汉水利电力大学学报, 2000, 33(4): 21—24.
- [4] 施修端, 夏薇. 洞庭湖冲淤变化分析(1956—1995)[J]. 湖泊科学, 1999, 11(3): 199—205.
- [5] 林襟江, 陈树群. 台湾地区水库集水区土地利用对水库淤积之影响[J]. 水土保持研究, 1999, 6(3): 72—79.
- [6] 徐进, 沈改莲. 利用水库淤积量确定全垦造林土壤侵蚀模数方法的探讨[J]. 山西水土保持科技, 1994(1): 18—19.
- [7] 卜兆宏, 孙金庄, 董勤瑞, 等. 应用水土流失定量遥感方法监测山东全省山丘区的研究[J]. 土壤学报, 1999, 36(1): 1—8.
- [8] 郑召平, 王凤鸣, 李丽华. 山东省大中型水库泥沙淤积量预测[J]. 海洋湖沼通报, 1996(3): 13—18.
- [9] 万发贵, 柳健, 文灏. 遥感图像数字处理. 武汉: 华中理工大学出版社, 1991. 161—164. 112—113.
- [10] 陈惠源, 万俊主编. 水资源开发利用[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2001. 21—22.
- [11] (上接第 18 页)
- [22] 陈永宝, 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.
- [23] 王乃斌, 沈洪泉, 赵存兴等. 黄土高原地区资源与环境遥感调查和系列制图研究[M]. 地震出版社, 1992. 87—90.
- [24] 马俊杰, 袁勘省. 陕西中部黄土山、梁和塬地的土壤侵蚀回归分析[J]. 水土保持学报, 1990, 4(4): 21—28.
- [25] 袁勘省, 马俊杰. 关中中东部地区土壤侵蚀评判研究[J]. 西北大学学报(自然科学版), 1997, 27(5): 431—436.
- [26] 张平仓, 唐克丽, 郑粉莉等. 皇甫川流域泥沙来源及其数量分析[J]. 水土保持学报, 1990, 4(4): 29—36.
- [27] 金争平, 赵焕勋. 皇甫川小流域土壤侵蚀预报方程研究[J]. 水土保持学报, 1991, 5(1): 8—18.
- [28] 江忠善, 宋文经. 黄河中游黄土丘陵沟壑区小流域产沙计算[J]. 河流泥沙国际学术讨论会论文集, 北京: 光华出版社, 1980. 63—72.
- [29] 靳长兴. 论坡面侵蚀的临界坡度[J]. 地理学报, 1995, 56(3): 234—238.
- [30] 蔡强国, 陆兆熊, 王贵平. 黄土丘陵沟壑区典型小流域侵蚀产沙过程模型[J]. 地理学报, 1996, 51(2): 108—115.
- [31] 谢承迪. 坡流类型及坡地水力侵蚀计算方法[J]. 水土保持通报, 1999, 19(4): 1—6.
- [32] 王万忠, 焦菊英, 郝小品. 中国降雨侵蚀力 R 值的计算与分布(D)[J]. 水土保持学报, 1995, 9(4): 5—18.
- [33] 王万忠, 焦菊英, 郝小品. 中国降雨侵蚀力 R 值的计算与分布(II)[J]. 水土保持学报, 1996, 2(1): 29—39.
- [34] 吕甚悟. 降雨及土壤湿度对水土流失的影响[J]. 土壤学报, 1992, 29(1): 94—103.
- [35] 中国科学院黄土高原综合考察队. 黄土高原地区土壤侵蚀区域特征及其治理途径[M]. 唐克丽主编. 北京: 中国科学技术出版社, 1991. 3: 34—36.
- [36] 陈洪经主编. 黄土高原小流域动态监测信息系统研究[M]. 北京: 测绘出版社, 1992.