不同尺度下影响水土流失地形因子指标的分析与选取*

刘新华[1], 张晓萍[2], 杨勤科[2], 李 锐[2]

(1 济南市济南环境信息中心, 山东 济南 250012; 2 中国科学院 水利部 西北农林科技大学 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

[摘 要] 回顾了国内外土壤侵蚀模型中不同地形指标及地形因子的提取技术, 认为无论是统计模型还是物理模型, 其采用的地形指标均局限于坡面或沟道, 而对大尺度范围内的地形因子研究较少。本研究根据地貌学意义和水土保持学意义的不同, 以宏观水土流失评价与预测为目的, 主要选取了宏观尺度上的地形指标, 认为坡度是微观尺度(如 1∶1 万, 1∶5 万)的最佳应用指标, 而在宏观尺度上(如 1∶100 万)则可选择地形起伏度、河网密度、地形粗糙度和高程变异系数等作为分析指标。

[关键词] 水土流失; 尺度; 地形因子; 数字高程模型

[中图分类号] S157. 1 [文献标识码] A [文章编号] 1671-9387(2004)06-0107-05

地形地貌决定着地面物质与能量的形成和再分配, 是影响水土流失的重要因素之一[1]。开展土壤侵蚀预报是有效监测水土流失和评估水土保持措施的手段。在不同空间尺度、不同目的的研究中, 由于地形对土壤侵蚀的影响程度或方式不同[2], 因而对地形指标的选择也不同。

国内外关于水土流失的研究主要集中在小尺度范围, 如小区、田间、坡面的侵蚀产沙机理、过程及其动力学特征, 而对于区域的土壤侵蚀研究还比较薄弱[3], 对宏观的、用于区域水土流失评价与预测中的地形因子, 还没有完整的地形指标体系。

作者在回顾和总结国内外土壤侵蚀模型所选取的不同地形指标及其提取技术的基础上, 分析了区域尺度地形指标及其地貌学和水土保持学意义, 遴选出适宜应用的指标, 从而对宏观水土流失评价和预测工作起到推动作用。

1 主要土壤侵蚀模型的地形指标

研制土壤侵蚀模型是研究土壤侵蚀规律、进行水土流失评价以及水土保持规划的重要途径和方法。无论是基于大范围监测和试验结果的经验统计模型, 还是基于侵蚀- 输移- 产沙机理的物理过程模型, 不同目的、不同地域的研究, 其选取的地形指标不同。

美国通用土壤流失方程 USLE (Universal Soil Loss Equation)[4,5], 是在总结约 10 000 个以上土壤侵蚀试验区的观测研究资料和其他相关资料的基础上经过统计得出的, 其中 LS 是复合地形因子, 在标准小区(坡度为 5. 14 或 9%, 坡长为 22. 1 m, 宽 1. 5 m, 具有代表性的连续耕翻休闲地块)情况下为 1。与标准小区比较, S 为其他条件相同的情况下该坡度土壤流失量与标准小区土壤流失量之比值; L 为其他条件相同的情况下该坡长土壤流失量与标准小区土壤流失量之比值。其后的修改模型 RUSLE (Revised USLE)[6,7] 对地形因子的算法有了改进, 主要体现在两方面: 一是可以计算复杂坡度下的土壤流失量; 二是提出了计算细沟、细沟间侵蚀的 LS 算法。

水蚀预报模型 WEPP (Water Erosion Prediction Program)[8,9] 的坡面、流域和网格 3 个版本中, 坡面版的计算直接采用了 USLE, 输入的地形指标包括坡长、平均坡度、坡面上坡形发生显著变化的位置及上部凸形坡曲率、下部凹形坡曲率和所有沿剖面弯曲发生微小变化的位置和坡度; 流域版模型适用于比较简单的小流域, 输入的地形指标除了上述坡面版的地形指标外, 还有沟道相交的位置与特性、

* [收稿日期] 2003-05-26
[基金项目] 中国科学院知识创新工程项目"区域水土保持环境效应与生态环境建设对策"(KZCX1-10-04-01); 西北农林科技大学青年专项"陕北丘陵沟壑区水土流失地形因子分析与提取"
[作者简介] 刘新华(1975-), 女, 山东德州人, 助理工程师, 硕士, 主要从事环境遥感地理信息系统研究。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

沟道深度、沟道曲率、上游与下游的排水面积等; 网格版则需要输入每个网格单元的坡度和坡向、网格单元所属沟道的级别和流向。

LISEM (Limberg Soil Erosion Model)[10,11]以土壤侵蚀和水土保持规划研究为基础, 是基于土壤侵蚀物理过程和GIS的土壤侵蚀预报模型。该模型输入的地形参数包括沟口位置、沟道坡向、坡度、地表糙度、主沟坡度、沟道糙度、沟道形态等。

ANSWERS[12~14]是一个流域环境非点源响应模型, 采用的地形参数是坡度和坡向。AGNPS[15,16]是一个基于物理过程的分布式农业径流非点源泥沙模型, 其地形参数包括耕地与沟道坡度、最大径流路径长度、坡形等。南非的SLEMSA[17]是为预报相邻两个等高埂间的耕地上由片状侵蚀所产生的年均土壤流失量而设计的, 其地形参数采用的是坡度、坡长及相邻两坡坡度与坡长的变化率。

国内在土壤流失预报中, 研究较多的地形指标是对 LS (坡度和坡长) 因子的公式修正。如江忠善等[18,19]在黄土高原, 杨子生[20]在滇东北山区, 杨艳生[21]在长江三峡等地, 求取了适宜于当地的坡度和坡长因子的经验关系式。在黄土高原1∶50万土壤侵蚀遥感调查与制图研究[22]及基于GIS的区域水土流失评价研究[23]中, 根据黄土高原特有的沟壑负地形与梁峁正地形的分异特征, 选取了沟壑密度作为反映黄土高原地形破碎程度的宏观综合指标。

综上所述, 国外无论是基于观测数据的经验统计模型, 还是基于过程的物理模型, 都是在坡面或小流域等小尺度范围内对水土流失的研究基础上发展起来的, 这就决定了其采用的地形指标局限于坡面或沟道。我国学者对水土流失中地形因子的研究, 也存在类似问题: 一是大多局限在坡面或小流域尺度上, 包括在不同地区所做的地形参数修正等; 二是对中等尺度或大尺度范围内的水土流失评价中的地形因子研究较少, 有的甚至以点代面, 直接将坡面尺度上的地形指标(坡度等) 应用于大区域甚至全国尺度的研究上[24,25]。无论是国内或国外, 尚未建立起一套适用于中等尺度或大尺度范围内水土流失评价的地形定量指标体系, 还不能及时、准确地为中、大尺度的水土流失评价模型提供地形参数。

2 影响水土流失的地形因子的提取技术

地形因子的提取技术研究, 经历了野外调查[26]、地形图量测[27]、RS (Remote Sensing) 图像处理[28,29]及DEM (Digital Elevation Model) 的GIS (Geographical Information System) 分析[30~32]等几个阶段, 目前国内外的研究主要集中在对DEM的分析上。

Stephens[33]在水土流失评价过程中, 利用航空像片的立体像对生成DEM, 自动提取了USLE中的坡度和坡长因子, 并完成了与其他因子的集成; John等[16]基于栅格-等高线数字高程模型, 对农业非点源污染模型(AGNPS) 中的平均坡度、坡形以及径流路径等地形参数进行了分析与研究。

我国自20世纪70年代末期, 也开始了利用RS技术与DEM分析提取地形因子的研究, 但主要集中在一些一般性的地貌描述上。如陈述彭[34]利用格网数字高程模型派生出的地貌因子, 对腾冲地区的地貌形态进行了自动分类试验研究。80年代中期以来, 我国资源与环境信息系统国家重点实验室对黄土丘陵区、黄河下游及其三角洲、洞庭湖等地区的地貌描述中, 均应用了格网数字高程模型和从其派生出的坡度、坡向等地形因子。刘振东等[35]、涂汉明等[36]利用DEM编制了小比例尺地势起伏度图, 并且应用于我国1∶400万地貌制图中。李锐等[29]在陕北黄土高原遥感应用研究中, 曾利用mBRIAN (micro Barrier Reef Image ANalysis) 图像处理系统对图像数据的"空间"特征进行了分析与提取, 突出了地面上变化剧烈的性状, 如山脊线、沟底线、谷缘线等, 并对地形复杂区的地表形态进行了模拟, 判断出了各种坡形。张兵等[28]在晋、陕、蒙黄土丘陵区遥感调查研究中, 利用TM图像的线性纹理提取技术和密度统计, 获取了该研究区的沟壑密度图。丁峰等[37]利用DEM提取的坡度、坡向、坡耕地面积等指标进行了旱耕地荒漠化评价。闾国年等[38~41]利用栅格数字高程模型对黄土地貌沟沿线、黄土沟壑丘陵区沟谷网络及特征地貌的提取技术与流域地形的自动分割进行了研究。

对于水土流失评价中地形因子的提取, 国内已有一些初步研究, 如卜兆宏[42]提出了适宜于土壤侵蚀定量监测的USLE象元坡度算法; 傅伯杰等[43,44]在小流域土壤侵蚀危险性评价及黄土丘陵沟壑区侵蚀类型和过程的研究中, 利用DEM的分析功能, 从中提取了坡度、沟壑密度等地形指标; 江忠善等[45]在基于GIS的黄土丘陵区小流域图侵蚀研究中, 利用mBRIAN系统建立DEM并提取了坡度的灰度信息, 经数学模型转换得到了实际的坡度信息值。

综上所述, 虽然国内外都利用DEM对不同地

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

形因子的提取技术进行了研究, 但仍然集中在坡面地形参数的提取上, 对于宏观地形参数的提取很少涉及, 并且提取方法和软件还有待于进一步完善, 如沟壑密度提取中沟壑长度的计算, 栅格数字高程模型中网格单元的选取, 遥感图像处理中灰度值与实际值的换算等。

3　不同尺度水土流失评价中地形指标的确定

3.1　微观尺度上的地形指标

根据地貌学原理, 各种地貌形态均可以分解为不同坡度、不同坡向的几何面。根据土壤侵蚀学原理, 水土流失最初是在坡面上发生的, 所以微观地形指标的确定, 是宏观地形指标确定及其定量分析的基础。

根据上述坡面水土流失研究中对不同地形指标的应用, 地貌形态量化后的主要微观指标, 除海拔高度、相对高度、坡向与水土流失直接相关不密切外, 坡度、坡长、坡形与水土流失均直接相关, 并且可以反映微观水土流失的过程, 但坡长、坡形在提取技术及定量化方面还有一定的局限性, 而地面曲率是对坡度、坡向的进一步深化分析, 可以暂不考虑。

从地貌学、水土保持学以及DEM 自动提取 3 个方面综合考虑, 坡度是水土流失评价中微观尺度(大比例尺或小尺度范围)的最佳指标[4, 18]。

3.2　区域(宏观)尺度上的地形指标

由于地表信息在不同尺度、不同比例尺上的反映量不同, 在宏观尺度上, 坡度将只有数学意义而不具备土壤侵蚀和地貌学意义[46]。如根据全国 1∶100 万DEM 数据计算坡度统计, 约有 64% 的面积都集中在 0～3°, 97% 的面积坡度都小于 15°, 这些坡度值已经不是地面的实际坡度, 与我国多山多丘陵、地势起伏较大的地貌不符合, 其值也不能反映水土流失状况。坡度指标的失真性严重影响了其在区域或大尺度范围内应用的精确性和实用性。在大、中尺度范围内, 地形指标往往表现为各地貌形态单元或基本评价单元内的统计特征值, 描述的是某一地区的宏观地形特征或地表的起伏破碎程度[47]。通过对地貌特征、水土流失类型和区域特征的宏观分析, 表 1 列出并分析了当前地貌学及区域范围上涉及的地形指标。

表 1　地貌宏观指标分析

Table 1　The analysis of different macro landform indicators

指标 Indices	地貌学意义 Meaning in landform	水土保持学意义 Meaning in soil and water conservation	基于 GIS 的提取方法 Extraction method in ARC/INFO
平均坡度 Average slope degree	地面各点坡度在评价单元内的平均值 Average value in the evaluation unit	平均坡度反映宏观区域内地面的起伏程度 Reflecting the undulating degree at the regional scale	通过对数字坡度模型与评价单元的叠加获取 Overlaying the digital elevation model and evaluation unit
地形起伏度 Landform relief	在地面特定距离内, 最高海拔与最低海拔之差 Difference of maximum and minimum of elevation in specified distance	地面起伏度是坡度概念的延伸, 在宏观的区域内反映了地面的起伏特征, 与水土流失关系密切 The conception of landform relief is the extension of slope degree. It reflects the undulating degree at regional scale and is closely related to soil loss	利用窗口分析法, 计算指定窗口内最高点高程与最低点高程的差值 Use a wide window in ERDAS (or similar) and calculate the difference of the maximum and minimum of elevation
地形粗糙度 Landform roughness	在地面特定距离内, 地面表面积与其投影面积之比 Ratio of the surface area and its projected area on the ground in specified distance	地形粗糙度反映宏观区域内地面的破碎程度, 与水土流失关系密切 Roughness of landform reflects the fragmentation degree at the regional scale, also closely related to soil loss	利用 TIN 结构求算曲面面积, 或者利用坡度的三角函数变换求算粗糙度 Determine surface area through triangulated irregular network or calculate the roughness through trigonometric function of slope degree
河网密度 Drainage networks density	在地面特定距离内, 地面单位面积内河网的总长度 The total length of river system in specified area	地面的河网密度反映地面被径流切割的程度, 从而间接反映出区域土壤侵蚀的程度 Reflecting the incision degree of the ground by runoff, also reflecting the soil erosion degree indirectly	通过对DEM 进行水文分析, 提取河流与沟道网络, 并矢量化; 然后通过与评价单元图的叠加求算河网密度 Analyzing DEM, extracting the drainage/gully system. Then overlaying it with the evaluation unit to get the river system density
高程变异系数 Variance coefficient of elevation	在一个指定的分析窗口内, 不同高程点的栅格数占总栅格数的百分比 In a specified analysis window, calculate the ratio of grid amount of specified elevation to the total grid	反映地面的破碎程度 Reflecting the fragmentation degree of ground area	在给定分析窗口内, 通过统计计算求得 Determine variance coefficient through statistical calculation in a specified analysis window

宏观尺度的地形起伏状况, 一方面表现为地面特定距离内高差的大小, 高差越大, 地面的起伏程度越大; 另一方面表现为特定高差内高程变化的频率, 频率越大, 地形起伏越大。在DEM 上, 地面特定距

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

离内的高差可以用地形起伏度来表示,即在一定的分析窗口内,最高海拔高度与最低海拔高度之差。

在DEM 上的一定分析窗口内,不同高程值的栅格点越多,地面高程变化和地面起伏频率越大,越易发生土壤侵蚀。因此,也可用地形高程变异系数来表示地形变化的频率大小,并将其作为宏观尺度上的地形指标之一。

局部地形的起伏状况还可以用地表表面积与其投影面积,即地面粗糙度来表示,地面粗糙度的大小表示了地面的破碎程度。

水土流失的结果造就了地面纵横交错的水道分布,因此还可选择河网密度来作为宏观尺度上的地形指标之一。

经过以上分析,可选取地形起伏度、地形粗糙度、河网密度、高程变异系数等作为宏观或小比例尺范围上的地形指标。然而,这些指标中哪一个或哪几个与土壤流失量间的关系比较密切,还需结合具体的地貌形态,并经过进一步的试验和分析后来确认。

[参考文献]

[1] 辛树帜,蒋德麒. 中国水土保持概论[M]. 北京: 农业出版社, 1982. 115- 140.

[2] 唐政洪,蔡强国,许 峰,等. 不同尺度条件下的土壤侵蚀实验监测及模型研究[J]. 水科学进展, 2002, 13(6): 781- 787.

[3] 胡良军,李 锐,杨勤科. 基于GIS 的区域水土流失评价研究[J]. 土壤学报, 2001, 38(2): 167- 175.

[4] Meyer L D. Evoluation of the universal soil loss equation[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1984, (3- 4): 99- 104.

[5] Stephens P R. Estimating universal soil loss equation factor values with aerial photography[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1985, (5- 6): 293- 296.

[6] Kennech G R, George R F, Gelnn A W, et al. RUSLE Revised universal soil loss equation[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1991, (1): 30- 33.

[7] Renard K G. Prediction soil erosion by water: a guide to conservation planning with the revised universal soil equation (RUSLE)[M]. USDA: Agr Handbook, 1997. 703.

[8] John M L, Leonard J L, George R F. WEPP-A new generation of erosion prediction technology[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1991, (1): 34- 38.

[9] 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.

[10] 杨勤科,李 锐. LISEM: 一个基于GIS 的流域土壤流失预报模型[J]. 水土保持通报, 1998, 18(3): 82- 89.

[11] Roo De A p J, Wesseling C G, Ritesma C J. LISEM: a single-event physically based hydrological and soil erosion model for drainage basins. Ⅰ: Theory. input and output[J]. Hydrological Processes, 1996, 10: 1107- 1118.

[12] Roo de A p J, Hazelhoff L, Burrough P A. Soil erosion modeling using ANSWERS and geographical information system[J]. Earth Surface Processes and Landforms, 1980, 14: 517- 532.

[13] 陈一兵. 土壤侵蚀模型ANSWERS 及地理信息系统ARC/INFO 的应用研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1997, 3(2): 1- 13.

[14] Dennis L C, Keith L, Timothy R E. GIS-based modeling of non-pointed source pollution in the vadose zone[J]. J of Soil and Water Conservation, 1998, 53(1): 34- 38.

[15] Udoyara S T, Robert J. Evaluating agricultural nonpoint-source pollution using integrated geographical information system and hydrologic/water quality model[J]. J Environ Qual, 1994, 23: 25- 35.

[16] John C P, Ian D M, Larry A K. Terrain analysis: integration into the agricultural nonpoint source (AGNPS) pollution model[J]. J Soil and Water Conservation, 1991, (1): 59- 64.

[17] 中国科学院水土保持研究所. 土壤保持的研究与展望[R]. 陕西杨凌: 中国科学院水土保持研究所, 1984.

[18] 江中善,刘 志,贾志伟. 地形因素与坡地水土流失关系的研究[J]. 中国科学院、水利部水土保持研究所集刊, 1990, (12): 1- 8.

[19] 江中善,李秀英. 黄土高原土壤流失预报方程中降雨侵蚀力和地形因子的研究[J]. 中国科学院、水利部水土保持研究所集刊, 1998, (7): 40- 45.

[20] 杨子生. 滇东北山区坡耕地土壤侵蚀的地形因子[J]. 山地学报, 1999, 17(增刊): 16- 18.

[21] 杨艳生. 论土壤侵蚀区域性地形因子值的求取[J]. 水土保持学报, 1988, 2(2): 89- 96.

[22] 王乃斌,沈洪泉,赵存兴,等. 黄土高原地区资源与环境调查和系列制图研究[M]. 北京: 地震出版社, 1991. 71- 113.

[23] 胡良军. 基于GIS 的区域水土流失评价研究——以黄土高原为例[D]. 陕西杨凌: 中国科学院水利部水土保持研究所, 1999.

[24] 张国平,张增祥,刘纪远. 中国土壤风力侵蚀空间格局及驱动因子分析[J]. 地理学报, 2001, 56(2): 146- 158.

[25] 王效科,欧阳志云. 中国水土流失敏感性分布规律及其区划研究[J]. 生态学报, 2001, 21(1): 14- 19.

[26] 罗来兴,朱震达. 编制黄土高原水土流失与水土保持图的说明与体会[A]. 中国地理学会地貌专业委员会. 中国地理学会一九六五年地貌学术讨论会文集[C]. 北京: 科学出版社, 1965. 126- 134.

[27] 静天魁. 等高线地形图应用指南[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1983.

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

[28] 张　兵, 王向军. 一种黄土区土壤侵蚀强度遥感调查新方法[J]. 国土资源遥感, 1996, (4): 36- 39.
[29] 李　锐, 宋桂琴, 刘　静, 等. 遥感图像"空间"特征的机助处理[J]. 水土保持研究, 1994, 1(1): 63- 67.
[30] 何　伟, 李壁成. 小流域数字地面模型(DTM)的建立及其在水土保持遥感动态监测中的应用[J]. 水土保持研究, 1998, 5(2): 141- 147.
[31] 刘　静. 数字化地形模型(DTM)在水土保持中的应用[J]. 中国科学院、水利部水土保持研究所集刊, 1992, (16): 96- 100.
[32] 柯正谊, 何建邦, 池天河. 数字地面模型[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1993.
[33] Stephens P R. Estimating universal soil loss equation factor values with aerial photography[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1985, (5- 6): 293- 296.
[34] 陈述彭. 区域地理信息分析方法与应用: 以腾冲航空遥感试验区为例[M]. 北京: 科学出版社, 1990. 14- 20.
[35] 刘振东, 孙玉柱. 利用DTM 编制小比例尺地势起伏度图的初步研究[J]. 测绘学报, 1990, 19(1): 57- 62.
[36] 涂汉明, 刘振东. 中国地势起伏度研究[J]. 测绘学报, 1991, 20(14): 311- 319.
[37] 丁　峰, 高志海. DEM 在旱耕地荒漠化评价中的应用——以武威、古浪二市(县)为例[J]. 水土保持学报, 2000, 14(3): 31- 35.
[38] 闾国年, 钱亚东. 基于栅格数字高程模型提取特征地貌技术研究[J]. 地理学报, 1998, 53(6): 562- 569.
[39] 闾国年, 钱亚东. 基于栅格数字高程模型自动提取黄土地貌沟沿线技术研究[J]. 地理科学, 1998, 18(6): 567- 573.
[40] 闾国年, 钱亚东. 黄土丘陵沟壑区沟谷网络自动制图技术研究[J]. 测绘学报, 1998, 27(2): 131- 137.
[41] 闾国年, 钱亚东. 流域地形自动分割研究[J]. 遥感学报, 1998, 2(4): 298- 304.
[42] 卜兆宏. 象元坡度新算法的初步研究[J]. 遥感技术与应用, 1993, 8(1): 1- 7.
[43] 傅伯杰, 陈利顶. 小流域土壤侵蚀危险性评价研究[J]. 水土保持学报, 1993, 7(2): 16- 22.
[44] 傅伯杰, 汪西林. DEM 在研究黄土丘陵沟壑区土壤侵蚀类型和过程中的应用[J]. 水土保持学报, 1994, 8(3): 17- 21.
[45] 江忠善, 王志强, 刘　志. 黄土丘陵区小流域土壤侵蚀空间变化定量研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1996, 2(1): 1- 10.
[46] Tang G. A research on the accuracy of digital elevation models[M]. Beijing: Science Press, 2000.
[47] 刘新华, 杨勤科, 汤国安. 中国地形起伏度的提取及在水土流失定量评价中的应用[J]. 水土保持通报, 2001, 21(1): 57- 59, 62.

Analysis and selection of topographical indices influencing soil loss on different scales

LIU Xin-hua[1], **ZHANG Xiao-ping**[2], **YANG Qin-ke**[2], **LI Rui**[2]

(1 *Ji'nan Environmental Information Center, Ji'nan, Shandong* 250012, *China*;
2 *Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Northwest Sci-Tech University of Agriculture Forestry, Yangling, Shaanxi* 712100, *China*)

Abstract: Landform is one of the most important factors influencing soil loss. Developing and establishing soil erosion models is an important approach to monitor and evaluate soil loss and soil and water conservation. However, for different scales and different purposes of research, the topographic factors to be considered are selected differently. In this paper, firstly, the topographical indices employed in international and domestic soil erosion models and their extraction technology are reviewed. The result of the review suggests that, regardless of the models employed, be they statistic models based on the experimental materials or models based on the soil erosion mechanism, the topographical indices used mostly derive from small areas such as slope land or small watersheds. Research at the regional scale has been limited. Based on the analysis of significance in geomorphology and soil erosion, this paper concludes that slope gradient is the optimal index used in micro-scale research. Relief, drainage networks density, landform roughness and variance coefficient in elevation, which are regional characteristics, are better used in macro-scale research. However, to determine which regional index or indices are optimal in a specific macro-scale study, concrete research or experimentation must be carried out.

Key words: soil loss; scales; topographical indices; DEM

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net