

基于 GIS 与 ^{137}Cs 技术的土壤侵蚀微观研究

吴永红, 张虎林, 寇 权, 孙耀胜, 刘海燕

(黄委会西峰水土保持科学试验站, 甘肃 西峰 745000)

摘 要: 坡地侵蚀的研究是进行流域侵蚀研究的基础, 影响坡地土壤侵蚀的因素很多, 但最主要的是地形因子。通过 ^{137}Cs 技术和 GIS 技术, 以黄土高原沟壑区的多个自然汇流坡面为研究对象, 从微观角度探讨了在自然坡面条件下不同地形因子对坡面土壤侵蚀的影响, 根据土壤侵蚀在坡面上的垂直分异规律, 对不同部位土壤侵蚀量的差异及不同地形因子对土壤侵蚀的影响大小进行了初步探索性研究。结果表明: 在微观尺度内, 坡度、坡长等常规因子对土壤侵蚀的影响并不像径流小区测定的那样明显, 似乎已经退居到次要位置。借助 GIS 对土壤侵蚀进行微观研究, 可以发现一些用常规方法很难发现的规律, 有助于我们更加深刻地认识土壤侵蚀的变化规律。

关键词: 地理信息系统; ^{137}Cs ; 土壤侵蚀; 微观研究

中图分类号: S157; TP79

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2007)02-0040-03

Microcosmic Study on Slope Erosion Based on Geographical Information System and Cesium-137 Technology

WU Yong-hong, ZHANG Hu-lin, KOU Quan, SUN Yao-sheng, LIU Hai-yan

(Xifeng Soil and Water Conservation Experimental Station of

Yellow River Water Conservancy Committee, Xifeng, Gansu 745000, China)

Abstract: Sloping fields are the base for studying a whole drainage basin. There are many factors that influence the slope soil erosion, but the most important is terrain. Cesium-137 and GIS (Geographical Information System) technology was used as main methods and several natural conflux slopes in gullied area of Loess Plateau were taken as studying objects, a preliminary study from a microcosmic point of view on the influences of different terrain factors was made. According to the vertical variation rules of slope erosion, the differences of soil erosion amount between different slope positions was studied and the contributions of different terrain factors was analyzed. The result shows: in micro scale, the influence of general factors such as gradient and slope length is not as distinctive as in proving ground; it seems that the role of these factors move to a backseat. By means of GIS, we can find some rules that are hard to be found by routine methods, it can help us to understand the erosion law more profoundly.

Key words: Geographical Information System; Cesium-137; soil erosion; micro scale

土壤侵蚀是人们普遍关注的环境问题之一, 它不仅造成了土地退化, 降低土地生产力, 直接影响农业生产, 而且造成泥沙淤塞河床、水库, 严重影响河流两岸人民生命财产的安全, 对人类的生存和发展构成了严重威胁, 严重影响经济可持续发展。

对土壤侵蚀及其流失量的预测预报技术的研究已进行了半个多世纪, 预报方法从定性研究走向定量研究, 从最初的单因子独立变量方程到多因子方程, 从最初的经验统计模型发展到基于过程的物理成因模型。对土壤侵蚀过程了解得越多, 对土壤侵蚀的计算和预报就会越准确。而对土壤侵蚀过程的认识和治理, 需要知道侵蚀的物质来源、侵蚀部位、侵蚀和沉积速率、侵蚀模式等完整的信息。但由于土壤侵蚀过程本身以及自然环境的复杂性、人为活动对侵蚀环境影响的深刻性^[1], 在我国至今仍未能建立能够适用于较大范围的土壤侵蚀预报模型^[2]。究其原因, 主要是由于研究手段的限制及对影响土壤侵蚀机理的深层次研究不够。

1 土壤侵蚀研究相关方法概述

进行土壤侵蚀研究, 准确测定不同坡面及同一坡面上不同部位的侵蚀强度, 是认识土壤侵蚀以及泥沙运移的基础。土壤侵蚀的测定方法主要有以下几种:

(1) 小区测定法。小区测定法将一个小流域看成是由若干个坡度、坡长、土壤和土地利用等下垫面情况相对均一的地理单元组成的大汇水区, 通过测定单个坡面单元的土壤流失量, 推算整个坡面甚至流域的土壤侵蚀量。径流小区的观测资料在推算较大尺度土壤侵蚀过程中出现了很多问题, 小区观测的结果常常比实际值偏小, 由小区资料推算的坡面、流域、区域侵蚀量与实际值之间存在较大的偏差, 产生了所谓的“尺度效应”。小范围的小区观测资料难以应用于大面积的土壤侵蚀空间变化研究。事实上, 在一条流域里, 很少能够找到像标准小区那样, 其它因子相同而只有一个因子变化的坡面。自然坡面的坡度、坡长、坡向是不断变化着的,

* 收稿日期: 2006-10-30

基金项目: 黄土高原水土保持世界银行贷款项目“梯田监测方法及评价系统研究”

作者简介: 吴永红(1968-), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事土壤侵蚀和 ^{137}Cs 技术的应用研究。

其水沙传递关系十分复杂。

(2) 示踪剂法。示踪剂法包括稳定性稀土元素示踪法 (REE 示踪法) 和核示踪剂法。REE 示踪法改变了原状土壤的物理性质, 因此得到的侵蚀强度不能反映原地真实的侵蚀信息。此外, 稀土元素售价高, 用量大, 研究成本较高, 很难进行大范围研究。核示踪法包括人工核素施放示踪剂法和天然核素示踪法。人工核素示踪剂施放法由于所施放的核素会对环境造成一定的污染, 使该方法的应用受到限制。在天然核素示踪法中, 以 ^{137}Cs 为示踪剂的研究和应用最为广泛和深入^[3]。该法主要利用核爆炸产物 ^{137}Cs 作为示踪剂进行土壤侵蚀的研究。

^{137}Cs 法能够克服小区观测法和其它示踪剂法的一些不足之处, 而且运用该法可以对土壤侵蚀的空间变化、土壤迁移的空间分配进行研究。并估算长期 (大约 40 年) 的土壤侵蚀量。 ^{137}Cs 法具有快速、简便、可靠的特点^[4]。

(3) GIS 空间分析法。地理信息系统 (Geographic Information System, 简称 GIS) 是一种能把图形管理系统和数据管理系统有机地结合起来, 对各种空间信息进行收集、存储、分析和可视化表达的信息处理与管理系统。GIS 都能以直观、方便、互动的可视化方式, 进行土壤侵蚀数据的计算分析。

在地理信息系统的栅格数据结构中, 整个地理空间被规则地划分为相互邻接、规则排列的矩形方块, 每个方块与一个惟一的栅格单元相对应, 每个栅格都被赋以多项属性值, 这些属性值共同对每一个地块的属性进行描述。但实际情况是我们通常用一些离散的数据点来描述连续变化的一些地理实体, 因此需要用一些地理信息系统模型近似地模拟这些连续变化的地理实体。TIN 和 GRID 就是两种最常用的表面模型, 它们根据一些数学方法对离散数据进行内插实现对连续变化的地理实体的描述。

2 土壤侵蚀微观研究

^{137}Cs 法能够测定坡面任一点的土壤侵蚀量, 通过测定足够多点的土壤侵蚀量, 便可用地理信息系统模拟坡面每一点的土壤侵蚀随地形的变化, 将每一点的地形因子与该点对应的土壤侵蚀量进行分析便可实现对坡面内部土壤侵蚀的微观研究。之所以说是微观研究, 这是一个相对概念, 因为相对于将坡面或流域作为研究对象的研究来说, 对坡面内部每一点的土壤侵蚀进行研究就是一种微观研究, 一个自然汇流坡面可看成是微型化了的流域。

2.1 研究区概况

本研究采样区选在黄土高原沟壑区的南小河流域, 流域地貌由塬面、坡面 (古代侵蚀沟)、沟谷 (现代侵蚀沟) 3 部分组成, 相对高差在 150~250 m 之间。塬面宽广平坦, 坡度多在 5° 以下, 用作基本农田; 沟壑部分由谷坡和沟坡 2 部分组成, 谷坡是连接塬面与沟谷的缓坡地带, 坡度一般在 $10^\circ\sim 20^\circ$ 之间, 现大部分已修成梯田, 坡度较大的地方为荒坡或人工林地; 谷坡以下为沟谷, 其形状多为“V”字形, 坡度一般在 25° 以上, 主要为林、牧地, 耕地很少。流域基本情况见表 1。流域地质构造较为单一, 塬面和谷坡覆盖马兰黄土, 沟谷部位由离石黄土和午城黄土组成。流域气候属典型的大陆性季风气候, 冬干夏湿, 年降水量 556.5 mm。

表 1 南小河流域基本情况表

总面积 / km ²	塬面		沟壑		沟壑密度/ (km ² · km ⁻²)
	面积/ km ²	占总面积/ %	面积/ km ²	占总面积/ %	
36.3	26.3	72.5	10	27.5	1.59

根据南小河流域的整体土地利用情况, 选择农坡地、天然荒坡、沟谷林地坡面布设采样点进行取样。

农坡地取样区, 选在董庄沟坡谷部位的一个完整坡面上, 形状略呈三角形, 平均坡度约 14° , 面积 440 m², 为一块收割后的麦田, 顶部平坦, 中上部坡度较陡, 呈脊形凸起, 坡脚部位较平坦。按 5 m × 5 m 的间隔均匀布点取样。

天然荒坡取样区, 选在董庄沟坡谷部位的一个完整坡面上, 面积 1 600 m², 形状略呈长方形, 整体地形起伏变化不大, 平均坡度 24.4° , 植被盖度约 40%。按 5 m × 5 m 的间隔均匀布点取样。

人工林地取样区, 选在杨家沟沟口沟谷部位的刺槐林内, 为一完整的自然汇流坡面, 形状呈长方形, 地形起伏变化很大, 其中有几处陡坎, 坡度较大, 平均 48.2° 。树龄在 30 a 以上, 林地郁闭度和覆盖度近 100%, 按 3 m × 3.5 m 间隔进行取样。

^{137}Cs 背景值样选在流域内塬面的一块年代较早的坟草地上 (扰动最少)。

取样时用直径为 4 cm 的土钻, 在同一土地类型钻取 2 个深 40 cm 的完整土芯, 作为 1 个土样装入土袋, 并记录编号。土壤样品经过自然风干后, 研磨过筛 (孔径 1.0 mm), 剔除草根、石块等杂物, 称 400 g 供测试 ^{137}Cs 含量。 ^{137}Cs 含量用 γ 能谱仪测定, 判断限为 0.583 Bq/kg。

2.2 数据分析

(1) 土壤侵蚀量的计算。土壤侵蚀量的计算根据张信宝 1989 年提出的算式进行计算。

侵蚀无分选的农耕地土壤侵蚀量计算公式为:

$$X = X_0(1 - \Delta H/H)^{N-1963} \quad (1)$$

式中: X —— ^{137}Cs 面积浓度 (Bq/m²); X_0 —— ^{137}Cs 本底值 (Bq/m²); H —— 犁耕层深度 (cm); ΔH —— 年土壤流失厚度 (cm); N —— 土壤取样年份。

侵蚀无分选非农耕地土壤侵蚀计算公式 (2) 为:

$$X = X_0(1 - e^{-\lambda h}) \quad (2)$$

式中: λ —— ^{137}Cs 衰减系数; h —— 1963 年以来侵蚀总厚度 (cm)。

(2) 坡面内部地形因子与土壤侵蚀的关系。采样区地形数据和土壤侵蚀数据统一在地理信息系统环境下进行分析。利用地理信息系统的空间分析技术, 分别对实测地形数据和土壤侵蚀数据创建表面模型, 从模型中分别提取坡度、坡向、粗糙度等地形因子和坡面上每一点的多年平均土壤侵蚀量, 并建立相应的图层, 然后栅格化各因子和土壤侵蚀图层, 并用各栅格点的属性值分别再建立每一个栅格点土壤侵蚀、坡度、坡向、坡长、粗糙度等属性数据库, 最后用统计分析软件进行各种统计分析。

为了便于分析各因子与土壤侵蚀之间的关系, 分别绘制各因子与土壤侵蚀关系散点图 (图 1a-1c), 点的疏密反映了土壤侵蚀或堆积在某个坡度上发生的频次大小。从图中可以看出:

在各类土地利用的坡面上, 各种大小的侵蚀或堆积在坡面的任意坡度上都有发生, 即坡度相同, 而侵蚀则相差迥然。同样, 相同强度的侵蚀在不同的坡度上也同样发生。

虽然坡面上个别地方坡度很大, 但这些地方侵蚀量不一定最大。即使他们的侵蚀量很大, 但由于它们的面积比例很小, 所以它们决定不了整个坡面的土壤侵蚀量。决定坡面侵蚀量 (或堆积量) 大小的是在坡度组成中比例最大的坡度。

在坡面内部, 坡度与土壤侵蚀似乎不具有很大的相关性。

其它因子与土壤侵蚀关系散点图也同样表现出与坡度一样的规律。

(3) 不同地貌部位地形因子对土壤侵蚀影响程度分析。不同坡面部位具有不同的土壤侵蚀方式, 而土壤侵蚀方式及其空间分异, 导致了侵蚀量在坡面的垂直分异, 地形因子对土壤侵蚀影响程度也发生了变化。依据南小河沟荒坡地不同部位侵蚀强度统计, 将该坡面划分为坡顶(0~ 10 m), 坡面

上部(10~ 30 m), 坡面中部(30~ 50 m), 坡面下部(50~ 70 m), 坡脚(70~ 80 m)。侵蚀因子选择坡向、坡度、坡长、粗糙度因子(用地面的表面积与其投影面积之比)。对不同坡面部位各侵蚀因子与相应的土壤侵蚀进行回归, 回归系数的 t 检验值($t < -2$ 或 $t > 2$ 的回归系数显著性高)的统计如表 2 所示。从表 2 的分析可知:

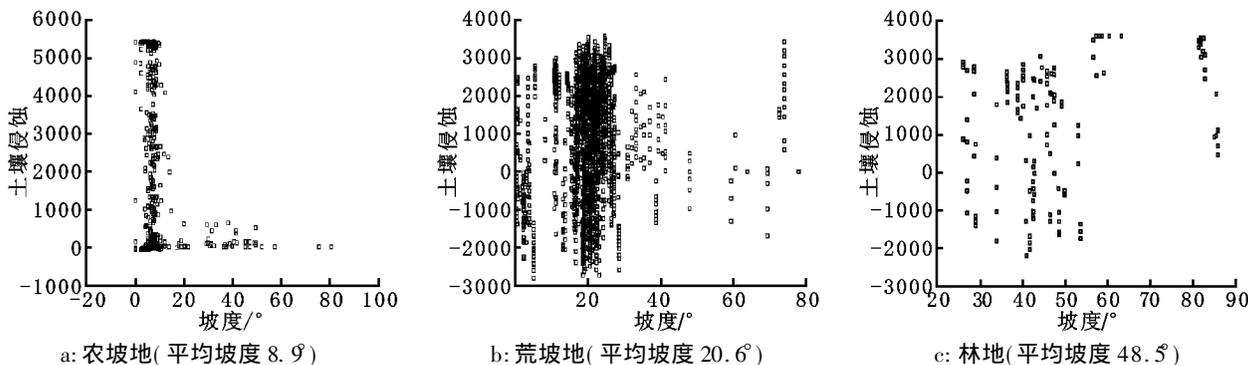


图 1 不同土地利用情况下坡面内各点的坡度与土壤侵蚀的关系

表 2 不同坡面部位各侵蚀因子与土壤侵蚀回归系数的 t 检验表

部位	坡长	粗糙度	坡度	坡向
坡 顶	0.056	- 1.015	1.418	- 1.517
坡面上部	- 3.445	- 3.975	4.578	- 7.446
坡面中部	- 0.905	- 9.574	- 2.492	9.729
坡面下部	1.495	- 2.031	2.143	- 8.880
坡 脚	0.639	- 1.499	- 0.413	- 3.640

在坡顶部位上, 地形对侵蚀的影响程度大小依次为坡向 > 坡度 > 粗糙度 > 坡长, 各地形因子对土壤侵蚀的回归系数均呈现不显著, 说明在坡顶上地形对侵蚀的影响较小。据陈永宗调查统计结果^[5,6], 在黄土坡面上各种侵蚀形态有一定的分布区间, 坡面上部以溅蚀、面蚀为主, 坡面中部以细沟侵蚀为主, 间有浅沟, 坡面下部以浅沟为主, 细沟进一步发育。因此, 在坡顶部位上地形对土壤侵蚀强度的影响不大。在荒坡地上, 坡顶部位的侵蚀强度可近似地看成该坡面的面蚀强度。

在坡面上部, 地形对侵蚀的影响程度为坡长 > 粗糙度 > 坡向 > 坡度, 各地形因子对土壤侵蚀的回归系数均呈现显著, 说明在坡面上部, 地形对侵蚀的影响较大。

在坡面中部和坡面下部, 地形对侵蚀的影响程度为坡长 > 坡向 > 粗糙度 > 坡度, 除坡度因子外, 各地形因子对土壤侵蚀的回归系数均呈现显著, 说明在坡面中、下部, 地形对侵蚀的影响仍然较大, 但坡度的影响表现为不显著。

在坡脚部位上, 地形对侵蚀的影响程度为坡长 > 坡度 > 坡向 > 粗糙度, 除坡长因子外, 各地形因子对土壤侵蚀的回归系数均呈现不显著, 说明在坡脚上, 只有坡长对侵蚀的影响较大。

从整体上说, 坡长因子对坡面土壤侵蚀的影响最大,

参考文献:

[1] 符素华, 刘宝元. 土壤侵蚀量预报模型研究进展[J]. 地球科学进展, 2002, 17(1): 78- 85.
 [2] 郑粉莉, 刘峰, 杨勤科. 土壤侵蚀预报模型研究进展[J]. 水土保持通报, 2001, 21(6): 16- 20.
 [3] 唐翔宇, 杨浩, 赵其国, 等. ¹³⁷Cs 示踪技术在土壤侵蚀估算中的应用研究进展[J]. 地球科学进展, 2000, 15(5): 576- 583.
 [4] 冯明义, 文安邦. 中国土壤侵蚀的¹³⁷Cs 法研究进展[J]. 水土保持学报, 2002, 16(2): 61- 65.
 [5] 陈永宗. 黄河中游黄土丘陵区沟谷类型[J]. 地理科学, 1984, 4(4): 321- 327.
 [6] 雷阿林, 唐克丽. 土壤侵蚀模型试验的原型选定问题[J]. 水土保持学报, 1995, 9(3): 60- 66.

尤其是在坡面中部, 坡长因子表现最为突出。在坡面各部位, 坡长对土壤侵蚀的影响顺序由大到小为: 坡面中部 > 坡面下部 > 坡面上部 > 坡脚 > 坡顶, 表现为从坡面中部向上下递减。在坡面内部, 坡度对土壤侵蚀的影响程度并没有像坡面之间那样大。

3 结果与讨论

(1) 采用 GIS 技术与¹³⁷Cs 技术结合, 使坡面土壤侵蚀研究从宏观走向微观, 使我们能够从微观尺度上对坡面各个部位侵蚀、堆积、影响因素及其相互作用机制进行微观量化研究。

(2) 在坡面内部, 坡度对土壤侵蚀的影响显得不十分明显, 已经退居到次要位置。事实上, 这就是研究尺度转化后一些侵蚀因子的重要性也随着发生变化。如果我们把一个自然汇流坡面看成是一个微型化了的流域, 那么, 坡面小区资料推算流域侵蚀时出现的一系列问题也就不奇怪了。在以流域为尺度的土壤侵蚀研究中, 坡度的影响是否很大就值得我们进一步深思。

(3) 在不同的坡面部位上, 不同的地形因子对土壤侵蚀的影响程度各不相同。在坡顶、坡脚部位上, 各地形因子对侵蚀的影响较小; 在坡面上部, 地形对侵蚀的影响明显, 各地形因子对土壤侵蚀的回归系数均呈现显著; 在坡面中部和坡面下部, 地形对侵蚀的影响仍然比较明显, 除坡度因子外, 各地形因子对土壤侵蚀的回归系数均呈现显著; 综合分析各地形因子, 坡长因子在坡面内部对土壤侵蚀的影响最大, 尤其是在坡面中部, 坡长因子表现最为突出。在坡面各部位, 坡长对土壤侵蚀的影响顺序由大到小为: 坡面中部 > 坡面下部 > 坡面上部 > 坡脚 > 坡顶, 表现为影响程度从坡面中部向上下递减。