

土壤侵蚀研究的尺度转换

王 飞^{1,2}, 李 锐^{1,2}, 杨勤科^{1,2}

(1. 中国科学院水土保持研究所; 2. 西北农林科技大学, 陕西 杨陵 712100)
水 利 部

摘 要: 研究对象不同, 测试点的代表性、因子匹配和泥沙产生和输移过程的复杂性, 尺度对研究结论和方法影响很大。尺度转换对现有小区、坡面和小流域等较小尺度与流域、区域等较大尺度土壤侵蚀资料的应用和印证等研究有着非常重要的意义。影响土壤侵蚀的因子和形式在时间和空间尺度方面应用的适宜程度不同。尺度转换方法主要有主导因子更替法、影响因子尺度转换法和泥沙输移比转换法等, 在转换过程中, 应结合现有资料和复杂的土壤侵蚀规律加以选择。

关键词: 土壤侵蚀; 尺度; 尺度转换; 水土流失

中图分类号: S157.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2003)02-0009-04

Scaling in the Soil Erosion Research

WANG Fei, LI Rui, YANG Q in-ke

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling 712100, Shaanxi, China; 2. Northwestern Sci-tech University of Agriculture and Forestry, Yangling 712100, Shaanxi, China)

Abstract The soil erosion is affected by scale because of the main research object concerned, the selection of experimental units, the match of each indicators, and the complexity of erosion process. Scaling issues is very important for the better usage of data at different scales. The factors affected the soil erosion, such as rainfall, landform, vegetation coverage, geology condition and soil properties, have many kinds of original and derived indicators. It is necessary to select proper indicators when the scales of temporal and spatial are taken into account. Changing the dominant factors, factors scaling, and calculation with sediment delivery ratio are common methods of scaling in the soil erosion research.

Key words: soil erosion; scale; scaling; soil loss

尺度具有丰富的地学含义^[1], 尺度和尺度转换理论与方法是目前生态学^[2~5]、土地利用^[6]、土壤学^[7]、土壤侵蚀与水土保持^[8~10]等资源环境研究和遥感技术^[11]的热点问题之一。在土壤侵蚀与水土保持研究中, 尺度转换问题不但对不同尺度观测数据的推广和相互印证有重要意义, 还可以促进深刻认识不同尺度水土流失和土壤侵蚀研究机理与过程, 进一步揭示土壤侵蚀研究的复杂性, 同时可以为水土保持治理效益评价和水土流失预测预报提供依据和参考。

1 土壤侵蚀研究中尺度转换的必要性

1.1 尺度的影响以及尺度转换的必要性

不同研究者由于研究目的、方法不同, 研究尺度也存在差异。如土壤学研究侧重地块、坡面和小流域等小尺度, 环境保护与水源保护研究者侧重小、中尺度土壤侵蚀产生的非点

源污染, 而流域水文、库坝工程侧重产流过程、径流过程和水调节能力等研究, 在多种尺度研究, 库坝工程、灾害防治、河床与河口演变研究者侧重河流输沙与河口演化等, 多在中、大尺度研究。

由于土壤侵蚀数量、过程、机理及其影响因素等的复杂性, 以及技术和资金等因素影响, 目前野外试验和观测, 侧重坡面或径流等较小尺度, 缺少全坡面系统观测, 区域、流域等较大尺度的土壤侵蚀仍以输沙量替代^[12], 在不同尺度数据相互应用时, 对研究精度等影响很大。在小尺度资料在较大尺度应用研究中, 即使用最精确的小区数据, 也可能产生很大的误差^[8]。van der Puy 认为用定量评价原地 (on-site) 侵蚀或产沙的方法评价较大尺度土壤侵蚀的最终结果对决策者没有意义^[13]。对较大尺度采用不同方法研究时发现结果差异很大, Beach 通过对对明尼苏达州东南部两各种型的 5

收稿日期: 2003-03-07

基金项目: 中国科学院知识创新方向项目“黄土高原水土保持的区域环境研究(KZCX3-SW-421)。

作者简介: 王飞(1971-), 男, 陕西户县人, 助理研究员, 博士生, 主要从事区域水土保持及其环境效应方面研究。

级流域用四种方法进行估算时发现:土壤调查和土壤截断法为通用土壤流失方程的 44%~79%;沟蚀估算法为其它各种估算的 3%~15%,通用土壤流失方程计算值为与计算沉积物输速率相结合的水库沉积作用测定法的 85%~118%^[14]。可见,尺度对土壤侵蚀研究的影响很大。

由于小尺度数据在应用上的缺陷、现有系列资料的特点以及管理部门对较大尺度数据的需求矛盾的存在,需要寻找一种有效的方法,提高不同尺度之间数据的相互转化,有必要进行尺度转换研究工作,以满足不同研究和部门对数据精度提高和时间系列延长的要求。

1.2 尺度对土壤侵蚀的影响的原因简析

尺度对土壤侵蚀的影响的原因主要有以下几种。一是小尺度研究点区对较大尺度研究区的代表性不够。小尺度主要针对流失的典型性,对其区域代表性考虑不够,尤其是在调查研究时更是如此,致使单点对全区的影响过大。二是研究指标与相应尺度的影响主导因素不匹配。在研究尺度变化时,研究指标发生变化,与研究尺度相应的主导因素也发生变化,受地理分异规律支配,当研究区逐渐变小时,研究尺度变小,评价指标逐渐从地带性因子变为地区性和地方性因子,只有当评价指标与研究尺度匹配时,精度和敏感性才可以提高。如 Phillips 认为地块尺度常考虑气候、地貌、水文、土壤可蚀性和地表覆盖,全球尺度常用沉积量表示^[15]。三是随着尺度变化,土壤侵蚀影响因素逐渐增加,过程逐渐复杂。Osterkamp 等认为目前的土壤侵蚀预测强调小流域雨滴击溅过程、地表径流泥沙运移和沟蚀等研究,大尺度流域沉积与运移过程等缺乏考虑,基于田块尺度独立沟道和地貌过程的土壤流失资料在建立地学或流域尺度的土壤侵蚀预测时应该考虑气候、地质与土壤、地形、生物参与的其它过程对泥沙的影响,沟道系统的产沙过程和河道泥沙淤积^[9],在研究区内存在水土保持措施时,研究难度还会增加。

2 不同尺度土壤侵蚀研究影响因子的适宜程度

土壤侵蚀过程不但受到地质、地貌、植被、土壤、降水等自然因素的影响,也同时受到人为开挖、堆弃等人为因素的直接影响,而且人为因素还通过改变自然因子间接影响土壤侵蚀过程。在每类影响因子中,指标包括原始的指标和根据需要派生的指标,这些指标由于其产生和形成依据不同,在不同时间尺度和空间尺度土壤侵蚀研究中的适宜程度并不相同,根据各种研究中采用的指标分析,初步得出下表(表 1),表中 A 为适宜程度较好指标;B 为适宜程度一般,可以用,但适宜程度一般;其它为不适宜或者适宜程度较差的指标在进行尺度转换的时候,注意选择合适的指标是有必要的,尤其是在一些转化过程中有些因素已经变得没有意义时,更是如此。如坡度在小尺度研究中意义很大,常作为主导因素,但是如果放在较大的区域和流域尺度,坡度的意义就很难显示出来,因此需要构造或者选择新的指标,如地形起伏度等^[16]。

3 土壤侵蚀尺度转换方法

根据尺度转化实现的方式,尺度转换方法通常包括主导因子更替法、影响因子尺度转换法和泥沙输移比转换法等,各种方法的理论基础、出发点和实现步骤均有差异,在实际应用过程中,需要结合前期的基础和研究资料。

3.1 主导因子更替法

由于研究的时间和空间尺度不同,土壤侵蚀影响因子的作用也不尽相同,尺度越大,空间范围越大,其中显示差异的主导因素也更概括。例如在区分相邻的坡面时,气候、地质活动、土壤母质和地带性植被等因素都很相似,难以反映其差别,必须用较小尺度的坡度、坡长、坡向,或者不同的作物来反映;但在比较山地区与丘陵区的差别时,若用小尺度的指标,不但数据量很大,而且也很难揭示其实质,更宜用地质活动、岩性和降水等作为主导因素,较小尺度的因素由于影响过于微弱而被概括。因此选择适宜的主导因子对提高拟合和评价精度大有裨益。

Phillips 认为地块尺度常考虑气候、地貌、水文、土壤可蚀性和地表覆盖,全球尺度常用沉积量表示^[15]。

科罗拉多高原,最大尺度下切侵蚀与岩石类型、结构和气候有关,而区域尺度主要受地下水位、基准和沟谷自然发育过程影响,中尺度受沟谷发育状况,如独立的谷地和山坡影响,小尺度受独立的汇水面控制^[17]。在大量研究中,较大尺度土壤侵蚀虽然受降水、坡耕地等影响,但通常以河流输沙量作为流域平均水平^[18],或者通过野外观察、测量与土地侵蚀有关的各种地貌现象,定性或半定量地确定土壤侵蚀强度,通常选择阶地演化、沟谷密度、地形起伏度和侵蚀—堆积关系等作为指标或依据^[19,20],还可根据将土壤剖面各层的现今厚度与原始厚度进行比较或者通过测量土壤中的放射性物质含量来计算大范围土壤侵蚀量^[21,22]。

3.2 影响因子尺度转换法

影响因子尺度转换法就是根据研究目的和尺度大小,对不同影响因子进行尺度转换,进而结合相应的泥沙数据进行拟合,这在目前的应用中较为普遍。

在该方法中,一是通过对某些因子按照时间和空间尺度叠加或者重新组合,产生新的指标,如次降雨和年降雨雨沙关系研究^[23]。二是将某些因子通过综合后作为所在单元概化(generalization)的特征进行研究,这种概化可以有明确的依据和准则,Julien 等采用从 0.03~4 km² 直到 3 000 km² 的网格计算大盆地地面蚀和细沟侵蚀所受尺度影响时发现,当一个栅格大小的影响用于计算修正后,流域平均特征可以用来评估高地年土壤侵蚀流失量^[24],当然也可以直接以地理单元为单元,对划分的理论要求较低,如 Batjes 在进行全球水蚀危险性评价时,用 1 纬度×1.5 经度为单元的土壤数据库^[25]。王思远等根据 1:10 万土地利用图和土壤侵蚀图,1:400 万地貌图,将全国分为 1 km×1 km 的 GRID 数据,对全国不同土地利用背景下土壤侵蚀空间分布规律进行研究等^[26]。

表 1 不同尺度土壤侵蚀研究影响因子的适宜程度表

影响因子与指标		时间尺度						空间尺度						
因子	指标	侵蚀性 降雨	次 降雨	月 /旬	季节 /年	多年 平均	断代	历史 时期	地质 时期	小区 /地块	坡面 /沟道	地貌区/ 行政区/ 流域	全国	洲际 /全球
降水	干湿变化						B	A	A				A	B
	多年平均降水量					A	A	B		B	B	A	A	B
	年内/际变化				B	A				A	A	A	B	A
	强度	A	A							A	A	A		
	平均雨强	A	A	B	B	B				A	A	A	A	B
植被	盖度/指数	A	A	A	A	B				A	A	A		
	覆盖率	B	B	A	A	A	B	B		B	B	A	A	B
	结构			B	A	A				A	A	B		
土壤	含水量	A	A	B						A	A	A		
	抗冲性	A	A	A	A	A				A	A	A	B	
	表层覆盖	A	A	A	A	B				A	A			
	耕作方式	A	A	A	A	B				A	A			
地形	坡度	A	A	A	A	A				A	A			
/地貌	坡度构成	B	B	B	B	A					A	A		
/地貌	地貌					A	A	A	A			B	A	A
	地壳运动						B	A	A				B	A
社会经 济因素	人口					B	A	B				B	B	
	土地利用结构			B	B	A	A	A			B	A	A	A
水土保 持措施	梯田栽植	A	A	A	A	A				A	A	A		
	梯田面积	A	A	A	A	A	A	B				A	A	B
	坝库	A	A	A	A	A					B	B	A	B
	法律/制度					A	A	A		B	B	B	B	B
	观念					A	A	A				B	B	A

注: A 为适宜程度较好, B 为适宜程度一般。

3 3 泥沙输移比转换法

泥沙输移比(delivery ratio)可以反映坡面或河流径流中进入和输送的泥沙量,其影响因素包括地质地貌因素、流域面积大小、径流因素、流域侵蚀物质特征因素和人类活动因素等^[27],通过推算泥沙输移比,可以计算小尺度土壤侵蚀量在区域等较大尺度河流泥沙的影响,也可以按照河流泥沙含量推算小尺度实际产沙量,在一些地区还可以估算河道侵蚀—堆积状况。

Ferro 在研究泥沙运输过程时,把盆地区分为不同的形态单元,用流域手册公布的泥沙平衡方程探求盆地和各形态区的泥沙输移比的联系,进而提出用于形态校正的评价系数,模拟区域尺度泥沙运输过程^[28]。牟金泽等根据悬浮理论,证明黄河中游黄土丘陵沟壑区中小流域输移比为 1 左右^[27]。雷孝章提出了不同面积小流域泥沙运输的输移比^[29]。张光科等提出了山区流域泥沙输移比计算公式^[30],李青云等提出紫色土丘陵区小流域泥沙输移的分形特征及输移比模型^[31]。景可通过界定沙输移比的条件,认为绝大多数学者比较一致认可的长江上游的泥沙输移比(0.3 左右)偏小,同时推断长江上游除丘陵宽谷区泥沙输移比会小于 0.5 外,高中山区长时段的泥沙输移比都接近 1(不包括泥石流在内的

重力侵蚀)^[32]。

4 结 语

尺度对土壤侵蚀研究影响很大,尺度效应在不同尺度转换过程中经常出现,当小区资料直接用于大区域时,甚至会出现非常违背常理的表现。由于研究对象不同,测试点的代表性、因子匹配和泥沙产生和输移过程的复杂性,尺度对研究结论和方法影响很大。为了使不同尺度数据有效使用和相互印证,需要对尺度转换问题展开研究。

土壤侵蚀尺度转换研究方法需要对影响土壤侵蚀因子和指标的适应程度进行研究,也需要对土壤侵蚀机理的复杂性深入了解。目前,土壤侵蚀常用的方法主要是主导因子更替法、影响因子尺度转换法和泥沙输移比转换法等。不同因子尺度转换法分别可以用所在学科的方法进行,如对植被特征的尺度转换、不同尺度降雨产流的尺度转换等,在本文不予赘述。按目前现状看,泥沙输移比转换法是可以直接用于土壤侵蚀和水土流失研究的较为可行的方法。不同研究者应根据现有数据特点、研究目的、研究区特点、研究资料现状和机理和经费等因素综合考虑,选择合适的研究方法。

参考文献:

[1] Lam N, Quattrochi D A. On the issues of scale, resolution, and fractal analysis in the mapping sciences[J]. Prof Geogr, 1992, 44: 88- 987.

- [2] 赵士洞, 罗天祥 区域尺度陆地生态系统生物生产力研究方法[J]. 资源科学, 1998, 20(1): 23- 36
- [3] 常学礼, 赵爱芬, 李胜功 生态脆弱带的尺度与等级特征[J]. 中国沙漠, 1999, 19(2): 115- 119
- [4] 吕一河, 傅伯杰 生态学中的尺度及尺度转换方法[J]. 生态学报, 2001, 21(12): 2096- 2105
- [5] 沈泽昊 山地森林样带植被- 环境关系的多尺度研究[J]. 生态学报, 2002, 22(4): 461- 470
- [6] 杨立民, 朱智良 全球及区域尺度土地覆盖土地利用遥感研究的现状和展望[J]. 自然资源学报, 1999, 14(4): 340- 344
- [7] 徐文彬 浅谈推算和预测宏观尺度土壤 N_2O 释放量的方法[J]. 土壤通报, 2000, 31(2): 91- 95
- [8] Roels J M. Estimation of soil loss at a regional scale based on plot measurements - some critical considerations [J]. *Earth Surface Processes and Landforms*, 1985, 10(6): 587- 595
- [9] Osterkamp, W R, T J Toy. Geomorphic considerations for erosion prediction [J]. *Environmental Geology*, 1997, 29(3-4): 152 - 157.
- [10] 包为民 流域泥沙模型中雨量资料的时空尺度分析[J]. 水土保持通报, 1999, 19(2): 36- 39
- [11] 苏理宏, 李小文, 黄裕霞 遥感尺度问题研究进展[J]. 地球科学进展, 2001, 16(4): 544- 548
- [12] 杨勤科, 李锐 中国水土流失和水土保持定量研究进展[J]. 水土保持通报, 1998, 18(5): 13- 18
- [13] van der Puy, M E. Rating erosion susceptibility [A]. *Proceedings of the Fourth Federal Interagency Sedimentation Conference* March 24- 27[C]. Las Vegas, Nevada 1986, (D): 2- 1, 2- 7.
- [14] Beach T. Estimating soil loss from medium- size drainage basins [J]. *Phys Geogr*, 1992, 13 (3): 206- 224
- [15] Phillips J D. Relative importance of factors influencing fluvial soil loss at the global scale [J]. *American Journal of Science*, 1990, 290(5): 547- 568
- [16] 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
- [17] Baker V R, Kochel R C, Baker V R, et al Spring sapping and valley network development [A]. *Groundwater Geomorphology: The Role of Subsurface Water in Earth- Surface Processes and Landforms*[C]. Boulder, Colorado: Geological Society of America, 1990 235- 265
- [18] 汤立群, 陈国祥 大中流域长系列径流泥沙模拟[J]. 水利学报, 1997(6): 19- 26
- [19] 景可, 陈永宗 黄土高原侵蚀环境与侵蚀速率的初步研究[J]. 地理研究, 1983, 2(2): 1- 11.
- [20] 励强 自然侵蚀和加速侵蚀的理论与方法[J]. 水土保持学报, 1989, 3(3): 1- 8
- [21] 王毅, 金之钧 沉积盆地中恢复地层剥蚀量的新方法[J]. 地球科学进展, 1999, 14(5): 482- 286
- [22] 顾兆炎, 刘东生, Lal D. Be 和 Al 在地表形成和演化研究中的应用[J]. 第四纪地质, 1997, 3: 211- 221.
- [23] 王万忠, 焦菊英 黄土高原降雨侵蚀产沙于黄河输沙[M]. 北京: 科学出版社, 1996 167- 187.
- [24] Julien, P Y, Frenette, M. Macroscale Analysis of Upland Erosion [J]. *Hydrological Sciences Journal*, 1987, 32(3): 347 - 358
- [25] Batjes N H. Global assessment of land vulnerability to water erosion on a one half degree by one half degree grid [J]. *Land Degradation & Development*, 1996, 7(4): 353- 365
- [26] 王思远, 刘纪远, 张增祥, 等 不同土地利用背景下土壤侵蚀空间分布规律研究[J]. 水土保持学报, 2001, 15(3): 48- 51.
- [27] 牟金泽, 姚文艺 水土流失与泥沙输移[A]. 见: 孟庆枚 黄土高原水土保持[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 1996 178- 212
- [28] Ferro, V. M Inacapilli, M. Sediment delivery processes at basin scale [J]. *Hydrological Sciences Journal*, 1995, 40(6): 703 - 718
- [29] 雷孝章 长江上游部分地区土壤侵蚀规律的研究[J]. 林业科学, 1995, 31(1): 35- 43
- [30] 张光科, 刘东, 方铎 山区流域泥沙输移比计算公式[J]. 成都科技大学报, 1996(6): 85- 90
- [31] 李青云, 孙厚才, 蒋顺清 紫色土丘陵区小流域泥沙输移的分形特征及输移比模型[J]. 长江科学院院报, 1995, 12(2): 30 - 35, 43
- [32] 景可 长江上游泥沙输移比初探[J]. 泥沙研究, 2002(1): 53- 58