

Review of Soil Erosion Research Methods in the Chinese Loess Plateau*

Dong Li, Xia Wei[#], Yaojun Li

College of Resources and Environment, Lanzhou University, Lanzhou
Email: 1017557759@qq.com, [#]weix@lzu.edu.cn

Received: Dec. 4th, 2013; revised: Dec. 18th, 2013; accepted: Dec. 23rd, 2013

Copyright © 2013 Dong Li et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. In accordance of the Creative Commons Attribution License all Copyrights © 2013 are reserved for Hans and the owner of the intellectual property Dong Li et al. All Copyright © 2013 are guarded by law and by Hans as a guardian.

Abstract: Soil erosion is a complex and comprehensive environmental problem, especially in the area of the Loess Plateau, China. The research methods of the soil erosion are divided into experimental and model methods in the Loess Plateau area. The existing research methods of soil erosion, including remote sensing monitoring, rainfall simulation experiments, tracer technique and hydrological models, are reviewed and summarized. The characteristics, limitations, application and development direction of various research methods are analyzed and discussed to provide relevant references for the further study on soil erosion in the Loess Plateau.

Keywords: Soil Erosion; Research Methods; Remote Sensing; Tracer Method; The Loess Plateau

黄土高原地区土壤侵蚀研究方法综述*

李东, 魏霞[#], 李耀军

兰州大学资源环境学院, 兰州
Email: 1017557759@qq.com, [#]weix@lzu.edu.cn

收稿日期: 2013年12月4日; 修回日期: 2013年12月18日; 录用日期: 2013年12月23日

摘要: 土壤侵蚀是复杂的综合性环境问题, 在我国黄土高原地区尤为突出, 针对此类问题将黄土高原地区对土壤侵蚀的研究分为实验法和模型法两大类, 并对包括遥感监测、降雨模拟、示踪技术和水文模型在内的研究方法进行了综述与归纳, 分析探讨了各种研究方法的特点、局限性、使用情况及发展方向, 为研究黄土高原地区土壤侵蚀规律及其机理研究提供了相关参考。

关键词: 土壤侵蚀; 研究方法; 遥感; 示踪法; 黄土高原

1. 引言

当今土壤侵蚀研究在世界广受重视, 国际上在土壤侵蚀机理研究、土壤流失方程等方面都取得了新进展。

*基金项目: 国家自然科学基金(41001154, 51109103); 中国博士后科学基金项目(20110490862); 兰州大学中央高校基本科研业务费项目(lzujbky-2012-139)。

[#]通讯作者。

中国是土壤侵蚀最严重的国家之一^[1], 其中最突出地区是黄土高原, 占总量的50%以上, 而且面积大, 范围广, 强度大, 形成因素复杂^[2], 土壤侵蚀既破坏了土壤资源造成土壤退化, 又引起了生态环境恶化水旱灾害增多制约着水土资源综合开发和利用^[3]。

为更好解决土壤侵蚀的问题, 我国学者采取了各

种方法进行研究,包括有地球化学方法、遥感研究方法、水文模型法等,但有时单一研究方法由于自身的限制无法满足实际工作的要求,需要根据研究目的和研究区域的自然条件选择不同方法。因此及时了解土壤侵蚀研究方法与动态,并结合实际情况对黄土高原地区水土流失的研究进行回顾,归纳总结现有土壤侵蚀研究方法与手段及存在的问题有着非常重要的意义。

2. 通过模拟实验对土壤侵蚀的研究

模拟实验法包括降雨侵蚀模拟、径流小区实验观测和地球化学方法等,基本思路都是通过实验与观测结果来研究土壤侵蚀过程及变化规律,从而进一步推求研究流域内的侵蚀强度与侵蚀速率^[4]或是分析土壤侵蚀的发生来源,通过调节变化实验条件也可以对土壤侵蚀过程与某影响因子的响应关系进行研究分析。这类研究方法的特点是可行性强简单易操作,结果直观可人为控制变量,能在短时期内重复试验缩短试验周期,在小尺度范围内有着较高的准确性,但计算结果不免带有假定性,适应性有限。

2.1. 降雨侵蚀模拟与径流小区观测

模拟降雨实验时通常利用人工降雨装置来模拟降雨过程,既可在室内进行,也可在野外进行,能节约大量人力物力,效率高且结果直观,可有效地解决数据收集的局限性问题,避免了不确定因素的影响,具有重要的理论和实际意义。在进行实验时可人为调控降雨量大小、降雨强度和降雨历时,并结合表土层的移动或补充^[5]来观察和讨论土壤侵蚀过程与降雨类型和土壤特性的响应关系,但该方法在较大尺度范围内应用时具有局限性,该方法未来的发展方向将是采用计算机自适应控制技术来智能模拟降雨过程。

径流小区观测实验适用于永久性观测站长期观测,操作简单可行性强,适用范围广泛,但调查过程费时费力而且不直观。在四十年代初,我国甘肃天水首次开展径流小区观测工作,此后许多水土保持试验站都采用了这一研究方法。

2.2 地球化学方法

地球化学方法主要是指示踪技术,近几十年来得到了广泛运用,主要包括稳定性稀土元素示踪法^[6]和

同位素示踪法^[7]。示踪技术的取样精确、直观,分析更深入,是一种强大的研究工具,既可以用于对侵蚀速率及侵蚀强度的研究,也可以用于分析土壤侵蚀的发生来源,在研究溶质运移方面具有非常重要的作用,但单一示踪法都存在不同的局限性,在许多实际应用过程中受到实际条件和成本因素的限制,要准确解释示踪结果会非常困难,需要应用复杂的数据解释方法。

2.2.1. 稳定性稀土元素示踪法

稀土元素示踪法是指用稀土元素作为示踪剂,通过采集侵蚀信息,利用中子分析技术推测研究区域的侵蚀和沉积量的研究方法^[8]。稀土元素用于示踪的是镧系的14种元素包括La、Ce、Pr、Nd、Pm、Sm、Eu、Gd、Tb、Dy、Ho、Er、Tm、Yb、Lu,一般选取稀土元素时应考虑土壤背景值、实验时施加量、容易识别和探测且不易被植物吸收等特征。在黄土高原地区La、Ce、Nd、Sm、Eu、Dy、Yb的应用最为常见,在施放方法上,可分为段面法、条带法、点状法三种。

在黄土高原地区刘普灵,田均良^[9]等描述了稀土元素示踪法的原理与操作并通过实例论证了该方法的可靠性。据彤军、刘普灵等^[10]通过中子活化分析技术研究并测定了黄土高原地区主要类型土壤的稀土元素含量丰度及分布规律。

大量研究结果表明稳定性稀土元素示踪法虽然其结果可靠,准确度与精确度高,但野外操作困难,定位点的选择要求较高,对小流域泥沙来源研究效果不佳。

2.2.2. 同位素示踪法

同位素示踪法是以放射性核素作为示踪剂进行标记研究的方法。该方法的特点是灵敏度强、定位准、方法便捷。放射性核素法是指以¹³⁷Cs、⁷Be、¹⁰Be、²¹⁰Pb、²²⁶Ra、²²⁸Ra、²⁴⁰Pu、³H、²⁴¹Am等^[11]做为示踪剂运用于土壤侵蚀研究的技术方法,其中¹³⁷Cs示踪技术较为完善,但¹³⁷Cs难以提供次降雨或短期内土壤侵蚀的信息,因此需要找到一种即能反映次降雨土壤侵蚀的信息,又有连续性来源的核素来深入研究土壤侵蚀规律,而⁷Be就具有这种特点,但对⁷Be在示踪侵蚀过程中的研究也不完善,尤其是对⁷Be时空分布规律和植被覆盖对土壤中⁷Be含量变化影响等问题的研究

较少。

贾成霞等^[11]研究证明 ^{7}Be 通量与纬度和降雨有关,高纬地区大于低纬的地区,降雨多的地区高于降雨少的地区,丁晋利等^[12]用 ^{7}Be 示踪技术研究了坡面侵蚀速率、侵蚀方式和沉积物的再分布等问题,张凤宝^[13]认为 ^{7}Be 示踪法未来的发展方向是研究区域内土壤中 ^{7}Be 的连续性动态变化,精确描述植被类型和植被覆盖度与 ^{7}Be 比例含量的关系等。

3. 通过模型计算对土壤侵蚀的研究

对土壤侵蚀模型的研究按研究特点的不同可大致划为三个大类,包括经验统计模型、物理过程模型和基于 3s 技术的土壤侵蚀模型。

3.1. 经验统计模型

经验统计模型以 Wischmeier W. H.等提出的通用土壤流失方程 USLE (Universal Soil Loss Equation)为标志^[14],经验性的 USLE 模型^[15,16]数学表达式为: $A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$ 。式中: A 为土壤流失量; R 为降雨侵蚀力因子; K 为土壤可蚀性因子; L 为坡长因子, S 为坡度因子; C 为植被覆盖和管理因子; P 为土壤保持措施因子。

通用土壤流失方程 USLE 模型中各影响因子物理参数都具有实际意义,具有结构简单、考虑因素较为全面、成本低、计算精度较高等优点^[17],有许多土壤侵蚀模型都是根据 USLE 模型改进得来的,比如 AGNPS、CREAMS、SWRRB 和 ANSWERS 等,该模型的缺陷是只能计算年降雨侵蚀量而不能对次降雨侵蚀量进行准确计算,而且该方程必须建立在缓坡的条件下,坡度范围必须在 3%~18%之间。1978 年威斯奇迈尔和史密斯对 USLE 模型进行了修正,1985 年美国为了提高 USLE 精度与适用范围,又利用计算机技术对 USLE 模型进行了又一次修订,并在 1997 年颁布了通用土壤流失方程的修订方程 RUSLE, RUSIE 比 USIE 的优势在于准确度更高,适用范围更广,而且还制成了计算机模型更便于计算。

3.2. 物理过程模型

物理过程模型主要以物理过程为基础,最早出现在 20 世纪 60 年代,通过结合各种数学模型和数学方法,并利用水文、气象、水力等原理,将数学模型简

化,最后总结土壤侵蚀量与影响因子之间的定量关系。物理过程模型的优势在于可在其它地区广泛的推广应用,但模型随着模型复杂性的增加与模型输入的不确定性因素的增加,误差将累计增大,最终影响其结果的精度与准确性。这类模型最有代表性的是水蚀预报模型(WEPP)和欧洲土壤侵蚀模型(EUROSEM)。

水蚀预报模型 WEPP 是复杂的连续物理过程模型,包括有坡面版、流域版和网格版^[18]。WEPP 模型将整个流域划分为坡面、沟道和蓄水池三部分,并将地表径流分成细沟流和细沟间径流,用 Yahn 方程计算泥沙输移,WEPP 模型能反映侵蚀产沙的时空分布、外延性好,但它计算需要的参数多,运行成本高,且不能用于预报河道的侵蚀过程。

EUROSEM 是一个动态配制模型,是基于物理成因的次降雨分布式侵蚀模型,其最大优点就是动态性,它能模拟小到单块田地,大到小型流域在一场暴雨下由于沟间侵蚀与细沟侵蚀过程而造成的泥沙在土表的侵蚀、输移及沉积,除了可以计算径流量和土壤流失总量以外,还可以生成次降雨中水文图和产沙图,可模拟细沟侵蚀,适用于缓坡为主的小流域,但不能很好地模拟切沟侵蚀^[19]。

国内黄土高原地区对该类模型的研究代表是蔡强国基于黄土高原地区的复杂地形而建立的侵蚀量计算公式,以及对于小流域尺度基于黄土土壤侵蚀的特点建立的小流域分布式水蚀模型 WEPM 1.0^[20]。

3.3. 基于“3S”技术的土壤侵蚀模型

基于“3S”技术土壤侵蚀模型研究是土壤侵蚀预报的一种全新技术手段,它能获取 RS 和 GPS 等提供的时间和空间信息,实时动态模拟侵蚀发生、发展及演化过程,反应侵蚀时空变化,精确估算流域土壤侵蚀量,目前人们利用遥感技术进行土壤侵蚀调查已成为热点,利用卫星影像可以对地表植被盖度、地形地貌、土壤、地球化学异常等信息进行读取、分析与处理,该方法不仅具有信息丰富、覆盖面广、时效性强、数据更新快等特征^[21],因此在卫星系统覆盖范围内得到了广泛的应用,但有时会出现成像有阴影、解译困难等现象,所以单纯地只利用遥感方法进行土壤侵蚀研究是具有局限性的,基于“3S”技术的土壤侵蚀模型的代表是 LISEM 模型和 SEMMED 模型,另外随着 GIS 技术和分布式水文模型的发展与结合,为土壤侵

蚀定量研究提供了更为有效的分析工具, SWAT 模型便是其中的代表。

桑广书^[22]在大量实地考察基础上利用遥感观测法研究了黄土高原典型地区的地貌演变与土壤侵蚀规律。宋艳华^[23]对 SWAT 模型在黄土高原地区的适用性进行了评价。秦伟^[24]运用 GIS 和 RUSLE 模型对黄土高原四面窑沟流域的土壤侵蚀强度进行了评估。

现阶段国内土壤侵蚀模型研究以中小尺度范围为主, 大尺度范围的研究较少, 在小流域范围内, 研究主要侧重于土壤侵蚀动态监测, 缺乏动态演变过程方面的研究。

4. 土壤侵蚀研究的讨论及展望

虽然近几年来我国土壤侵蚀研究取得了重要进展, 但由于我国黄土高原地区生态环境与经济发展之间的尖锐矛盾, 水土保持研究仍存在着许多亟待解决的问题。

水文模型依赖于长期系统的观测资料, 由于条件限制, 目前研究的数据资料还不够全面和丰富, 这在很大程度上制约了模型的适用性。

对 ⁷Be 示踪目前尚处于初级阶段, 测量结果往往存在较大误差, 因此探求准确测定方法是今后的发展方向。同时虽然很多研究对土壤中 ⁷Be 含量进行了分析, 但是由于测量需要时间, 因此数据不多, 只是对它们之间的关系进行了初步的研究, 缺乏更为系统的研究总结。

随着遥感技术和地理信息系统技术的发展, 遥感技术不仅自身水平有很大提高, 而且各种遥感资料的应用也越来越广泛, 特别是在地质、地理、土壤和水文等领域的应用已达到较高的水平。建立水土保持工程效果和效益土壤侵蚀评价模型和水土保持决策支持系统, 为水土保持规划和工作实施的开展提供科学依据是今后土壤侵蚀研究工作的重点和方向, 有利于土壤侵蚀研究方法的进一步创新与发展。

参考文献 (References)

[1] 谢松良, 吴兴中 (2009) 我国水土保持监测工作的现状及问题. *水土保持通报*, **29**, 58-61.

- [2] 孟庆香 (2008) 黄土高原土壤侵蚀时空动态分析. *水土保持研究*, **15**, 20-22.
- [3] 程冬兵, 蔡崇法, 左长清 (2006) 土壤侵蚀退化研究. *水土保持研究*, **13**, 252-254.
- [4] 张宗祜 (1993) 黄土高原土壤侵蚀基本规律. *第四纪研究*, **12**, 34-40.
- [5] Verity, G.E. and Anderson, D.W. (1990) Soil erosion effects on soil quality and yield. *Canadian Journal of Soil Science*, **70**, 471-484.
- [6] Tian, J.L., Zhou, P.H. and Liu, P.L. (1994) REE tracer method for studies on soil erosion. *International Journal of Sediment Research*, **2**, 39-46.
- [7] Ronald, G.M. (1960) Transport of strontium-90 in runoff. *Science*, **131**, 499-500.
- [8] 张志刚 (2003) 土壤侵蚀 ¹³⁷Cs 法研究进展. *首都师范大学学报(自然科学版)*, **24**, 82-87.
- [9] 刘普灵, 田均良, 周佩华, 等 (1997) 土壤侵蚀稀土元素示踪法操作技术研究. *水土保持研究*, **4**, 10-16.
- [10] 据彤军, 刘普灵, 李雅琦, 等 (2002) 黄土高原表层土壤稀土元素含量及分布特征研究. *稀土*, **23**, 54-55.
- [11] 贾成霞, 刘广山, 杨伟峰, 等 (2003) 厦门地区 ⁷Be 和 ²¹⁰Pb 的大气沉降通量. *厦门大学学报(自然科学版)*, **42**, 352-357.
- [12] 丁晋利, 郑粉莉, 张信宝, 等 (2005) 利用 ⁷Be 研究侵蚀性降雨前后坡面土壤侵蚀空间分布特征. *水土保持通报*, **25**, 16-19.
- [13] 张凤宝 (2009) ⁷Be 示踪土壤侵蚀研究现状及存在问题探讨. *核技术*, **32**, 596-600.
- [14] Wischmeier, W.H. (1963) Soil erodibility evaluations for soils on the runoff and erosion stations. *Soil Science Society of American Proceedings*, **27**, 590-592.
- [15] Ronald, G.M. (1973) Land surface erosion and rainfall as sources of strontium-90 in streams. *Science*, **3**, 219-223.
- [16] Tian, J.L. (2003) Restoring the ecoenvironment in conformity to natural law-some considerations on the vegetation restoration on the Loess Plateau. *Bulletin of the Chinese Academy of Sciences*, **17**, 101-106.
- [17] 贾媛媛, 郑粉莉, 杨勤科 (2003) 国外水蚀预报模型述评. *水土保持通报*, **23**, 82-87.
- [18] 刘宝元, 史培军 (1998) WEPP 水蚀预报流域模型. *水土保持通报*, **18**, 6-11.
- [19] Morgan, R.P.C. and Quinton, J.N. (1998) The European soil erosion model: a dynamic approach for predicting sediment transport from fields and small catchment. *Earth Surface Process and Landforms*, **23**, 527-531.
- [20] 蔡强国 (1998) 坡面细沟发生临界条件研究. *泥沙研究*, **3**, 52-59.
- [21] 李智广, 杨胜天, 薛联青, 等 (2008) 土壤侵蚀遥感监测方法及其思考. *中国水土保持科学*, **6**, 7-12.
- [22] 桑广书 (2004) 黄土高原历史地貌与土壤侵蚀演变研究进展. *浙江师范大学学报*, **27**, 398-402.
- [23] 宋艳华 (2007) SWAT 模型在陕西黄土高原地区的适用性研究. *干旱区地理*, **30**, 933-938.
- [24] 秦伟 (2009) 基于 GIS 和 RUSLE 的黄土高原小流域土壤侵蚀评估. *农业工程学报*, **25**, 157-163.