

土壤侵蚀模拟实验的若干问题

雷 阿 林

(水利部 长江流域水资源保护局 武汉 430051)
(国家环保局)

王文龙 唐克丽

(中国科学院 水土保持研究所 陕西杨陵 712100)
(水利部)

摘 要 讨论了土壤侵蚀过程模拟相似与研究方法标准化的几个亟待解决的问题。包括原型分类与原型选定;1:1比例尺下的相似问题;缩小比例尺的相似问题;基本微观规律的探索;边壁影响及其校正;以及其它相关的标准化问题等。

关键词 土壤侵蚀过程 模拟相似 研究方法标准化

Discussion on Several Problems of Test of Soil Erosion

Lei Alin

(Yangtze Valley Water Resources Protection Bureau, Ministry of
Water Resources and State Bureau of Environmental Protection Wuhan 430051)

Wang Wenlong Tang Keli

(Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences
and Ministry of Water Resources Yangling Shaanxi 712100)

Abstract Some basic problems on simulation of soil erosion and standardization of research method have been discussed. It has been included classifying and choosing prototype, simulation of equalized and reduced scale, probing elementary microscale laws, effect of boundry and its correction, and the other problems of standardization.

Key words soil erosion simulated test standardization of research method

模拟实验方法正被越来越多的研究者所重视,并逐渐构成土壤侵蚀研究的重要支撑技术。但由于室内条件下,降雨是人工模拟的降雨;土壤是被扰动了的松散土体;原型形态是被概化或缩小了的模型,这时,为了真实地再现自然界土壤侵蚀的过程特征,将实验结果外推应用并据以指导生产实践,相似性问题及与此相关的方法标准化问题的解决显得非常必要。它已成为制约模拟实验方法充分发挥作用的重要因素;也构成实验侵蚀学的关键理论问题。

收稿日期:1998-03-10

* 国家自然科学基金资助项目(49671052)及黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室基金资助项目(96Z003)。

然而,发生于流域面上的土壤侵蚀现象,相比起河道的水流和泥沙运动来说要复杂的多。主要表现为,原型面积广大,影响因素众多;含沙水流受降雨和床面扰动显著;水深浅且沿程变化大;流态复杂且多变;悬、推物不易分别等,因而其相似与模化过程显得极为困难,研究进展也相当缓慢。前人探讨较多的主要是1:1比例尺下降雨的相似问题,至于更多的相似与标准化问题则很少涉及。根据作者的粗浅认识,对这方面一些基本问题展开讨论,试图为研究解决土壤侵蚀模拟相似与研究方法标准化问题勾绘出一个简要轮廓,以抛砖引玉,促进并带动该问题研究的深入。

1 原型分类与原型选定

原型研究对于正确把握土壤侵蚀现象本质,科学地分析并归纳出具有代表性的自然原型,拟定合理的相似与模化规则,及检验与修正模拟实验结果具有十分重要的意义。从基于原型的科学假设—模拟实验—理论的概括—原型检验修正和成果的外推应用,构成模拟实验研究的一个完整循环。因此,原型研究成为一切模拟实验研究的重要环节。

自然环境复杂多样,其不同组合构成不同的原形形态,这些不同的原型则又呈现了不同的土壤侵蚀规律。人们绝不可能仅用一个“万能模型”去再现现实世界多种多样的原型特征;也永远不要指望在实验室内重演自然界不胜枚举的所有原型过程。这一点是土壤侵蚀模拟实验有别于其它模拟实验的一个突出特征。所以,在模拟实验初始,首先要进行原型分类;然后由分类类型中再选出所要模化的原型;继而组织实验,揭示该原型的侵蚀特征。人们虽不能穷尽所有原型,却有可能穷尽所有的分类类型。因此,进行原型的分类和原型的选定,就构成土壤侵蚀模拟实验研究的基本前提。

自然界虽然千差万别,但在一定程度上,总有区内相似性与区际差异性可言。这些不同的类型区,由于自然条件的明显差别,土壤侵蚀也呈现了不同的特点;而在同一个类型区内,土壤侵蚀则有大致相近的表现规律。可见,对区域自然条件相似性与差异性的深入认识,是我们进行原型分类的基础。作者曾基于野外考察。图上量算及对比分析,探讨了黄土高原丘陵沟壑地区小流域和沟坡形态的相似性与差异性,据此给出了一个简单的模拟实验的原型分类系统,及一些关于原型选定的基本依据和方法^[1]。这些工作是很粗浅的,有待于进一步的深入和细化。

2 1:1比例尺下的相似问题

土壤侵蚀模拟实验,目前情况下大多采用1:1的比例尺,虽然各种模拟实验中所讨论的相似问题大多是对缩小比例尺的研究而言,但在土壤侵蚀研究中,为了比较成果和将一个地区的成果外推到另一个地区,使方法标准化以增加资料的可靠性,精确性是一项紧迫的需要^[2]。可见,1:1比例尺下的相似问题在这里具有特殊重要的意义。

在1:1比例尺下,土壤侵蚀模拟实验最基本的相似条件大致有两个,即作为侵蚀动力源泉的降雨相似和作为被侵蚀对象的土壤相似问题。关于降雨相似,国内外已有较多研究。今天,人们对于天然降雨与模拟降雨的物理特性已了解很多;降雨模拟相似的条件也已基本清楚;模拟降雨装置的研制也日渐成熟。作者运用物理学方法,描述降雨现象,进而推导出降雨相似性法则。该法则对于解释模拟降雨与天然降雨的相似性程度,以及改进人工模拟降雨装置等均有着重要的理论指导作用。在此基础上,作者还指出,目前应用的各种1:1比例尺的降雨模拟方法有相似概念,但不完备,其纠正偏差的途径有工程技术法、理论补偿法,及实验验证法等^[3]。

对于土壤相似及实验途径国内外则研究较少。国外曾有人对扰动土壤模拟相似问题进行过一般的定性讨论^[4]。国内也曾有人论述过解决土壤相似问题的重要性^[5]。但都没有对该问题的最终解决给出圆满的答案。作者运用相似理论与侵蚀力学原理,解析土壤受蚀现象的物理过程,导出支配该过程的相似准则,进而提出1:1比例尺下,土壤相似的条件^[6]。至此为止,问题并没有根本解决,如何从相似准则出发,构造类似于原状土壤的模型土是需要进一步研究的课题。我们的认识是,如果原状土的降雨入渗和产流产沙过程与扰动土的相应过程趋近一致时,即认为二者有相似的侵蚀过程与特点,后者可代替前者,其结果亦可应用外推于前者之上。因此,我们打算,首先在理论分析的基础上,提出室内外实验研究方法,然后在野外条件下,对未扰动的原状土进行降雨实验,并测定入渗与产流产沙过程及影响该过程的土壤主要参量背景值;继之,在室内条件下,以前述结果为依据,对扰动土采取不同处理,进行降雨实验,并测定入渗与产流产沙过程,从而遴选出扰动土模拟相似的控制指标及装箱程序。

需要强调的是,目前,在各种模拟降雨装置的相似性程度还存在一定偏差,特别是扰动土的模拟相似还缺乏一套严格的实验方案前提下,所有的模拟实验结果应当进行一定的相似分析和偏差纠正,否则不可以任意外推或相互比较。这是因为,唯有具有相似条件约束的模拟实验,所揭示的规律才具有应用和外推的价值;相反,缺乏相似基础的实验,所获取的任何结果都只具有定性意义,即便这些结果是用一定的数学关系表达出来,也都只能作为实际应用的参考。我们的研究者应该有这样的共识。

3 缩小比例尺的相似问题

随着研究的深入和经费的限制,在室内条件下,对一些较大的原型(如小流域或全坡长的自然剖面)经过概化和缩小,在原型上研究其土壤侵蚀的动力学过程机理,已显得非常必要。实际上已有人开始了这种尝试^[7]。这就使土壤侵蚀模拟相似问题的研究愈加迫切起来。

前已述及,土壤侵蚀过程有许多有别于河道水沙运行的,且比之其更为复杂的特征。因此,对其进行整体模拟往往难以实现严格相似,在过多变态的情况下,则又不可能深刻揭示侵蚀现象的本质规律。但土壤侵蚀又是具有明显时空分异特点的自然现象,我们完全有可能依其时间过程的不同阶段,如分离、搬运等;空间的不同部位,如梁脊顶部的溅蚀、片蚀区,梁脊中部的细沟蚀区,梁脊下部的浅沟蚀区,及沟缘线以下的切沟、冲沟、河沟蚀区等,将其分划为一个独立的部分,这样每一部分受较少的物理定律支配,问题简化,现象模拟成为可能。

我们又知道,上述划分虽有利于依过程的不同阶段和空间不同部位揭示各种侵蚀现象的不同特点;却不利于从全过程和整个区域空间去把握其相互内在联系的动力机理。因此,在经过分割的单一模型的模拟研究基础上,还应考虑全过程和整个空间的模型综合问题。模型综合也许有两种方式,一种运用数学模拟的方式,将各个分解的实物模拟结果综合起来,在计算机上实现。另一种则仍然运用实物模拟的方式去进行综合。这时可有两类模型类型,一类是自梁脊顶部至沟谷底部沿二维空间延伸的全坡长剖面模型;一类是由流域分水线所包围的具有三维特征的小流域整体模型。两类模型各有不同的研究侧重,相似的条件也不同。但因有前述分模型的研究,这里的模化过程无疑要简单和易于实现一些。

为了实现土壤侵蚀过程的相似与模化,我们还建议:①恰当选择模型比例尺。在条件许可的情况下,尽可能将比例尺选的大一些,能选为1:1比例尺的就不要进行缩尺。②充分运用各种模化的技巧。如运用各种方式对相似法则放宽,剔除次要物理法则,运用自模性特点,只考虑特殊

现象相似,集积效果相似等;利用比例模化法;系列比例尺模型延伸法;变态模型法等。③对现象的本质从定性与半定量角度有较深刻的把握。这包括运用经验规律、量纲分析、数量级估计及现象类比等,分析现象的边界条件、影响因素及基本特征,力求抓住问题的主要矛盾和本质关联,找出正确的相似准数,及对现象实施恰当的简化等。

4 基本微观规律的探索

土壤侵蚀现象因素众多,表现特征极其复杂。目前情况下,人们对其机理解释,主要还停留在定性描述和经验规律的表述阶段,不仅给不出较为严谨的动力学表达形式,甚至对前述所说的依时间区分的不同阶段,和依空间分划的不同侵蚀方式的基本水力学与产沙、输沙力学特征也知之甚少,这就给侵蚀现象的相似与模化带来较大的难度。因此,在今后较长时期加强这方面的研究非常必要。

探索的内容包括,依时间区分的分离与搬运过程的类型的进一步划分;影响过程的水文、水力参数、土力学和泥沙参数、形态参数等的确定;以及过程的表现特征等。各种侵蚀方式动力临界指标的筛选,及利用该指标所进行的侵蚀方式的水力学分类;不同侵蚀方式的流态判定,流速分布,阻力规律及各种水力要素的相互关系,运动方程的表达形式,降雨及坡面糙度的影响等水力学特征;不同侵蚀方式的产沙规律,泥沙运动方式,泥沙起动、输移特征,挟沙力,降雨扰动对产沙、输沙的作用,化学及生物过程对泥沙运动的影响等产沙、输沙力学特征。

在对土壤侵蚀现象的微观力学特性有了较多的认识后,我们便可寻求出描述其各个过程和不同侵蚀方式的基本物理学法则,再经一步步合理地简化过程,可逐渐寻求到一条使其实现相似与模化的途径。

5 边壁影响及其校正

室内模拟实验,模型的四周边壁,尤其是与水流方向平行的左右边壁对土壤侵蚀过程存在明显的影响作用,而且随模型尺寸大小不同这种作用的显著程度呈现负相关的特点。这一现象虽然早被人们所认识,但对其作用机理,表现特征及校正方法却很少研究。人们以往的做法是,尽可能将模型尺寸,尤其是其宽度取的大一些,以将这种影响控制在相对较小的范围。但并没有提出一套严格统一的模型尺寸选取标准,研究者大多是据其个人的知识和经验来确定各自实验所需的模型尺寸,加之其它非标准化因素的影响,模拟实验重复性很差,同样条件不同的人会得出不同的结果,同一人结果也几无重现性,这使得模拟实验结果很难进行相互比较,结论缺乏客观性。可见,加强边壁影响及校正方法的研究,规范土壤侵蚀模拟实验方法已刻不容缓。

边壁的影响极其复杂,我们对此也没有做较深入的研究,只是在实验中观测到一些现象,有一点初步的认识。在产流初期,坡面上还未出现沟蚀现象,这时表面流速沿模向的分布大致为中部大,靠近边壁逐渐减小。产流中后期,表面流速的横向分布则渐趋复杂,呈现沟蚀部位大,面蚀部位小的分布特征。而且,几乎每次实验,尽管注意了边壁部位的处理,但边壁处都会有沟蚀出现,且往往出现的时间早于其它部位。雨后测量水分入渗情况发现,边壁的入渗深度均大于其它部位,等水分含量线在靠近边壁处呈楔形面向下延伸。可见,边壁的影响大致有三方面,即入渗规律、产流、产沙过程及坡面侵蚀微形态发育等。至于其影响机理及影响作用的校正有待于做更深入的探究。

3 结 论

通过在坡地连续4年的试验研究,可以看出:

(1)20°左右的山坡;在森林砍伐后所形成的裸地上,其水土流失是极为严重的,多雨年份的土壤侵蚀量高达11 941t/(km²·a)以上。

(2)在坡地采用农民传统种植法的水土流失,也十分严重,其最高土壤侵蚀量约10 000t/(km²·a),所流失的氮磷钾养分多达947.1kg/(hm²·a),约相当于同期所施肥料养分总量的4倍。

(3)条带种植(生物梯化),它包括由灌木或多年生草本植物沿等高线种植形成的栅篱植物带,它能明显地减轻地表径流的侵蚀力,利于保护坡地土壤水分和养分资源,促进作物生长发育,提高作物产量。因此,是一项费省效宏有发展前景的坡地水土保持和持续农业管理技术措施。

(4)林粮间作能减少土壤侵蚀,还可由桉树叶提取桉油增加收益,也是一项有发展希望的水土保持措施。

(5)试验初步表明,截流沟种植法能明显减少水土流失,但农作物产量低。

致谢:本试验承廖昌礼研究员指导,唐华彬、孙秋、陈正刚同志曾协助本项研究,在此一并致谢。

作者简介 陈旭晖,男,1938年生,现任贵州省农科院土壤肥料研究所所长,研究员。兼任贵州省土壤学会副理事长,中国植物营养与肥科学会理事,受聘于中科院贵州省地球化学研究所,任博士研究生导师。1984年至今先后主持过重点科研多项,并多次获奖。

(上接第130页)

6 其它相关的标准化问题

除了上述边坡影响及校正方法外,相关的标准化问题还有,设备的规范与统一;各种观测方法精度的提高,误差的分析与消除及新方法的研究;资料处理标准化;结果外推应用及注意问题的明确细化等。一旦这些问题逐一获得解决,模拟实验方法便开始走向成熟,其作用才会逐渐突出,并真正构成土壤侵蚀研究的重要支撑技术。

参考文献

- 1 雷阿林,唐克丽.土壤侵蚀模型试验的原型选定问题.水土保持学报,1995,9(3):60~65
- 2 [美]R.拉尔著.黄河水利委员会宣传出版中心译.土壤侵蚀研究方法,北京:科学出版社,1991
- 3 雷阿林,唐克丽.土壤侵蚀模型试验中的降雨相似及其实现.科学通报,1995,40(21):2004~2006
- 4 Moldenhauer, W, C, 1965, Procedure for studying soil characteristics using disturbed samples and simulated rainfall. Transactions, American Society of Agricultural Engineer, 8(1):74~75
- 5 陈浩.关于人工降雨模拟实验的相似性问题.地貌实验与模拟,北京:地质出版社,1995:270~274
- 6 雷阿林,史衍唐,唐克丽.土壤侵蚀模型试验中的土壤相似性问题.科学通报,1996,41(19):1801~1804
- 7 蒋定生,周清,范兴科.小流域水沙调控正态整体模拟实验.水土保持学报,1994,8(2):23~30

作者简介 雷阿林,男,博士,高级工程师,现为水利部、国家环保局长江流域水资源保护局规划设计处副处长。