

土壤侵蚀的研究及其展望

唐克丽 蒋定生 史德明

(中国科学院西北水土保持研究所) (中国科学院南京土壤所)

全世界除永冻地区外,地表都遭到不同程度的侵蚀。土壤侵蚀在作为自然界存在的一种地质过程时,称之常态侵蚀。随着人为活动的介入,尤其是土地不合理的开垦和利用,加剧了这种土壤侵蚀,称之加速侵蚀。由于土壤侵蚀,致使地力减退,地面割裂破碎,水资源损耗,生态环境恶化,土壤遭受盐碱、水涝、风沙等的破坏,因而全世界的食品和畜产品产值每年减少160亿美元。土壤侵蚀使生产蒙受损失,并影响一个国家的发展和进步,对人类的生存也是莫大的潜在威胁。“珍惜每一寸土地”已成为全世界各国人民的共同呼声。

按土壤侵蚀的营力可分为水蚀、风蚀和重力侵蚀等。但就它们的发生发展过程及其发生的地区和危害作用,彼此存在着有机联系,互为因果,互相促进。本文就水蚀问题,作简要综述。

一、土壤侵蚀的危害

全世界约有60亿公顷的土地都要防止土壤侵蚀。据统计,世界各大洲每年土壤流失的总量达769亿吨,其中亚洲与非洲的土壤流失量最大,分别为269亿吨与216亿吨。每平方公里年平均土壤流失量在非洲为715吨,亚洲为610吨。在美国有114万平方公里的土地遭受强烈的水蚀和风蚀,还有313万平方公里遭受威胁或部分破坏;经全面调查,美国因面蚀与沟蚀,每年流失土壤共计47.6亿吨。在苏联的欧洲部分有50万平方公里遭受水蚀,45万平方公里遭受风蚀;因水蚀流失的土壤达15亿吨,全苏每年流失的土壤53.5亿吨。澳大利亚可利用的农牧土地中,一半以上遭受侵蚀,仅南威尔士州就有1亿英亩土地达到严重侵蚀程度。在发展中国家土壤侵蚀更为严重:印度有150万平方公里的土地遭受严重的水蚀和风蚀,每年被侵蚀的肥沃表土近60亿吨;菲律宾约有一半以上的耕地遭到侵蚀的危害;非洲的沙漠约占总土地面积的40%,森林占7%,据联合国资料,近50年来,撒哈拉大沙漠平均每年向南推进1.5—10公里。

我国是世界上土壤侵蚀最严重的国家之一。据不完全统计,戈壁、沙漠遭受风蚀的面积约130万平方公里,水土流失的面积共计150万平方公里,年水土流失总量50多亿吨;黄土高原的侵蚀尤为突出,约有43万平方公里遭受侵蚀危害,其中28万平方公里已达到严重程度,每年每平方公里流失土壤5,000—10,000吨,局部地区高达34,500吨。据陕北岔巴沟11年的观测资料,其中有一年每平方公里流失土壤高出7万吨,为世界所罕见。我国南部的花岗岩、紫色岩和第四纪红土地地区,由于地形起伏,岩石风化松散,再加上雨量多,强度大,土壤侵蚀相当严重,近年来愈益剧烈,侵蚀模数也常高达10,000吨/平方公里。侵蚀物质中常夹有大量石块,致使近年来长江流域一再出现石洪的危害。

土壤侵蚀的结果,除良田被毁外,常造成河流、水库的泥沙淤积。世界上很多河流具有巨大输沙量,例如:流经中国、印度、孟加拉的布拉马普特拉河,年输沙量7.26亿吨;其他如恒河、亚马逊河、密西西比河等年输沙量均在3亿吨。中国的黄河平均每年流经三门峡的泥沙为16亿吨,最高达44亿吨(1933年);年平均含沙量为37.6公斤/立方米,最高达666.0公斤/立方米。黄河下游每年

淤积泥沙4亿吨,使河床以每年8—10厘米的速率在增高,形成高出两岸地面4—12米的悬河,构成对华北平原的严重威胁。

美国每年有12亿吨泥沙淤积水库,库容损失价值达1亿美元。印度大于10亿立方米的21座水库—淤积情况表明,每年库容的损失率为0.5—1.0%,最大达2%。我国20座大型水库的观测资料表明,多数水库运行不足20年,总淤积量已占原库容的18.6%。近年来,陕西省每年水库的淤积量恰为每年新建水库库容的1/3。

土壤侵蚀破坏地力,直接造成农业减产。苏联因水土流失每年带走氮、磷、钾养分分别为120万吨、60万吨和1,200万吨。我国黄土高原地区,由于长期遭受侵蚀的结果,土地瘠薄,农作物产量每亩仅50斤上下,其中宁夏固原地区,粮食由2.54亿斤下降到0.6亿斤,亩产最低不及27斤。我国南方花岗岩地区,土壤侵蚀不仅导致土层全部流失,石英砂粒裸露地表,而且下游良田并遭砂石淹没,红色丘岗变为“白砂岗”。

植被的破坏,常常引起土壤侵蚀程度的加剧和侵蚀面积的扩展,致使生态环境进一步恶化。1935年美国西部发生的特大风暴和五十年代苏联东部地区发生的尘暴,都与土壤侵蚀密切相关。我国水土流失区也经常遭受洪水、干旱和风暴等灾害的威胁。1977年陕晋两省部分地区遭受水土流失导致的洪灾,冲毁水库300多座,淤地坝2万余座,延安市人民的生命财产蒙受巨大损失。1981年四川与陕南的洪涝灾害,再次告诫人们:必须注意生态环境的保护,加速植被的恢复和建造,保持水土;否则,洪涝灾害将威胁工农业生产和人民生命财产的安全,水土流失必将愈益剧烈。

二、土壤侵蚀研究的概况

所谓土壤侵蚀,主要指在不同营力作用下,地表物质遭受侵蚀后的分离、分散、搬运和堆积、沉积过程。各国土壤侵蚀的研究,因目的和对象的不同,各有所侧重。

在苏联基本上属于土壤学科,其研究机构归农业部领导,但侵蚀基地的生态环境变迁,以及泥沙的运行和沉积,均属于地学范畴。近年来,某些苏联学者认为土壤侵蚀是环境生态学和环境保护学综合发展而成的专门学科,以生物圈和土壤发育规律作为理论基础。关于制定防治土壤侵蚀的措施,基本上属于土壤学内容,诸如农业改良土壤措施,森林改良土壤措施,水利改良土壤措施等。此外,土建、水利工程、采矿、筑路等部门,从不同的角度和要求进行土壤侵蚀及其防治的研究。

美国的土壤侵蚀研究工作属土壤保持范畴,其核心是在确保土壤不受侵蚀的情况下,最合理、最有效地利用土地。其内容除土壤学外,并涉及水文学、气象学、农业工程、森林、作物、牧业、动物、农经、社会等多种学科。从事这方面研究的机构,主要是美国农业部土壤保持局和农业研究局及其下设的试验站,以及各州设立的研究机构和试验站;一些大学也是研究的骨干力量。在土壤侵蚀方面的研究,特别是五十年代以来,加强了定量的观测试验和预测预报工作。对于雨滴溅蚀、土壤可蚀性、降雨径流侵蚀力等方面,进行了较为系统的分析研究。在研究方法上,绝大多数资料来自人工降雨试验。日本近年来也对人工降雨试验予以特别的重视,于1976年在茨城的国立防灾中心,建成了目前世界上规模最大的人工降雨实验室。随着遥感技术的发展,卫片与航片的应用,推进了土壤侵蚀的调查制图和水土流失的预测预报。

土壤侵蚀学作为一门独立的学科,近年来又得到了较大的发展。英国的哈德逊与莫尔根在这方面的研究,结合在非洲的工作作出了一定的贡献。由可克贝和莫尔根等联合编著的土壤侵蚀学(英国,1980),以及近期由查哈尔编著的土壤侵蚀学(捷克,1982年),对土壤侵蚀进行了较为系统的

论述,其中包括土壤侵蚀的分类、分布状况;土壤流失量的测定和试验研究方法;溅蚀、片蚀、沟蚀的机理;风蚀的成因和定量评价以及土壤侵蚀的模拟试验等。

我国的土壤侵蚀研究,解放前已为土壤工作者所注意,如宋达泉、朱显谟等学者先后分别编制了江西等省的土壤侵蚀图及有关报告。此外,研究范畴并涉及水利、铁道、建筑等工程学科。我国在解放前曾建立了长汀、天水、西安等水土保持试验站,直到现在全国水土保持机构达200余个。

五十年代水利部和中国科学院曾先后组织中、外专家进行黄河、长江流域的水土保持综合考察,作过土壤侵蚀规律的调查研究,为制订治理规划提供了重要依据。黄秉维、罗来兴、朱显谟等学者对黄土地区土壤侵蚀类型、分类原则、土壤侵蚀的区划以及侵蚀地貌的分类分区等,进行了大量开创性的工作。所拟定的分类、分区原则和系统已被广泛采纳应用,为我国土壤侵蚀的研究奠定了基础。在调查研究基础上,朱显谟又进行了植被因素对土壤侵蚀影响的系统研究,并提出划分土壤抗冲性与土壤抗蚀性两种抵抗侵蚀作用的不同性能。对黄土高原水土流失的治理,提出了以恢复植被、建造植被和调整土地利用为中心,生物措施与工程措施相结合,就地拦蓄全部降水的方针。

七十年代以来,我国注意了土壤侵蚀的定量评价,研究并积累了有关降雨特征、雨滴动能、溅蚀及降雨径流侵蚀力的资料;对历年各径流试验站和小流域的观测资料,进行数理统计和分析;对黄河下游河床淤积的粗沙来源分析,取得了显著的成效,为拟定治河与水土保持方针提供了重要依据;此外还进行了小流域产沙量、洪水流量的估算和预报尝试。

我国土壤侵蚀类型及其发生发展过程比较复杂,又加土地利用历史悠久,生态环境的演变比较强烈,需要研究的问题还很多。尽管我国水土保持的群众经验极为丰富,但科学研究很不深入,特别缺乏系统性。旨在防止土壤侵蚀的水土保持工作,主要由水利部门领导,对河流泥沙问题及治河方面,做了大量工作,但土壤侵蚀规律的研究则比较薄弱。例如土壤侵蚀的面积、侵蚀的强度和分级还没有确立可靠的依据和切实的数据,至今尚未系统编制全国土壤侵蚀程度分布图和分区治理图;对土壤侵蚀规律急需系统的观测试验数据,以进行定量评价;一些重大政策的制定和关键性措施的确定,缺乏可靠的科学依据和必要的论证;一些水库的建立缺乏对泥沙资料的正确估算,同时又忽视对集流区治理要求;种草种树的措施因缺乏科学规范,以致收效不大;以 25° 作为耕地上限的依据还没有验证;容许侵蚀量问题亟待研究确定;坡耕地上施行的水土保持耕作法等有待科学地总结提高。

三、土壤侵蚀的定量评价和预测预报

近年来土壤侵蚀的研究已从土壤侵蚀类型、分类,侵蚀土壤,侵蚀地貌等定性描述,进入定量评价和潜在危险的研究,其中包括建立预报方程式和数学模型。在研究方法上,除采用一般常规的方法外,人工降雨的模拟试验已成为探测侵蚀过程的机理、积累数据资料、开展预报的重要基础。利用计算机进行数据处理和全部测试过程的自动控制,大大推动了土壤侵蚀研究的进展。

(一) 土壤侵蚀试验研究的测定

侵蚀的试验研究可分为直接法和间接法两种:直接法是直接测算径流和泥沙的流失量,研究自然的和人为的因素对土壤侵蚀发生发展过程的影响;间接法是根据在实验中所测得的特征指标来评价侵蚀过程,如测定土壤结构的水稳性,土壤的某些物理、化学性质以及作物产量等来评价侵蚀。为了将上述的间接指标转换为水蚀的直接评价,必须弄清这些特征指标与侵蚀数值之间的函数关系。

直接测定土壤流失量通常采用野外体积量测法、径流场法与人工降雨法:

1、体积法和测针法。体积法即顺坡面布置水准测量断面，每隔25—100米选择10×25米的小样方，其长边顺着等高线位置。在样方内测量冲刷沟断面，计算其体积，并换算为每平方公里的吨数。由于此法测得的体积不包括片蚀量，数值偏低。为了提高其精度，可辅助布设测针或临时性水准点，也可利用微地形轮廓仪或地面摄影测量仪进行测算。

2、径流场法。这是用以测量径流和土壤流失量最基本的实地野外测量法。为了保证径流场上和坡面侵蚀过程的相同性，在布设小区时必须符合形态相似、运动学相似和几何相似等三个准则。

3、人工降雨法。这是模拟各种天然降雨，利用各种土壤、各种植被因素等影响，在较短的时间内可取得一系列具有一定规律性的数据。它的优点是周期短，重现性好。但其试验结果不能完全代表自然界相同处理的试验过程，多半不可能直接得到评价天然侵蚀过程的绝对定量公式。

间接法即评价土壤流失程度的物理—统计指标。主要用土壤物理性态来评价土壤流失程度，其中如土壤结构水稳性的测定、索波列夫水冲穴的测定、崔托维奇测定土壤的粘聚力，以及用静荷载或动荷载测定土壤疲劳强度等。结果，用不同方法得出不同的土壤流失程度的定量评价指标，也获得了各种不同的定性特征。但是上述的间接特征与土壤侵蚀量之间的函数关系，还有待进一步分析论证。

(二) 土壤侵蚀的定量评价

1、土壤侵蚀方程式。美国普杜大学通过收集30余个观测站，包括65,000次暴雨，8,250个小区年和2,500流域年的资料，用电子计算机分析处理，得出通用土壤流失方程式 $A = RKLSCP^r$ ，其中大部分资料来自设置的标准小区(2×24米)人工降雨试验，并进一步注意研究了雨滴对侵蚀的影响。试验证明，如果在方程式中引入降雨能量特征值，将使计算的误差显著减少；引入暴雨指标后，可借人工降雨资料来确定土壤水稳性参数。不足之处是物理理论根据欠缺，测定参数R是一种形式统计方法，且对综合过程有影响的所有因素和选择出来的参数，彼此互不相关，因而得出的结果不能很满意。

黄河水利委员会、北京林学院、华东水利学院等单位，也曾根据径流试验站的资料，提出类似的土壤侵蚀方程式。

2、坡面流失的水力学模型。苏联的库兹涅佐夫等人从泥沙运动的理论出发，建立了土壤流失的水力学模型：

$$R = \alpha_1 n_1 m_2 \gamma \frac{\pi d^3}{6}$$

3、根据相似论方法模拟试验坡面侵蚀。相似论原理适合于多因素过程的分析。用这种方法来模拟试验坡面侵蚀，是在保证模型和原型在几何形态、运动形态、运动和动力学条件相似的前提下，采用因次分析理论，以建立土壤抗蚀稳固性与主要自然参数的函数关系。

4、根据径流资料计算流失量。1976年，苏联国立水文研究所建议在设计抗蚀措施时，对轮作期内坡面平均流失量与径流深度的关系采用下式计算：

$$\bar{W}_{5.0} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (bS_b^{a_{(5.0)}} + b_1 S_q^{(2.5)}) a_i$$

这种模拟并未考虑坡长的影响。实践证明，暴雨冲刷、土壤流失量同径流平均深度的关系不明显，而与雨层打击力的降雨特征相关性较好。在美国也曾得出类似的结论，故在建立土壤侵蚀方程式时，对径流深的因子不予考虑。

5、土壤侵蚀的逻辑数学模型。什文布什以野外考察和实验资料为基础，研究了溅蚀、降雨动能和单位功率、地形因素、下垫面性质、土壤流失的程度等因子的综合影响，从而得出夏秋季多年平均暴雨土壤流失量的计算公式：

$$W_{n-0} = 1.2 \times 10^{-4} J_R e^{-\lambda p (0.85 - 1.00 m)} \cdot \phi(L, I) \sum_{i=1}^m K_{r,m};$$

$$\text{当集水区呈直角三角形时: } W = \alpha (1.5 I^n L^{0.5} + L^{1.5} \frac{d(I^n)}{dl});$$

$$\text{当坡面比较正规呈直线性断面时: } W = 1.5 \alpha I^n L^{0.5}.$$

四、土壤侵蚀学科的展望

土壤侵蚀学既是土壤学的一个分支学科，但又超出土壤学，是土壤学和自然地理学的边缘学科。苏联提出以生物学为其理论基础，把土壤侵蚀学作为环境生态和环境保护的新学科，美国则以土地合理利用作为土壤保持的核心，以侵蚀力学作为理论基础，以定量评价作为应用实施的科学依据；法国学者在研究土壤侵蚀时，其范畴非但涉及泥沙的运行和沉积，同时也和产沙的基岩风化以及成土过程相联系。

土壤侵蚀学是水土保持工作的基础学科，对一些重大的方针政策的制订，及水土保持措施的合理配置，提供重要的科学依据。但过去对土壤侵蚀的研究很不重视，以致影响到群众经验的推广和提高，以及水土保持工作的实际成效。因此，大力加强土壤侵蚀的研究，是国民经济建设发展的需要，是刻不容缓的任务。我们认为，应着重从以下几方面深入开展研究：

1、土壤侵蚀地理学方面的研究。以综合考察为主，研究我国土壤侵蚀在空间和时间上的分布规律及其地质、地理因素。运用遥感等新技术，研究编制全国性的和区域性的土壤侵蚀强度分布图、类型图、区划图等，为全国土地资源区划、水土保持区划和规划的制订服务。

2、土壤侵蚀力学的研究。主要研究降水、径流、风、重力、温度、生物等不同营力，对土壤侵蚀发生发展的影响、机理及其定量评价，为开展水土流失预报和拟定防治措施提供科学依据。

3、土壤侵蚀与土壤物理化学性质的研究。研究土壤抗冲抗蚀性能及其指标，研究土壤的物理、力学、化学性质对土壤侵蚀的影响、机理及定量指标，为开展水土流失预报和因地制宜拟定防治措施，提供必要的参数和科学依据。

4、土壤侵蚀与生态环境学的关系。研究生态环境的改善或破坏与土壤侵蚀的相互影响及其历史演变过程，为防止土壤侵蚀、维护生态平衡、合理利用土地和提高经济效益提供依据。

5、土壤侵蚀工程学方面的研究。主要指土壤侵蚀的室内室外试验研究的新方法、新技术、新装置及自动控制测试系统的研究，土壤侵蚀人工降雨、径流、风力等模拟实验方法的研究，目的为加快取得规律性的科学数据。

6、土壤侵蚀数学模型的研究。在大量的、系统的综合观测试验和分析研究土壤侵蚀物理过程的基础上，进行统计推断，建立数学模型为土壤侵蚀的预测预报服务。

7、微观土壤侵蚀学的研究。研究雨滴打击、溅蚀、片蚀的悬移过程，土壤表面的粗糙度、微地形、微结构等与土壤侵蚀发生演变的关系及其内在机理。

8、土壤侵蚀社会经济学的研究。研究方针、政策、人口、土地、工农业布局、社会经济的发展情况与土壤侵蚀及其控制的关系。在确切掌握自然和社会经济两个规律的基础上，为制定重大的方针、政策和长远规划提供科学依据。