

侵蚀与环境

〔捷〕 M. 霍利 著

中国环境科学出版社

侵 蚀 与 环 境

中国环境科学出版社

1987

内 容 简 介

本书全面介绍了近年来国外土壤侵蚀与环境关系方面的科研成果和发展情况,系统地阐述了侵蚀过程(包括水蚀和风蚀过程)的机理,从动量、能量和质量等不同的角度论述了土壤侵蚀的基本原理,提出了几种不同的土壤侵蚀模型和侵蚀预测方法;较为详细地阐述了土壤侵蚀对环境的影响,并提出了污染控制的方法及防止土壤侵蚀的各种措施。

本书可作为环境科学、水土保持、农业、土地规划利用等专业科研和教学人员的参考书,同时对从事林业、生态、地理和流域管理等方面的工作人员也具有一定的参考价值。

Miloš Holý

EROSION AND ENVIRONMENT

1982

侵蚀与环境

〔捷〕M.霍利 著
余新晓 陈利华 译
王广颖 洪惜英 校
责任编辑 丁 枚

•
中国环境科学出版社出版

北京崇文区东兴隆街69号

轻工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

•
1987年6月第 一 版 开本: 787×1092 1/32

1987年6月第一次印刷 印张: 7 5/8

印数: 0001—10,000 字数: 171千字

ISBN 7-80010-004-9/X0013

统一书号: 13239·0048

定价: 1.75元

目 录

第一章	绪论	(1)
第一节	侵蚀对国民经济的影响	(2)
第二节	全球范围内侵蚀的地理分布	(8)
第二章	侵蚀分类	(16)
第一节	按照侵蚀力分类	(16)
第二节	按照侵蚀类型分类	(22)
第三节	按照侵蚀强度分类	(31)
第三章	侵蚀过程的机理	(34)
第一节	气候和水文因素	(34)
第二节	地貌因素	(63)
第三节	地质和土壤因素	(73)
第四节	植被因素	(78)
第五节	技术因素	(82)
第六节	社会经济因素	(85)
第四章	水蚀理论	(86)
第一节	片状地表径流	(86)
第二节	集中地表径流	(89)
第三节	地表径流模型	(96)
第四节	运移过程	(102)
第五章	水蚀强度的预测和侵蚀过程模型的建立	(114)
第一节	侵蚀强度与地表径流速度及其切应力的关系	(114)
第二节	侵蚀过程的经验模型	(117)
第三节	理论侵蚀模型	(128)
第四节	流域侵蚀强度的预测	(133)

第六章	风蚀理论	(138)
第一节	风的侵蚀作用	(138)
第二节	土粒在风力作用下的运动	(140)
第七章	风蚀强度和风蚀预测	(146)
第一节	风蚀强度和各侵蚀因素的关系	(146)
第二节	风蚀的测定和预报	(148)
第八章	侵蚀和环境控制	(158)
第一节	污染源	(158)
第二节	污染体的运移	(166)
第三节	侵蚀引起水污染的后果	(168)
第四节	水和土壤的污染控制	(169)
第九章	侵蚀控制	(171)
第一节	容许坡长的理论分析	(171)
第二节	农业和林业措施	(174)
第三节	片状地表径流的控制技术	(194)
第四节	集中地表径流的控制技术	(210)
第五节	侵蚀控制的化学措施	(234)
第十章	侵蚀控制经济学	(238)

第一章 绪 论

社会的发展取决于人类对生物圈中资源开发利用的能力，其中有些资源迟早会被耗尽或破坏。

土壤作为生物圈中的一种重要资源，国际土壤科学学会对此曾下过这样的定义：“土壤是一种有限的、不可替代的资源。土壤的不断退化和流失意味着世界上许多地区不断增长的人口正迫使这种资源日趋枯竭。人类赖以生存的生物圈环境将会随着人类的不断破坏而毁灭。”

在多数国家，几乎所有的国民经济部门，为了发展农业生产和基本建设而对土壤进行了集约的开发利用，从而逐渐地破坏了天然的土被，使土表暴露在侵蚀力作用下，即水和风对土表的破坏作用，使地表土壤物质发生迁移和运动，并使其沉积在侵蚀力不断减弱的地区(图1)。

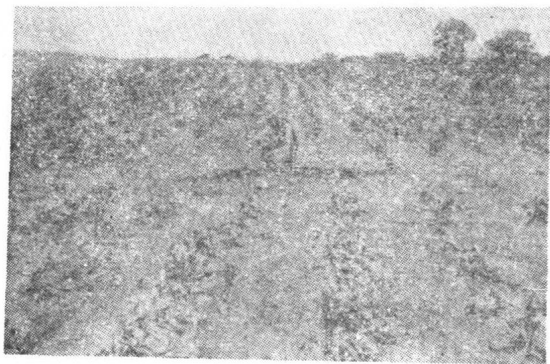


图1 农地上的侵蚀破坏作用(照片由美国土壤保持局提供)

在自然条件下，水、风和冰川作用的进程是十分缓慢的，一代人看来并不明显，但人类的活动明显地加快了这一

A1232/09

进程，结果在很多方面给人类社会带来了严重危害。在过去地质时代参与了地表形成的历史侵蚀，在我们这个时代已变为现代侵蚀，它有效地塑造着地球表面。当侵蚀过程进展缓慢并能够保持自然生态系统平衡时，表现为正常侵蚀，而当自然生态系统的平衡受到干扰或破坏时，则为加速侵蚀或超常侵蚀。加速侵蚀会造成土粒和化学物质迁移和运动的危险。

在正常侵蚀条件下，下层土壤形成的新土粒补偿了损失掉的土粒，土粒的这一运移过程非常缓慢，几乎不为人们所察觉。加速侵蚀通过冲刷土粒和养分，使地表物质重新组合，而这些流失的物质，是不能靠土壤形成过程再生的。在有些情况下，土壤中的化学物质会被全部运移。近来工业化和城市化的进程明显地加剧了侵蚀的不利后果，它不仅威胁到土壤，而且也影响水质，而水是另一种自然资源，它目前正遭到侵蚀物质运移的污染。

第一节 侵蚀对国民经济的影响

一、土壤流失的后果

农业是国民经济中受侵蚀危害最严重的部门，土粒的剥蚀和运移常常是大规模发生的。暴雨冲掉浅层表土后常会造成底土的剥蚀。鉴于土壤的形成是一个长期过程，因此土壤侵蚀对农业和林业都有极为不利的影响。土壤肥力下降起因于土粒的流失，而土壤肥力的下降程度与土壤类型和土壤剖面的厚度有关。对美国主要谷物生产区深层土壤的调查⁽¹⁴⁾表明：土壤流失50.8mm时，肥力降低15%；流失101.6mm，降低22%；流失152.4mm，降低30%；流失203.2

mm, 降低41%; 流失254mm, 降低57%; 流失304.8 mm, 降低75%。

植物养分的运移降低了土壤肥力, 但要确定养分运移的数值是十分困难的。这是因为养分运移导致土壤肥力降低的程度不仅与养分供给的数量、类型和形式有关, 还与各种土壤的特性有关。各国所进行的调查表明, 农地养分流失量是十分可观的, 这已成为农业生产中的一个严重问题。据R. P.比斯利 (R. P. Beasley) ⁽¹⁾ 估算, 在美国每年仅土壤侵蚀一项所损失的N、 P_2O_5 和 K_2O 价值多达68亿美元。M. 霍利 (M. Holý) ⁽⁷⁾ 通过在波希米亚北部葡萄园中的调查发现, 每年腐殖质 (用C表示) 的流失量达到2000kg/ha, P_2O_5 每年流失量占全年总施用量的30%, K_2O 的流失量占全年总施用量的20%。植物养分流失不仅减少作物产量, 而且也降低作物的质量。

低强度的侵蚀作用会导致细粒土壤的流失。这种侵蚀既改变了土壤结构和质地, 又降低了土壤的持水量。剧烈的水蚀会使相当大一部分的表土冲刷流失, 使雨水不能到达有机物含量较低、渗透性较弱的下层土壤剖面。这一土层在干旱季节经常不能得到充足的水分供应, 这对植被的生长发育是很不利的。

风蚀引起的土粒运移常常危及植被根部, 进而引起根系枯萎死亡, 这种后果多半是由尘暴造成的。

由于水蚀造成的深沟和沟壑使大片农田被切割成不平整的地块, 从而降低了有效机耕的可能性。

二、土壤运移和沉积的后果

由地表径流剥蚀的土粒随水流切应力的降低而沉积在坡

脚。细粒物质借助水流进一步运移，进入水文循环系统。

这些细土粒淤积在天然和人工的水道(航运、灌溉、排水以及其它渠道)、水库中或挡水建筑物前。沉积的泥沙减少了水路和渠道的设计过水量，从而影响了工业、农业等部门的供水。在有些情况下，泥沙沉积会极大地减小或限制渠道本身的功能，这种不良影响在灌溉渠道中是十分明显的。灌溉渠道中沉积的泥沙对灌溉系统的运行和其经济效益有明显的影响。

泥沙沉积使河床和水库库底抬高，这就增加了邻区洪水泛滥的危险，同时使地下水位抬高，从而增加了整个区域发生洪涝的危险。沉积的泥沙降低了水道上的建筑物即泄水建筑物的作用及其使用寿命。

泥沙危及蓄水库的正常运行，并减少其蓄水能力。由于水库大部分通常修筑在河道上游，由水蚀引起的水库淤积已经成为一个世界性的问题。R.P.比斯利指出，美国中西部各州的水库在建成后的五十年内由于泥沙淤积而减少库容33%。很多水库由于泥沙淤积而每年损失库容5%(图2)。

修建在河道上游的小水库中，泥沙淤积是相当快的。很多情况下，这些水库运行几年就失去了作用。许多国家的鱼塘严重地受到泥沙淤积的危害，其养鱼能力不断下降。

水库淤积严重地影响了水的供应。电站蓄水库容的减少使发电能力降低并阻塞水轮机。

泥沙的运移常常威胁着水路和渠道，清淤的费用增高，就相应地提高了航运费用。汹涌的洪水将石砾带入通航水道危及航行安全。

在有些山区，大暴雨会导致泥石流，泥石流严重地威胁着建筑物和城镇的安全(在阿尔卑斯山，人们称它为“mur”，

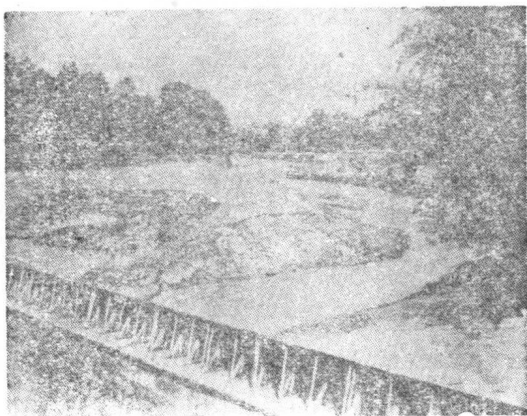


图2 美国南卡罗来纳州的水库淤积情况(照片由美国土壤保持局提供)

在高加索山区，称为“syely”)。在哈萨克斯坦，为保护阿拉木图修建了一个特殊的滞洪水库，1973年这一水库淤积的沙砾达 300万m^3 ，产生的泥石流高达 30m ，冲击能量达 $1200\text{MJ}^{(15)}$ (见图3和图4)。

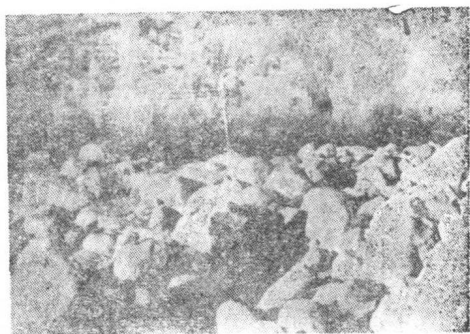


图3 高加索山区的泥石流(照片由布拉格技术大学灌溉与排水研究所提供)

侵蚀区的旅游价值，特别是因水道和水库淤积后而显著降低，被水蚀的河道和水库其堤岸已不适于游览。

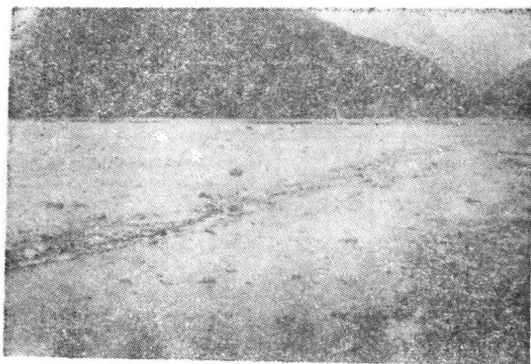


图4 苏联杜龙德吉河的泥石流(照片由布拉格技术大学灌溉与排水研究所提供)

风蚀引起的土粒运移对整个地区都有不良影响。风蚀使石砾和土壤移动，运移的石砾和土壤常常埋压植被；破坏建筑物、交通设施、渠道和沟壕，等等(图5)。

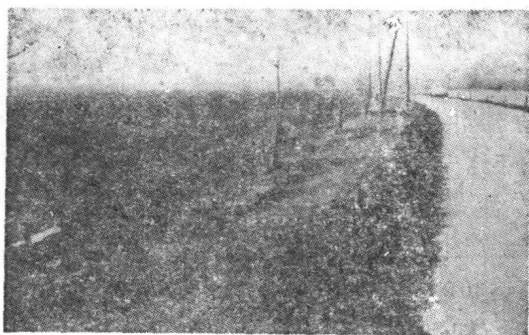


图5 捷克斯洛伐克摩拉维亚南部风蚀引起土壤沉积的情况
(照片由布拉格土壤改良研究所提供)

大风携带的土粒污染大气环境，危害人和动物的健康，使人和动物多半患有呼吸道系统疾病和沙眼。根据W.S.切

皮尔 (W.S.Chepil) 和 N.P.伍德拉夫 (N.P.Woodruff) ⁽¹⁰⁾ 公布的数据, 证明了这种危害的存在。他们发现, 在一次尘暴后每平方公里空气中有高达 310t 尘土粒。

三、化学物质运移的后果

研究侵蚀过程的传统方法, 是把侵蚀作为一个破坏土表的因素来评价, 并且认为侵蚀是产生阻塞水道和水库的泥沙、石砾的来源, 但这种传统方法还不足以广泛地对侵蚀问题进行全面的评价。土壤中含有不同类型和不同毒性的大量化学物质, 侵蚀使这些物质运移, 给社会带来严重危害。因为化学物质容易移动, 而且侵蚀过程扩散范围很广, 这就很难拟定和贯彻有效而经济的侵蚀控制措施。由于化学物质渗入土层及地下水中, 因而限制水资源的作用 ⁽⁶⁾。

最常见的化学物质来源于农业上大量施用的化肥和不同类型的杀虫剂、除草剂、杀菌剂以及流过或进入土壤的工农业废水。化学物质在水和风的作用下从使用地点或沉积区运移到别处。一项用来研究杀虫剂在大气中运移的广泛计划表明 ⁽⁶⁾: 在巴巴多斯上空的欧洲与非洲信风气流中发现了 DDT 以其衍生物, 观测表明, 这些高毒性物质是在世界范围内运移的。据观测, 每立方米空气中含有这类有毒物质 $7.8 \times 10^{-4} \text{g}$ 。对水所运移的化学物质进行研究后, 也得到了相似的结果。

土表的化学物质如果出现在地表水、亚表层水和地下水中, 则随着这些化学物质的出现, 水质将发生明显的变化。化肥 (如氮、磷、钾肥) 施用量不断增加, 在全球范围内对水质所产生的不良影响已经促使联合国着手应付这个问题 ⁽⁶⁾。在许多国家, 氮、磷、钾肥的施用量之高已严重地

影响水库水质。例如，为布拉格提供饮用水的热利夫卡水库及其它国家的许多水库，都受到了侵蚀的不利影响。

氮和磷的含量常常引起许多水库富营养化，特别是对限于疗养和其它目的的池塘和湖泊的富营养化更为明显(图6)。



图6 水库的富营养化(照片由J.里哈拍摄)

第二节 全球范围内侵蚀的地理分布

侵蚀的地理分布除与一些共同因素，如地貌、植被覆盖、土壤特性等有关外，还与降水量和风两个基本因素有关。

水蚀是由降水引起的。降水量小的地方通常地表径流量也小，因为降水渗入土壤后即被植被所利用。一般若年降水量超过1000mm，将使植被生长茂密，这就可以阻止侵蚀的

发展。因此许多学者⁽⁹⁾认为，水蚀普遍发生在年降水量中等，且农业经营过度使土被遭到破坏的地区，以及年降水量很高但地表天然森林已被砍伐破坏的地区。N.赫德森 (N. Hudson) ⁽⁹⁾得出了水蚀和年平均降雨量的关系(图7)。

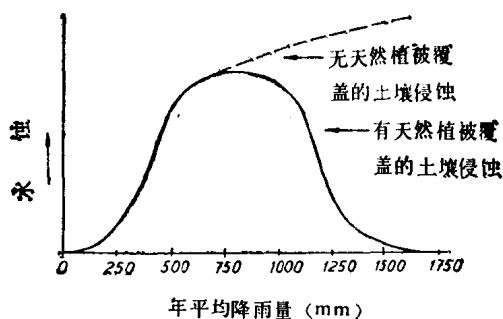


图7 水蚀和年平均降雨量的关系(据N.赫德森)

侵蚀不仅受降雨量的影响，而且也受雨型的影响。在很多情况下，暴雨是决定侵蚀过程强度的主要动因素。N.赫

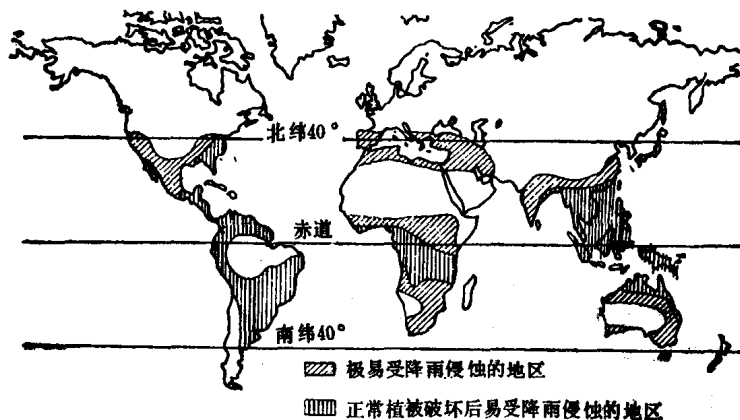


图8 全球范围内的水蚀分布(据N.赫德森)

德森认为，这种降雨除个别情况外，主要出现在北纬 40° 到南纬 40° 之间的地区。作者根据全球范围内的降雨分布和自己调查的数据绘制了水蚀分布的综合图(图8)。

除了干旱沙漠和赤道森林外，位于南纬 40° 至北纬 40° 之间的地区其水蚀最为严重。

风蚀是由于风对于干旱土壤作用而引起的。N.赫德森⁽⁹⁾认为，易受风蚀的地区是平均年降雨量少、特别是平均年降雨量小于250—300mm，迎着主风向没有任何植被覆盖或只有稀疏植被覆盖的地区。因此受风蚀危害最大的区域是美国大平原、非洲的撒哈拉沙漠和卡拉哈里沙漠、中亚地区(特别是苏联的干草原)以及澳大利亚中部(图9)。

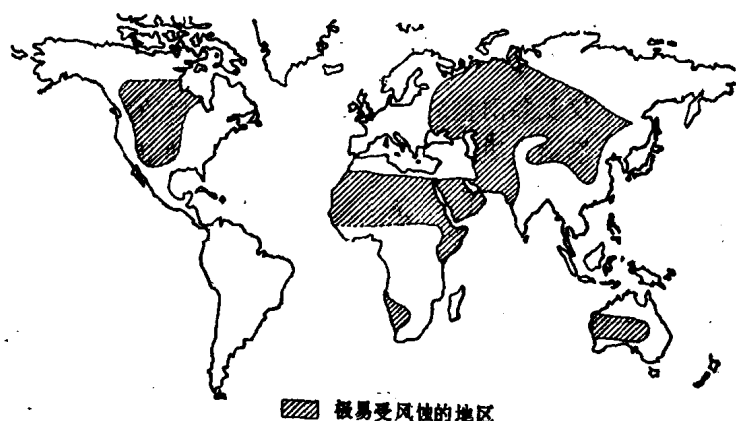


图9 全球范围内的风蚀分布(据N.赫德森)

侵蚀历史 土壤侵蚀发展的决定性时代始于人类定居后将草场转化为农地的时期。土地资源的集约开发破坏了土表的天然植被覆盖，使土表裸露在侵蚀力作用下。人类试图控制侵蚀力，并采用一些不破坏土地的农业耕作方式，但都难

以成功。由侵蚀引起的土地荒芜常常导致文明的衰落，美索不达米亚、叙利亚、中国和其它一些地方就是明证。

在美索不达米亚，幼发拉底河和底格里斯河曾用于灌溉周围的土地。公元前2000年修建的灌溉系统是文明高度发展的基础。但覆盖着山岭、沿着幼发拉底河和底格里斯河两岸的茂密森林却被毁坏了。由于侵蚀的结果，泥沙淤积渠道和水道，最后使美索不达米亚变成了沙漠。一度十分强大并具有辉煌历史的巴比伦成了埋在沙漠之下的历史遗迹，它是这里曾有过十分发达国家的见证。

富饶的叙利亚为了获取修造船舶和建设城镇用的木材而破坏了茂密的森林。持续了几个世纪的侵蚀导致了严重的土壤流失，破坏了农业生产，沙土掩埋了一度繁华的城市。当时该国曾是供应罗马大量葡萄酒和橄榄的国家，而现在却已变成了沙漠，要改造这些沙漠则需要付出巨大的努力和大量的投资。

覆盖着大片山岭的举世闻名的黎巴嫩雪松林过去曾引以自豪，如今却变成了该国荒芜的原因。3000年前砍伐林木所获取的木材被用于造船、乡镇和城市建设，同时也为了在砍伐后的土地上进行耕作。侵蚀导致土壤的破坏，由此而使整个国家毁灭。数千年来，人们只能在该国的偏僻地区，设法在石质梯田上耕作，发展农业。

其它许多国家也有同样的发展过程。

中国黄河沿岸过去是肥沃的土地，以其富饶著称。今天黄河两岸的土地因侵蚀而荒芜(图10)。浅黄色土壤被冲入黄河，黄河由此得名。在黄河流域，洪水期间的水流中泥沙重量占50%。在黄河流域三角洲建成的渠道网总长度已超过600km，其中许多渠道已经高出地面，因而要建筑堤坝，



图 10 中国的水蚀情况(照片由布拉格技术大学灌溉与排水研究所提供)

以防止土壤被冲刷后进入渠道。由于过水断面的水平面不断上升,使堤坝常遭破坏,给周围地区的农田带来了严重危害,还威胁着这一地区数百万人民的生命安全。

北美洲的殖民造成了西半球大量处女地的严重侵

蚀。来自西欧的白人居民逐步占领了印地安人的土地,并且引入了根本不适合新环境的外来耕作方法。中西部天然大草原被烧毁,代之以单一的农作物。农业耕作逐步实现了机械化和集约经营,这样反过来又加速了风蚀和水蚀的进程,持续数天的尘暴成了常见的现象。细粒尘埃阻碍了太阳光的直射,堵塞机器设备,还引起了严重的肺病。大风的剥蚀使植被根部裸露,细粒尘埃被运移到数百英里之外,而粗粒土壤则沿地表滚动,常常淹没房屋、农田、树木等等(图11)。1936年在密西西比河流域遭到一次这样的尘暴⁽²⁾:大半来自农田的150t土壤被大风吹进了海洋,在几天之内就破坏了400万ha良田。尘暴常常以不同的强度重复出现,这对科罗拉多、堪萨斯、密苏里、得克萨斯和怀俄明等州威胁尤为严重。

据1934年美国土壤保持局的调查⁽¹⁾,美国有2000万ha表土被侵蚀的土地,这些地区的沟蚀十分严重,甚至完全不能耕种。另外还有11200万ha的土地也遭到了破坏,使土地