

# 国外水土保持研究进展

李忠魁

(中国科学院西北水土保持研究所)

土壤侵蚀是一个世界性的生态问题。众所周知,水力侵蚀、重力侵蚀、泥石流侵蚀、风力侵蚀、冻融侵蚀等各种土壤侵蚀类型,都以不同方式在不同程度上降低了土地的生产能力,使可耕地面积减少,河道、水库淤塞,交通受阻,也使生态条件向不利于人类生存的方向发展。它不仅对世界各国的农业发展产生消极影响,而且对许多国家国民经济的发展有很大的抑制作用。

全世界水土流失主要发生在北纬 $40^{\circ}$ 与南纬 $40^{\circ}$ 之间,美国、苏联、印度、菲律宾、澳大利亚、埃塞俄比亚及非洲各国的水土流失都较严重。全世界每年因侵蚀而丧失的可耕地有500—700万公顷。美国强烈土壤侵蚀面积为114万平方公里,年总侵蚀量为47.6亿吨;苏联欧洲部分有50万平方公里水土流失严重,年流失土壤15—16亿吨;印度土壤侵蚀面积有150万平方公里,土壤侵蚀总量为60亿吨,而且每年有2,646万人遭受洪水灾害,每年所耗费的资金平均为2.07亿美元,到1978年,年耗费资金已上升为8.57亿美元;澳大利亚有260万平方公里受到侵蚀;菲律宾在2.08亿亩耕地中有1.22亿亩遭受水土流失;埃塞俄比亚每年流失表土10亿吨以上。

再者,由于世界人口的增加,到2000年每人平均占有净土地面积将减少为0.35公顷,因此保护现有土地资源免遭侵蚀,是各国所面临的一大难题。联合国环境保护组织的有关研究断定,非洲35%的土地(赤道以北)、中东地区60%的农田和印度51%的农业土地正在受到危害,并且面临着“如不迅速采取有效的水土保持措施,就一定发生土地退化的威胁”。

联合国粮农组织的专家们认为,现在的工作重点必须从土壤保持转移到土壤改良的方向上去。

目前的实际情况是,由于土壤侵蚀的形式、程度和范围各异,所以有关国家和地区根据本国具体情况,分析了土壤侵蚀的形态、发生原因、发展过程及其可能产生的后果,提出了相应对策,并取得了积极效果,其中的某些方法很值得我们借鉴。

## 一、关于政策与规划

水土保持不是一门纯粹的自然科学,它不仅涉及到许多学科,而且与一个国家的经济制度、社会发展及领导体制有密切关系。大多数政治家和政治团体,对自然资源的妥善管理和保护的设想,只给予口头支持,因此许多国家虽然制订了保护自然资源的计划,但这些计划的实际作用不大。比如,美国土壤保持局评价了立法的记录文稿后指出,立法之所以不起作用,是由于两个理由:第一、用还未证实的有用理论和措施强迫老百姓服从的做法,在道义上是行不通的;第二、由于各种原因,现在的立法只是一纸空文而已。不过,这些国家的社会制度同我国不同,他们立法中的某些条款在本国可能难以做到,但对我国是有参考价值的。

(一) 日本。日本的法制思想比较强，坚持用法制统一全民的行动。他们对水利、水土保持等方面制定的法规种类繁多，主要的有河流法、水资源开发公团法、水源地区对策特别措施法、特定多目标水库法、水资源开发促进法、水质污染防治法、琵琶湖综合开发特别措施法、公有水面造地工程法、海岸法、森林法、砂防法、土壤滑坡防止法等；对防止陡坡地崩坏而造成灾害的法律有灾害对策基本法、国土利用计划法、国土综合开发法、采石法、砂料采取法、临时煤矿灾害复救法等。这些法规保证了河流的合理利用以及湖泊水质和水的有效利用，并为保护和涵养水源、防止水质污染、合理利用公有水面、防止海岸灾害、保护森林、合理使用国土资源等提供了法律保障。

为了保护国土和建立适应国土开发的安全舒适的生活环境基础，他们根据近几年灾害发生的实际情况、防洪设施配置的现状以及国土开发的状况准备：1、把大河流作为长期标准建设；2、把中小河流以50毫米的降雨量为标准，对需要配置设施的河流（包括溪流）加紧进行建设；3、保护好河流环境，引入净化水，清除污泥；4、由于需水量逐年增加，所以要通过建设调洪和水资源开发的多用途大坝等工程，来开发所需的水资源，把1982年以后10年的不稳定引入量控制在现在的水平。

(二) 美国。美国土壤保持局一直在按照美国人的想法千方百计试图制订一些基本法则，其中之一是土壤保持的6个关键，它们是：

- 1、有生产能力的土壤既不是无限广大，也不是用之不竭的；
- 2、要保持土地的生产性状态，就必须对土地作特殊保护；
- 3、在群众和领导思考问题的过程中，应把生产性土地问题放在突出地位，作为城乡人民的食物基地，我们必须系统地、明智地衡量这种不可缺少的财富的价值；
- 4、社会存在的今天和明天，都依赖于土地生产力，因此，从全局出发，为保护土地生产力，社会必须承担部分责任和代价；
- 5、科学研究应对保护土地生产力和提高产量给予充分重视；
- 6、将来土地发展的技术关键是，科学地分析土地各部分，确定既合理又经济的生产方式，和能保护土地具有永久性最大生产力所必须的最佳生产类型。

美国对土壤侵蚀、地力衰退一些问题多是以流域为单元，采取综合措施治理，实施的基本依据是美国国会通过的公共法第566号法案（1954年），它授权农业部在技术和财政上协助地方组织规划和实施小流域治理计划，内容主要为防洪、控制土壤流失、农业用水管理、旅游、小城市及工业用水和发展野生动物等。小流域治理计划按以下16个步骤实施：1、申请准备；2、野外勘察；3、州的行动；4、规划授权；5、详细野外测量；6、工作计划的准备；7、工作计划的批准；8、经费的分配；9、投资分摊；10、土地权；11、贷款及预付；12、土地整治措施；13、工程技术工作；14、计划协议；15、施工；16、运用及维修。下面举一个例子：

田纳西流域位于美国东南部，包括田纳西河及其支流的盆地，流域范围跨7个州，面积为10.59万平方公里。1933年，居民的62%以农为主，土地贫瘠，水土流失严重，田园荒芜，单产很低，许多农民处于饥饿的状态中，有的地区甚至87%的农民家庭依赖救济；但到1977年每人平均收入已在原基础上增加34倍，走上了富裕的道路。他们的主要措施是：1、首先建造防洪水坝等水利工程，现已修建了35座主要水库和8个次要水坝；2、农林牧渔各业，采用灌溉、化肥、机耕、良种等措施，并进行区划，因地制宜发展农业；3、扩大了经营规模，提高了农业产量，三十年代到四十年代的农场规模不足70英亩，现扩大到126英亩；4、自田纳西流域管理局（TVA）成

立之始，就十分注意提高农民的农业技术和管理水平；5、该管理局在兴建水坝、水库、造林、养鱼、水土保持、建设航运网等的基础上，在山区建立了110个公园，24个动物管理区等。田纳西流域治理的主要经验是从政策、机构、规划和设计等各个方面努力，比如对该流域在战略上实行全面的、综合的、长远的治理，而在具体战术上则有层次地、有侧重地发展各种主要环节，以带动全局；以兴修水利为契机，进而发展化肥，最后做到农、工、商、林、牧、渔全面发展；并根据客观情况的变化，对计划作了必要的修改，保证了设计方案的最佳效果。在综合的多项目长期规划中，这种灵活的手段是极其必要的。

## 二、土壤侵蚀与植被的作用

无地表覆盖的缓坡地或平坦地的土壤侵蚀，以雨滴溅蚀、细沟侵蚀、风蚀等方式为主，其主要原因是土壤的抗剪切应力小于各种外力。因此，防止这几种土壤侵蚀的措施，在国外一般都是采取消减雨滴动能，增加土壤渗透率的方法，比如植被覆盖法，个别地方也采用薄膜覆盖。由于各国自然条件的不同，它们处理两者之间关系的方法也不完全相同。

(一) 西德。据测定，无植被条件下当降雨强度大于10毫米/小时时，即发生坡地土壤侵蚀，侵蚀量的大小决定于土壤腐殖质含量，土壤冲刷强度则决定于坡度。他们认为，要创造土壤微粒结构，则必须在农田地表保留前作的植物残茬，适当间种春播作物，缩短地块长度，保留宽1—2米、间距20—40米的植物带；沙质和泥炭质土壤种植甜菜最易遭风蚀危害，布设防风林可有效地防止侵蚀。比如，在8月中旬按10—12公斤/公顷播种叶芹草属的种子作为行间作物（此行间作物到冬季才枯萎）。

(二) 美国。迈耶和福斯特(L.D.Meyer & G.R.Foster) 1975年的研究指出，覆盖消除了雨滴动能，比没有覆盖的细沟侵蚀(不包括细沟间侵蚀)减少一半。细沟径流流速近似与流量的立方幂相关，而覆盖对细沟径流流速的影响很小。细沟侵蚀的泥沙10—20%是大于1毫米的颗粒，有些颗粒大于5毫米。

兰格和麦克卡弗里(R.D.Lang & L.A.H.Mccaffrey) 1984年则研究了地面覆盖对牧草地径流小区土壤流失的影响。他们对覆盖率的资料作了分析，指出牧草覆盖度影响径流发生的次数、程度和范围，但对个别侵蚀事件的总土壤流失量似乎无多大作用。面积为0.01公顷小区的土壤流失量变动于10公斤/公顷(完全覆盖)到4吨/公顷(覆盖率为20%)。实验地土壤形成的估计速率指出，覆盖度小于50%的小区可见土壤流失率比土壤形成的可能速率要大得多；但是覆盖度>75%小区的可见土壤流失率比土壤形成的可能速度要小得多。一般认为，土壤流失和土壤形成之间达到平衡时的植被覆盖率是50—70%。

对于缓坡地、平坦地上的土壤侵蚀方式，美国土壤保持局在印第安纳州的降雨模拟试验说明，生长草皮的土壤的入渗雨量比未有草皮的土壤增加1倍，密植和窄行距能提高作物覆盖的保护作用。如种植大豆的行距分别为18、51及102厘米，播种后第4周，覆盖率为65%、30%及20%；到第8周，覆盖率分别为100%、98%及70%。轮作中加入牧草是防止土壤侵蚀的主要因素。此外，森林的枯枝落叶层、根系和作物残茬覆盖等，具有巨大的水土保持作用。

(三) 苏联。特勒什夫斯基和谢留瓦诺夫(И. В. Трешвский и А. И. Селиванов)对保护露天矿区的的结果说明，露天开矿法造成了大量易受破坏的土壤。为了防止和消除露天采矿所造成的危害，改造人为景观，森林栽培起着重要的作用。沙棘(酸刺)是废石堆造林最

有前途的树种之一。它具有抗旱性、抗寒性和固氮能力，能够在各种土地上生长；它生长量高，根系广布，颈部形成大量萌蘖，可稳定废石堆坡面，因而能够完全制止水蚀和风蚀；它还可绿化沟壑。除此而外，它还可作为地方工业提供有价值的果实。

这两位学者还作出了如下的定义：最佳森林覆盖率是这样的森林面积百分比，即立木和森林其它成份能够最充分的和多方面的满足国民经济对木材及其它效益的需要，起到涵养水源、保护土壤和调节气候的作用，促进农业增产，并能为林区有益动物和水域鱼类的生栖创造良好条件。因此，最佳森林覆盖率不仅要按自然区分别予以确定，而且在同一自然区内要根据森林植被率、土壤、地形和水土流失程度等不同情况进行确定。

自然地理条件类似、森林植被率相同的集水区，有时比绿化较好的集水区对河流水情的影响更好。

### 三、耕作方法与土壤侵蚀

如何利用有限的土地资源，并尽可能减少和防止土壤侵蚀呢？

这一问题几乎世界所有国家都在研究，提出了一些现实可行的方法，比如最少耕作法、免耕法、带状耕作法、等高垄作法、作物—牧草轮作法、残茬覆盖法、休闲地法等。这些方法都是根据当地具体的社会、经济和自然条件提出的。

目前耕作制度的发展趋向，由于土地面积的相对减少和对食物饲料等要求的不断增加，迫使人们发展多熟制。为了减少能源消耗、保持水土、降低成本，便出现了少耕法和免耕法。所以有两个明显的趋向：1、种植制度上的多熟制由少到多；2、耕作次数由多到少。多熟制大体可分为二类：1、复种指数不高，但农林牧三者紧密配合，经济发达；2、复种指数较高，但经济不发达。后者多属于亚非拉发展中国家。研究指出，一个地区能否实行多熟种植，热量是重要因素，一般在大于 $10^{\circ}\text{C}$ 的积温不足 $2,000^{\circ}\text{C}$ 的地区，不能实行复种，混作也很勉强。

(一) 澳大利亚。澳大利亚对于保持土壤的耕作方法作了一些研究。1976—1977年在地面坡度为5%、本身有覆盖的暗色粘质土壤上布置试验，采用了4种耕作技术：1、从开始到最后的耕作都使用松土铲留茬；2、凿形松土机松土后再用矢形铲中耕机整地留茬；3、圆盘耙覆土再用刮土机整地留茬；4、烧毁残茬，随后利用刮土机整地（对照）。开始时土壤团粒水稳性程度和有机碳含量的差异还不显著，但二年之后调查4种技术处理下的土壤，发现团粒的水稳性就变坏了。在研究地段上试验初期，土壤团粒的水稳性和有机碳含量比相邻荒地少得多，因此在所研究的这几种处理条件下土壤团粒水稳性的迅速恶化，就成为免耕法配合使用除草剂防治杂草决策的重要依据。休闲地初期的人工降雨试验还证明，松土铲和凿形松土机耕作对防止径流和冲刷有好处，因为犁盘的松土作用和凿形松土机耕作比其它处理的水渗透速度要快。

研究表明，决定土地侵蚀强度大小的一个最重要因子是土地管理。据阿维耶尔德和汉密尔顿(J.M.Aveyard & G.J.Hamilton)等人1983年研究认为，大部分侵蚀发生在地表糙度低、植被覆盖少和地表稳定性差的土地上，与经过牧场措施处理的土地相比，耕地径流量增加了5倍，土壤流失量增加了139倍。等高耕作也有减少土壤侵蚀的作用，对于平缓小坡若遇大雨，它能完全防护土地不受侵蚀。他们还认为，硬茬播种由于不经过预先耕作而是在未受影响的土地上直接播种，具有以下优点：1、把原覆盖度维持到将要播种时；2、硬茬播种对土壤的干扰轻微，减缓了氧化有机物的速度，促进土壤动物的发育，不破坏大孔隙结构，对土壤渗透、水力传

导和土壤储水量都有好处。硬茬播种法对较干旱或贫瘠的土地是很适用的。

再者，澳大利亚学者研制的移动式空气动力设备，可以比较不同耕作方法、时期、犁地速度、土壤湿度和不同农业技术措施（留茬及其它方法），对土壤抗蚀稳定性的影响，他们还利用航空摄影估计每年风蚀造成的土壤损失，证明缓慢犁地、少耕、直播、横向布设垄沟、湿土耕作等，都能增加土壤对风蚀的稳定性。

澳大利亚土壤保持局从1972—1978年在靠近首都堪培拉的吉宁德拉（Ginninderra）试验场，进行了各种耕作重复处理，包括：1、传统耕作法（CT），耕作深度是10厘米，总共耕作了3次，并进行或不进行碾压和播种；2、少耕法（RT），耕作深度较深（40—60厘米），只耕作2次，播前碾压或不碾压；3、直播（DD）。结果说明，若采用这三种耕作措施，就会使土壤物理条件保持良好状态；结果还说明，这种耕作使土壤有机质含量、容重、渗透性和抗蚀性都得到了改善。

展望未来，这些措施对于改良作物营养，简化农作，改善土壤和保持水分，还有很大潜力可以挖掘；反过来，这些措施又对持久性和更有生产力的农工联合企业打开门路，并且减少土壤保持工作的费用。对于土层薄、易于侵蚀的贫瘠土壤，这一方法具有深远意义。

（二）美国。美国的土壤保持耕作方法与澳大利亚基本一致，但有它自己的特色。美国农业部农业研究局沃尔特 J·罗斯等人通过分析田间研究结果后指出，减少耕作次数或增加作物及残余物覆盖，可增加地表糙度，从而消减地表径流速度，而地表径流速度的减小通常导致土壤入渗量的增加。如果能够使地表蓄水量增加、土壤导水性提高，或减少雨滴打击力，那么这种土壤保持耕作措施便是有效的。

把有机耕作同土壤保持联系起来，是美国土壤保持的又一特点。美国农业部对有机耕作的定义是：有机耕作是避免或排除对农作物施用化学复合肥料、杀虫剂、生长调节剂和饲料添加剂的一种生产体系。它在很大程度上依靠作物轮作，施用作物残体有机饲料、有机肥料和厩肥，种植豆科和绿肥作物，运用矿质岩石，实行机械耕作，生物防治虫害，以维持土壤生产力和可耕性，供给作物营养，防治杂草和病虫害。一般人认为，有机耕作是一个基本农作方法，但是现在的有机耕作者却使用着最好的作物品种和土壤保持措施。特里（Terry Cacek）在1984年认为，有机耕作和土壤保持耕作法似乎都对土壤、水分和养分能产生实际的土壤保持效益。比如在玉米带内有机耕作比土壤保持耕作能节省更多的能量消耗，而在小麦带内这两个体系都节省能量，二者都是有生命力的。莫里和罗威茨（J.Morin & E.Rowitz）等人（1984），则根据已知的土壤性质和历年降雨随机性资料的分析指出，对任一土壤和耕作条件的实际田间土壤渗透性，可以用模拟降雨来确定，并建立了一个降雨量与径流关系的计算方法。它提供了评价任一耕作体系防止径流产生的效率的可能性。

1984年，哈特（Harte）对美国耶利罗（Yallero）北部地区最稳定和最完整的牧场采取了各种方法，并与农业管理相结合，利用土壤流失通用方程式（USLE）测算了土壤流失的潜力。该式还用以确定具有代表性土壤类型的特点，作为平均坡度的实际土壤流失量。有4种休闲地，它们分别经过利用和非利用处理，带有或不带有等高埂系统，用以与连作冬小麦体系作比较。

结果说明，把土壤流失减小到允许水平，会引起土地利用中某些令人注目的变化，诸如土工、带状耕作与牧草休闲地轮作和最少耕作法等土壤保持措施，将对耶利罗北部地区产生最直接、最迅速的效益。

1971年美国在占总耕地面积27%的土地上应用了护土耕作法，免耕面积占2.5%。结果表明，

保留植被是防止表土侵蚀的最有效办法。就防止土壤侵蚀的效果而言,密条播>宽行距条播,多年生植物>一年生植物。护土耕作中最有效的是免耕法,在每公顷土地上保留秸秆覆盖100公斤以上时,土壤吹蚀量平均为2吨/公顷,无覆盖的土地则达32吨/公顷。冬小麦直播可有效保护土壤。此外,他们还通过合理的耕作制度,用缩短坡长、降低坡度的手段减少土壤流失量。例如,修建梯田使流入渠道的沉积物减少60—95%;等高种植,依坡的长度及坡度的不同,可以减少侵蚀量10—15%;等高带状种植,依作物长势和坡的长度及坡度的不同,可以减少侵蚀量的90%。

(三) 苏联。И.Л.捷米琴柯和B.П.格列波佐夫,1983年研究了顿河地区防治土壤侵蚀的农业技术措施。他们认为,运用土壤平切整地,在东北部(在中等风蚀和强水蚀条件下)、西北部(在强水蚀及弱风蚀条件下)和亚速海沿岸(在强水蚀和中等风蚀的条件下)地区的国营农场绝对休闲地上,在干旱年份种冬小麦就可获得增产。平切整地土壤的冻结深度,比翻耕法整地减少1/3,从而保护了秋播作物更好的越冬。

(四) 日本。为了在冻土地地区坡耕地上防止因融雪、融冻土引起的土壤侵蚀,日本人采取了大体上相同于夏季期间防止土壤侵蚀的方法,即坡耕地进行横坡种植,坡面长度可缩短到不妨碍机械施工的程度。他们还采用换土办法,把火山灰土换上3厘米、6厘米和9厘米厚的草炭土,利用耕翻换土和改良耕翻换土措施,即把火山灰地表50—100厘米深处的肥沃土壤向上耕翻,使其混合到耕种土层里去,即为耕翻换土。其效果与肥土混合到火山灰土壤的效果相同,它们都改善了土壤板结结构,无冰溜凝土状冻结,消除了冻胀对作物和土壤的恶劣影响。他们还利用土壤改良剂聚乙烯醇(PVA),抑制火山灰土的毛细管作用,以防止土壤冻结。这样做的目的是形成土壤团粒。

## 四、防止泥石流的对策

泥石流在世界大部分国家都以不同程度出现,但较突出的是一些沿海多山国家或某些经济落后、气候湿润的国家和地区,其中较典型的是日本和印度。

日本发生泥石流的原因主要有两点:1、国土狭小,人口密集;2、多山,地形破碎,大雨、暴雨、台风袭击频繁,火山地震活动猖獗,地质条件脆弱。具体地说,日本山地面积占国土总面积的76%,年平均降雨量为1,800毫米,日降雨量常超过200毫米。由于第二次世界大战期间,大量修筑军事设施,乱伐森林,致使山地荒芜,很多地方没有植被保护。他们因害设防,立法明确,把生物措施与工程措施相结合,治理易受灾的荒地和易罹灾的山地,大力营造各种防护林,如海岸防灾林、防风林、雪崩防止林、防火林、保安林、滑坡防止林。建设省的系统治水包括治山坡、筑堤坝和栅栏,建导流工程。

印度经常发生洪水灾害。据调查,洪水发生在土地和河道两个地方。洪水最初是由地表径流汇集形成的,它受流域特征的重大影响,其中发生在平原地区最严重的洪水灾害的主要原因,一般认为是来自该流域的输沙量和洪峰流量。实际上,流域的大输沙量迅速积聚在河床上,便很快减小了河流的储水容量。因此,当洪峰到来时,被减小的河流储水容积便难以容纳洪水,结果洪水溢出河岸,使邻近地区遭受洪水灾害。帕特纳克(N.Patnaik)1978年认为,减少输沙量和流域洪峰的措施,是解决洪水问题的最有效途径。他提出两点:一是加强流域管理,二是实施水土保持措施。印度国家农委支持这两个建议。国家水利委员会则认为,这种措施应当包括筑堤、修梯田、造林和牧场改良。完善的流域发展规划应当包括多项内容,例如使作物产量提高,改善森林

和牧场的立地条件，进而增加收入，减缓中小洪水，提高一般小河流的水位，减少流域的产沙量。这些效益是难以用数字作定量估计的。

日本、美国和印度等一些国家对泥石流和洪水的发生过程及其影响作了数学分析。日本的濑尾克美、水山高久和上源信司等人1983年通过实验，研究了泥石流的发生和形成过程。他们采用了长5米、宽20厘米，两边装有透明玻璃的水槽作为“河道”，其坡度可以改变。水槽底部铺有厚5厘米、长5米的泥砂，并在水槽末端和中部分别设置了高为15、20和25厘米的拦砂坝，借以研究三种情况：1、上下游均无堆沙；2、上游淤满泥沙而下游无泥沙；3、上下游均淤满泥沙，并得出下述结论：

1、坝的储砂率增加，则峰值削减率也增加，要把最大量泥沙减小到什么程度，根据坝下游的水路形状确定。

2、拦砂坝能够阻挡集中在泥石流前部的粗粒泥沙，阻挡多少随储砂容量的大小而改变。

3、坝的贮砂容量与输砂量相比，在不少情况下，泥砂到达前的坝内堆砂状况，与溢流的泥沙、输砂浓度和泥砂总量等特性几乎无关。

4、泥石流刚一到达，泥沙便迅速堆积，达到同水槽一样的坡度，随后坡度逐渐变小。

春山园寿、地头园、隆和城本一义等人，在1984年对日本樱岛北部斜坡做了调查。该地北岳（117米）坡度大，流入鹿儿岛湾的溪流都来自降雨时沟谷的集流。可观测的泥石流沟道有4个，它们是夏谷川、深谷川、西道川和松浦川。

他们分析了当地从1980—1983年的降雨、泥石流资料以及该地的自然情况，得出了下述结论：

1、樱岛发生的泥石流，与山腹和溪流的荒废状况、河床堆积物状况、降灰量和降雨量等多个因子有关。

2、泥石流先端流速并不是最大流速。巨大的石块以滚动、滑动或浮流状态向下游运动。流量的变小因运动方向、流速和移动材料而有所不同。

3、发生泥石流的降雨条件是，累积雨量约10毫米，60分钟的雨量为6毫米，10分钟雨量约为4毫米。

4、一般洪峰流量挟带的泥石流总流量较大，它与最大10分钟雨量的相关性最高，与泥石流发生前10分钟和60分钟雨量的相关性较小，而与累积降雨量无相关性。

5、泥石流总流量与累积雨量、最大10分钟雨量、泥石流发生前10分钟雨量及60分钟雨量的相关性较高。

今后日本研究泥石流的方向可能是：1、确定泥石流流速的测定方法；2、探讨泥石流发生的次数与降雨条件之间的关系；3、解析每次泥石流的各种特性以及泥石流发生、流出和降雨条件之间的关系。

## 五、沙漠化及其防治

据联合国环境规划署提供的数据，当今世界上许多国家都遇到了荒漠化现象。荒漠化涉及的地区居住着约6亿人口，占世界居民的1/6左右。人为荒漠约有900万平方公里。中美洲、北美洲沙漠化面积有450万平方公里，欧洲有96万平方公里，亚洲1,460万平方公里，澳洲630万平方公里，非洲1,730万平方公里，南美洲360万平方公里。在干旱和半干旱土地上的居民占地球人口的

14%。

但是沙漠化地区又是人类不得不重视的主要资源，因为

1、荒漠区具有雄厚的自然资源潜力，包括以下要素：

——气候特征（首推太阳辐射的巨大作用）；

——各种天然能源，比如太阳能、风能等；

——矿产资源丰富，比如石油和天然气；

——特有的天然生物资源。

2、拥有实际上无限广阔的土地资源，加以改造之后，可用来容纳工业、民用、运输和其它形式的建设项目，以及用于农业的多种经营。

荒漠化多半是天然的和人为的两方面因素共同作用的结果，即干燥地区的自然特点所导致的干旱，以及人类活动（植被被砍光，过度放牧，水文及水文地质条件遭受破坏等）的影响。

荒漠化表现为植被成分和动物成分的改变，以及它们生物生产量的下降、水状况的恶化和破坏性侵蚀过程的发展；人为沙化荒漠化的极端体现，是植被和地表遭到彻底破坏，沙质土被吹扬，土壤受到水蚀，水浇地和受水淹的土地发生次生盐渍化等等。

世界各国控制沙漠化的基本对策，是生物措施和工程措施的综合治理，并从国家预算和土地利用规划中给以资助和适当考虑。

（一）非洲。北非的阿尔及利亚、摩洛哥和突尼斯三国由于不适宜地开垦土地，使用动力设备平整土地，过牧、烧荒、风速大和气候恶劣等原因，土地沙漠化严重，其中突尼斯每年有1.8万公顷的农田毁于沙漠之中。它们保护土地的基本方法有：

1、植树造林；

2、耕作措施，例如等高耕作、轮作制度、秸秆还田覆盖和畦垄栽培等；

3、工程措施，比如滞洪的台阶平地、用块石堆砌的护坡墙等；

4、综合治理，有牧草与作物轮作或永久性牧场、果树园、青饲料基地的建立和重新组织流域内人们的合作等，都是努力的方向；

5、控制风蚀的防风林带，其中典型的有植物栅栏屏障，由单行白杨树组成、排距4米的中部防风林等；稳定沙丘的措施有网格式灌木篱笆、植物覆盖等。突尼斯的杜慈（Douz），试用尼龙网稳定沙丘，在沙丘间种植耐干旱树种；

6、防止沙漠进一步扩展的措施。阿尔及利亚曾试图在西南方向建立1,000多公里长、10—15公里宽的“绿色带”，以抑制撒哈拉沙漠向北扩展。另一途径是在有沙化危险的土地上，进行合理的经营管理，有计划地进行牧场改造和畜牧生产。坦桑尼亚的沙漠化过程发生在年降水量为400—600毫米的半干旱区。这个国家对有关沙漠化的研究开始于1968年。他们治理沙漠化的基本措施是：1、压缩牲畜总数；2、把自然资源的合理利用和保护相结合，包括绿化周围地段的措施，如植树造林；3、开垦新的土地时实行新的农作法。他们依靠植树造林和整修梯田已经恢复了7,500公顷退化的土地。T.A.赛科建议，应当利用航测方法弄清生态系统破坏的程度，研究国家对自然资源综合管理的科学方法。

另外，非洲的撒哈拉沙漠向南扩展，对邻近地区影响极大。据1977年在内罗毕举行的联合国沙漠化会议估计，近50年来，仅撒哈拉沙漠南缘地带，约有65万平方公里原来可生产的土地已变成沙漠。直接受到沙漠化影响的苏丹——萨勒地区，包括16个国家的全部或部分国土，在撒哈拉沙漠以南，赤道以北，西起大西洋，东迄红海和印度洋，形成一条横贯非洲的地带。

鲁宾 (Ruben Mendez) 1981年认为, 这种局面的起因是很复杂的, 而主要原因是脆弱的生态平衡系统遭到破坏。比如, 年降水稀少而不稳定 (100—800毫米), 造成了有限的生物量和载畜能力, 特别是由于过牧、砍伐乔灌木解决能源问题, 使得这种严酷的环境进一步恶化。

科学工作者提出, 沙漠化的整治途径应根据下述步骤进行:

- 1、为确定最合理的土地利用方式进行土地调查;
- 2、搜集情报进行监测;
- 3、应用合理的牧场管理技术, 对于牧场退化, 可使用能使植被恢复的放牧方式;
- 4、搞好土壤保持, 要有水资源开发和适度用水规划;
- 5、森林管理。

治理的具体措施基本同前, 只是这里的做法更为细致。对干旱地区耕作土地, 先编制土地类型和分类图, 标出旱作的适当界限, 严禁砍柴和烧荒, 耕地要休闲, 然后采取相应的工程和生物措施, 比如造林、固定沟头、沿冲沟修筑分水渠、阻水坝、种草、修筑水平阶等。对于灌溉地的退化问题, 由于干旱、半干旱地区灌溉地经过水涝、盐碱化作用, 也会变成沙漠土地。治理的方法是在旱地上改良土壤、降低地下水位及冲洗土壤以减少含盐量。

(二) **印度**。印度位于南亚次大陆, 在东北热季降雨区约有面积为2.86万平方公里的大沙漠, 流沙和流动沙丘是印度沙漠的一个严重问题。当地科学工作者把沙丘分为6类, 包括障碍沙丘 (Obstacle dune)、抛物线性和复合抛物线性沙丘、纵向沙丘、横向沙丘、新月形沙丘和灌丛沙堆。固定沙丘的方法分三步: 1、建立平行或格状沙障; 2、直播和植树造林; 3、防止生物干扰, 保护自然生态平衡。

(三) **澳大利亚**。澳大利亚把沙丘分为沿海和内陆两大类。在澳大利亚南部的冬季降雨地区, 对于前沿沙丘使用的主要固沙材料是海滩草 (*Ammophila arenaria*)。在东部沿海的夏季降雨地区, 则在灌木下播种本地的毛鬣刺 (*Spinifex hirsutus*)。在维多利亚沙丘前沿朝海一面的坡脚, 种植海洋冰草 (*Agropyron junceum*)。在南澳大利亚和西澳大利亚州, 种植皮普草 (*Ehrharta villosa*), 作为第一期固沙植物; 第二期固沙植物, 包括指状羽扇豆 (*Lupinus digitatus*)、树状羽扇豆 (*Lupinus arboreus*) 等; 而第三期的固沙植物有多种乔木和灌木, 包括海岸茶树 (*Leptospermum laevigatum*) 和小木麻黄 (*Casuarina strictia*) 等。

内陆沙丘的改良, 通常是限制在年降雨量超过250毫米的农业地区。在干旱和半干旱地区, 对不固定沙丘的处理, 一般是控制放牧和兔子对植物的啃食。用的改良植物主要有澳大利亚黑麦、苜蓿 (*Medicago sativa*)、月见草 (*Oenothera biennis*) 及掌状羽扇豆 (*Lupinus digitaris*) 等。

(四) **苏联**。苏联主要研究了以下几个问题: 1、荒漠地表水和地下水 (淡水和盐水) 的迁移、平衡形成及其经济利用; 2、气候及土地资源的合理利用; 3、遥感技术在自然条件及自然资源利用中的应用; 4、农业高效能利用沙地的科学原理及灌溉问题; 5、提高荒漠草场中人工饲料生产力的生态原理及措施; 6、为各种经济建设服务而进行的防止流沙堆积及风蚀原理; 7、荒漠生物生产力及其决定因素; 8、评价开发荒漠区各种方法的经济效益。

## 六、防止侵蚀和保护土壤的新技术新方法

现在世界上有不少国家开始对引起土壤侵蚀的因子及其过程进行定量化描述, 并已取得初步

进展。这一工作将有助于人们有计划、有步骤、有成效地控制土壤侵蚀的发生，同时也产生了不少新颖、实用的科学技术。

(一) 估价土壤侵蚀的新方法。包括研究土壤侵蚀的新测试和计算等方法。

已知雨滴大小、分布和动能的降雨事件，可以借助于降雨模拟器来完成。它可用来研究地表径流、水土流失和水分入渗。克海布赖和萨布哈什 (M.L.Khybri & Subhash Chandra) 等人1978年参照其它资料设计了一个便于携带的简便式模拟器，用这一降雨器获得的雨滴平均直径为3.8毫米，其雨滴最大降落速度为6.4米/秒，它可以用在实验室研究侵蚀，也可以用在田间有限范围内。

莫里、罗威茨和胡德莫伊 (J.Morin, E.Rawitz & W.B.Hoodmoed, 1984) 等人研究了降雨量与径流的关系。他们的做法是根据已知的土壤性质和历年降雨随机资料的分析，建立了降雨量与径流关系的计算方法。它提供了评价任一耕作体系防止径流产生效率的可能性，它包括以下4步：

- 1、借助便携式降雨模拟器来确定一土壤类型在控制条件下的渗透特性；
- 2、通过分析该地区实际降雨情况的长期记录资料，获得暴雨强度的分布特点；
- 3、把土壤渗透系数同暴雨强度分布图式结合起来，根据记录计算每一次降雨产生的径流量和流速；
- 4、按照降雨的随机分布，通过计算来预测多个因子影响下的径流数值。

这种方法不但可以预测给定土壤条件下径流的随机性，而且还能为成功地实行区田耕作 (tied tillage) 体系提供有关表土储水量的必要资料。这种方法旨在评价各种措施改良土壤渗透性的效率。

计算降雨动能是一件十分冗长的工作。对降雨动能与土壤侵蚀的关系研究，已在很多地方进行。除了威斯奇迈尔和史密斯 (Wischmeier & Smith) 的土壤流失通用方程式以外，有人还专门研究了降雨动能 (KE) 和暴雨侵蚀指数 (EI) 的关系。比如威斯奇迈尔和曼纳林 (Wischmeier & Mannering)，1969年提出了一个计算降雨动能的公式，并通过电子计算机程序演算，即

$$y = 210.3 + 89 \log I$$

其中：y——降雨动能，用米·吨/公顷·厘米表示；

I——雨强，单位是厘米/小时；

萨布哈什和克布里 (Subhash Chandra & M.L.Khybri) 等人又发展了这一工作，建立了回归方程：

$$y = -20.0 + 243.5x \quad (r = 0.99; n = 23)$$

这里，y——动能 (以米·吨表示)；

x——降雨量 (厘米)。

从1960年到1972年，这一回归关系式每年有所差异，但它们的相关系数均 $\geq 0.96$ 。

尤洛特、卡姆普贝尔和洛夫兰 (Eulott G.L., Campbell B.L. & Loughran R.T.) 1984年利用示踪原子铯 ( $^{137}\text{Cs}$ ) 评价了土壤可蚀性与侵蚀之间的关系。他们从1978年9月到1982年，在5个侵蚀—径流小区 (2平方米) 上，选取径流样品和集水槽中累积的泥沙，测定其重量，并在邻近小区无侵蚀地点选取了土壤剖面，测定了示踪原子铯的含量。结果说明，示踪原子铯的含量同土壤流失量之间有高度的相关性。它们的关系可表示如下：

$$y = 8.16x^{0.244} \quad (r = 0.995)$$

这里,  $y$ 是放射性核素的损失量, 用输入百分比表示;  $x$ 是土壤流失量, 单位公斤/公顷·年。他们得出的结论是, 在只发生侵蚀的土壤中, 周围示踪原子铯的含量同土壤流失量成比例, 科利斯—乔治(Collis—George)于1972年和费科罗(Figueroa)分别于1972年和1979年提出的团聚体稳定性指标是可变的, 并与示踪原子铯的含量密切相关, 因此, 也就与土壤流失量间接相关。

对土壤侵蚀的定量化研究, 也在其它问题上有所反映。罗斯(C.W. Rose)等人于1983年应用了平面径流(假设径流为运动流体)的近似值分析理论, 建立了用于平地要素的土壤侵蚀和淤积的数学模型。与侵蚀和淤积过程同时发生降雨的分离、泥沙淤积、地表径流对土壤的运载和流体功率等, 用来表达土壤运载过程速率的概念, 可用数学关系加以描述。模型的分析方式, 是如何把保持泥沙质量的一阶偏微分方程简化为一个常微分方程。结果表明, 如果依照4个确定的土壤因子〔即降雨对土壤的可分离值, 泥沙输移率, 推移质输移系数和流体功率(stream power)的极限值〕、坡度、两个独立的覆盖因子(即未受保护的土壤百分比和被覆盖物保护的土壤百分比)及降雨和径流速率, 泥沙浓度将一直是沿坡面距离的函数。

雨量和雨型、坡长和坡度、土壤的可蚀性、耕作管理方式等一系列因素, 均对片状侵蚀和细沟侵蚀产生影响, 定量估算上述因素的作用, 是制定控制侵蚀措施的第一步。澳大利亚把土壤流失通用方程式用于估测土壤流失量, 具体包括:

- 1、在一定的经营方式和土地利用条件下, 预测具有某种坡度的土地年平均土壤流失量, 并通过选用合理的R值和C值, 测定作物任何生长阶段的土壤流失量;
- 2、针对一定地区, 选择保土措施;
- 3、若改变耕作管理方式, 土壤流失量将有何变化;
- 4、评价等高耕作、等高条植、等高埂垄等措施, 减少土壤流失量的作用;
- 5、计算不同耕作管理方式下的坡地最大长度;
- 6、除农地以外, 还可用于计算其它用地上的土壤流失, 包括建设工地、森林和旅游区等。

土壤侵蚀对土壤生产力有极大的破坏作用。威廉斯、雷纳德和蒂克(T.R. Williams, K. G. Renard and P. T. Dyke), 提出了一个侵蚀影响土壤生产力的新估价方法Epic (Erosion—productivity impact calculators)。它包括8个因子, 即水文、气象、土壤侵蚀、营养、植物生长、土壤温度、耕作和经济因素。估价是通过模拟完成的。

水蚀是用修改过的土壤流失通用方程式模拟的; 土壤温度的模拟适用于Epic中营养元素循环和根系生长两个要素。有人预言每一土层中心区域的温度, 是先前土温和现在气温与太阳辐射的函数。Epic耕作模式模拟垄高、地表糙度、容重变化、残余物的长期转变、土层混合、耕作活动对植物残茬和养分的影响; Epic的经济因子利用农作预算方式计算作物生产成本。收入决定于模拟的年作物产量。纯利润受土壤侵蚀状况的制约。此外, Epic模拟计算都是通过电子计算机完成的, 其模拟精度也很理想。

由以上各点看出, 土壤侵蚀规律是客观存在的, 经过实验和理论探讨是可以掌握的。现在虽已取得了某些进展, 但距离实践和推广运用还有许多待解决的问题。

**(二) 保护土地的新措施。**各种不同类型的土地, 都存在着不同程度的土壤侵蚀。保护这些

土地的基本策略，是分别不同情况，“对症下药”，采取相应措施。随着土壤保持科学研究的进展，人们已设计出了不少切实可行的合理方案和办法。

在澳大利亚新南威尔士北部的莫里 (Moree) 地区，由于受到邻近排水线以及各种各样土壤类型的影响，控制缓坡地的侵蚀活动比较复杂。对于坡度为 2% 的农耕地的基本对策，是利用一个把径流水引向稳定的、植被覆盖良好或建筑合理的水道均衡岸坡体系 (graded bank system)，在坡度不超过 1% 的农地上，采用的策略一般是实施横坡带状耕作，并且在带状轮作范围内，实行土壤保持农作措施。

现代梯田系也是控制坡地土壤侵蚀的一种有效措施。有些农田的保护耕作和妥善管理尚不充分，根据排列定向、横断面、坡度和排水口类型建造的梯田，有助于保护坡地土壤。按照坡度情况，梯田可归类为倾斜型或水平型两种。水平槽式梯田埂全部或部分地是为农作物储藏径流的水水平护道，陡反坡梯田全部或部分地是由下坡边埂土修建成的，陡反坡不是种植农作物的，而是种植永久性植物。这类梯田降低了耕地坡度，并比建造宽埂梯田更经济一些。窄埂梯田类似陡反坡梯田，但是埂的两边都是陡峭的，并且都种植永久性植被。陡反坡梯田和窄埂梯田，都降低了耕地的种植坡度。为了控制土壤侵蚀，最大梯田间距一般是用土壤流失通用方程式或其它方程式确定的。对河岸边坡的保护，则多采用草皮或树木护坡等一些历史悠久的方法。加拿大萨斯喀温河上修建的几个工程，都计算了岸坡的稳定加固费用；英国制定了保护边坡的规范，即 1981 年生效的 Bs6031，“土工实施规范”，它包括各种冲蚀的原因和堤防的资料，还有边坡保护的各种方法，另一个是 1982 年生效的 CP2002，包括石笼等章节；1977 年法国巴黎工程师协会出版的“河岸与渠道的保护”，对各种有效的河岸保护方法——从柴排到抛石、到带空隙的混凝土块进行了评述；而美国和西欧已经研究出了很多边坡保护措施，尤其是化学技术十分先进。现在西方的化学保护措施有塑料乳剂、沥青人工合成橡胶乳剂、沙粒结剂，有塑料乳化的水力播种法，钢丝石笼组成的沉排，混凝土块、土及草皮构成的沉排放在或固定在反滤积物上以增加强度，还有带空隙的格形块排等。英国把化学技术运用于保护耕地土壤，他们根据播种后期至苗期，土壤机械组成和土壤湿度状况，适量使用 Винаул 3270 稳固剂。它不仅保护了土壤水分，使土壤变暗而提高了土壤温度，而且保护了土壤免遭风蚀、面蚀。

采用部分器具防止土壤侵蚀的方法也应用于水浇地。水浇地灌溉时，灌沟末端几米的泥沙大量被侵蚀，形成凸圆形地面，留下尾水明排沟。英国卡特 (Carter D.L.) 等人 1983 年选择了 21 块上述水浇地，在末端低洼处设置聚氯乙烯硬管或波纹管，以及聚乙烯波纹管的暗管防止径流系统。暗管在一定间距通过三通装接进水竖管，间距为 6—24 米，依地面坡度而定。暗管埋深至少 45 厘米。同时在一定距离修筑小土埂，拦截尾水出流，迫使水进入竖管排出地块。该系统使沟末端低洼处的径流泥沙减少 80—95%，泥沙沉积量为 4.1—40.5 吨/公顷。凸圆形地面被淤平后，尾水明沟消失，扩大作物种植面积 3—7%，并减少了杂草滋生。管道使用寿命在 30 年以上。

1984 年，苏联对融雪水径流采取了综合抗侵蚀措施 (Рожков А. 1984)。全苏耕作及土壤保持科学研究所等单位认为，在冬季土壤冻层不厚的情况下，垄间拦截的径流量与融雪强度有关，它决定着土壤的渗漏量。当融雪强度为 0.1 毫米/分钟时，行垄间拦截的径流层深度 (微地形容积土加土壤渗漏量)，在无覆盖葡萄地等于 30 毫米，有覆盖葡萄地为 400 毫米以上；当融雪强度降至 0.01 毫米/分钟时，无覆盖葡萄地微地形的蓄水能力等于 96 毫米，在覆盖葡萄地为 47—96 毫米。无覆盖葡萄地，行间同时松土其蓄水能力未显出增高趋势。1980 年在覆盖葡萄地垄间横向筑埂，可增加拦蓄雪水 34 毫米。有覆盖葡萄地径流层深度变动在 7—47 毫米之间。

## 结 语

土壤侵蚀与水土保持是一种客观的自然现象和改造自然的对策。土壤侵蚀的发生是有一定规律的，虽然其发生形态和方式各不相同，但最终结果都使土地生产力减低，生态平衡失调。

从国外的水土保持研究进展可以得出这样一个结论，即，水土保持应从社会和自然科学两方面着手，分别不同情况，以经济而有效地措施治理水土流失，保护土地资源。为了搞好我国的水土保持，我们认为应当做好以下工作：

**1、从政策上重视水土保持。**我国地域辽阔，人口众多，经济、自然各方面的情况差异很大，对于从事水土保持工作无统一规范，没有衡量水土保持效益的科学标准。因此，把这一工作安排在国民经济计划中什么样的位置这一问题，应当解决好，制定出保护土地、合理开发国土资源的章程和条例；

**2、建立水土保持委员会。**建立从中央到地方一级组织的水土保持机构，基层设立相应机构，为开展水土保持工作加强领导，提供必要条件。

**3、加强国内外有关专业的联系与合作。**世界各国的水土保持都有自己的独到之处，我国土壤侵蚀的类型复杂，参考、借鉴国外有关研究手段等对我们自己的研究是有好处的。

**4、采取综合措施，分别不同情况治理各种类型的水土流失。**气象、地质、地貌、土壤、生物、人类活动等都是影响土壤侵蚀的因素，因此，水土保持措施不是单一的

**5、使水土保持研究工作向量化发展。**虽然水土保持工作具有群众性，但是如果从经济、合理的角度出发，多快好省地搞好这一工作，只停留在较原始的传统方法上，“水冲土挡”就比较落后了。

国外的土壤流失通用方程式（USLE），不仅用于测算土壤流失的潜力，还被用来确定具有土壤主要典型特点和平均坡度位置的实际土壤流失量。美国、澳大利亚、日本、印度等国对于量化研究土壤侵蚀都给予了充分注意。我国对土壤侵蚀机理的研究也做了大量工作，取得了一定进展。但是为了更进一步搞好水土保持，保护土地资源和生态平衡，量化研究土壤侵蚀，揭示其发展和运动规律，仍然是一项十分紧迫、亟待解决的课题。

---

（上接第37页）

## 四、结 论

1、不同植被类型保水保土效益以柠条林最好，比农地可减少径流泥沙99%左右；6—9年生洋槐林比农地可减少径流86—93%，减少泥沙98—99%；2—5年生沙打旺草地比农地可减少径流56—82%，减少泥沙95—97%，并随着沙打旺年龄（衰败前）和覆盖度的增加，保水保土效益增长；天然草地比农地可减少径流14%左右，减少泥沙63%左右；陡坡农耕地水土流失最严重。

2、本地区的侵蚀性降雨的降雨强度越大，坡面水土流失越严重，而且降雨强度对冲刷的影响，这比对径流的影响大。所以水土流失主要是由暴雨所造成，占水土流失总量的30—90%。

3、坡面水土流失主要来自陡坡农耕地，为了解决黄土高原的水土流失问题，要尽快退耕陡坡农耕地还林还草。