土壤侵蚀的环境、经济损失与 土壤保护的收益

王恩儒 译

土壤侵蚀对农业的持续性与生产力是一个严重的环境威胁。在过去的 40 年中,世界上因侵蚀而损失了近 1/3 的耕地,并且仍以每年 1 千多万公顷的速度损失。由于每天增加 25 万人口,世界人口的食物需求正在增加,同时,人均食物生产量却正在下降。

土壤侵蚀在世界范围内是一个严重的环境与农业问题,土壤侵蚀贯穿了农业的历史,然而在近些年来更加剧了。每年 750 亿吨的土壤被风和水从土地带走,其中大部分来自农业用地。土壤的损失使得耕地退化,最终导致绝产。世界范围内,每年大约 1200 万公顷的耕地由于非持续性的耕作而被破坏荒弃,只有大约 15 亿公顷的土地被开垦利用着。由于侵蚀土地损失和世界人口膨胀到近 60 亿,在非、亚、欧洲存在着人均耕地不足的现象。

为人类提供充分的多样化的饮食,人均约需要 0.5 公顷耕地,然而目前人均只有 0.27 公顷。40 年后,由于土地的损失及人口的快速增长,人均将只有 0.14 公顷。在许多地区,土地不足是导致食物缺乏和营养不良的一个重要因素,现在 10 亿以上的人口(约占总人口的 20%)因食物短缺和分配不足而营养不良。由于世界人口每年增加 25 万而土地因侵蚀继续退化,食物短缺和营养不良的状况有可能恶化。

大量施用化肥农药和灌溉有助于抵消侵蚀的不良影响,却又可能导致污染和健康问题,破坏天然栖息地及导致能量的高消耗和农业系统的不可持续性发展。土壤侵蚀也是导致森林被砍伐破坏的一个重要原因:随着农业用地退化荒弃,就需要砍伐更多的森林以提供农业生产用地。

在这篇文章中我们①考查侵蚀降低土壤肥力和作物产量的几种途径,②评估土壤侵蚀的环境经济代价,③对比各种能减少侵蚀、保持水土资源的农业技术和经验。

1 农田和草场上的侵蚀

世界的侵蚀速率 在世界的农业用地中,约 1/3 用来种植作物,其余 2/3 为放牧牲畜的草场。约 80% 的世界农业用地遭受中等到严重程度的侵蚀,约 10% 受到轻微到中等程度的侵蚀。农田最容易受到侵蚀,因为它的土壤不断被耕翻,没有植被保护。然而,在过度放牧的草场,土壤侵蚀速率会超过 100 吨/公顷·年,全世界一半以上的草场放牧过度,极易因侵蚀退化。

土壤侵蚀率最高的在亚洲、非洲和南美洲,平均 30—40 吨/公顷·年,美国和欧洲最低,平均 17 吨/公顷·年,然而即使在相对较低的美国和欧洲,侵蚀速率也大大超过了约 1 吨/公顷·年的土壤平均形成速率(A. E. B 层中的母质转化成土壤的速率)。在未被干扰的森林中,侵蚀速率仅为 0.004—0.05 吨/公顷·年。

美国的侵蚀速率 在美国农业的过去 200 年中,大约 1 亿公顷(30%)的农场由于侵蚀盐渍化和洪涝而被废弃。在水的侵蚀作用减弱时,风的侵蚀作用好象更严重了。美国的农田因水及风力的侵蚀以平均 17 吨/公顷·年的速率流失土壤,草场流失 6 吨/公顷·年。约 90% 的美国农田损失土壤超过可承受速率,约 54% 的美国草场(包括联邦的土地)放牧过度而易高度

侵蚀。

美国的土壤侵蚀程度可以有很好的证明。在过去的 150 年的农耕中，依阿华肥沃的表土层一半流失掉，并且继续以 30 吨/公顷·年的速率流失。类似地，在过去的一个多世纪中，美国西北部帕卢斯肥沃的土壤约 40% 流失掉了。

过去 50 年中，农场的平均规模已从 90 公顷增到 190 公顷，扩大一倍多。为建造更大的农场和田野，农场主除去了曾保护土壤免受侵蚀的草皮、防护带和灌丛树篱。农作物种植的专门化及重型机器的使用，破坏了整个土壤生态系统。

2 侵蚀过程

土壤侵蚀是由降雨和风转化的能量引起，雨滴砸在裸露的土壤上有一种爆炸性的效果把土壤颗粒抛向空中。在大多数地区，雨滴的激溅和片状侵蚀是侵蚀的主要形式。坡地上的侵蚀加剧，激溅的雨滴中的土壤一半以上被带下山去。

空中的土壤颗粒能被传送到几千里以外，例如，非洲侵蚀土地的土壤颗粒被吹至巴西城和佛罗里达；在夏威夷也发现了中国的土壤。

3 影响侵蚀的因素

在坡陡的耕地上侵蚀急剧加重。由于人口日益增长的需要和土地的退化，陡坡正例行地从森林转向农用。在传统的耕作方式下，这些陡坡高速率侵蚀：在尼日利亚陡坡（约 12%）上的树薯地，土壤流失 > 21 吨/公顷·年，而在平地上（< 1%）年流失 3 吨/公顷。菲律宾 58% 的土地坡度大于 11%，牙买加 52% 的土地坡度大于 20%，它们的土壤流失高达 400 吨/公顷·年。

留在田间的活着的和枯死的植物体能通过拦截吸收降雨和风能而降低土壤侵蚀和水的流失。例如，在密苏里州，荒芜的土地土壤流失是有草被覆盖的土地的 13 倍（后者每年流失量为 0.1 吨/公顷）。同样，在俄克拉何马州，没有长黑麦草或小麦的地区，流失速率是长有黑麦草或小麦的地区的 2.5 倍到 4.8 倍。

许多第三世界国家缺少植被覆盖地。在中国约 60%，在孟加拉国每年约 90% 的农作物秸秆被用作燃料烧掉，在燃料匮乏的地区甚至连草根和灌木枝都被收集起来烧掉。

土壤的质地和结构影响着它遭受侵蚀的程度，中、细质地有机质含量低，结构发育程度差的土壤渗透率低、地表径流高。

4 侵蚀和生产力

由于和侵蚀相关的生产力与人口的增长，过去 10 年中人均食物供给已经并且继续下降。粮农组织的报告指出，占世界食物供应量 80% 的粮食的人均产量，自 1984 年以来一直下降。

由于侵蚀降低了土壤肥力和可供水分，在严重侵蚀的土壤上农作物的产量比在受到保护的土壤上要低。在肯塔基，一些严重侵蚀的土壤其农作物产量已降低 12—21%，依利诺斯和印第安那州为 0—24%，在南皮德蒙特州为 25—65%，密西根为 21%。在菲律宾的几个地区，过去 15 年因侵蚀造成的谷物减产高达 80%。

水力和风力的侵蚀减少土壤的渗透率、持水能力、养分、有机质、土壤生物和土壤厚度，影响土壤的质量和产量。每一个因素不但单独地影响土壤生产力，并且与其他因子相互作用，使得评估土壤侵蚀对生产力的影响非常困难。

所有农作物的生产和结果都需要大量的水。例如在一个生长季里，一公顷的谷物产量为 7000 公斤，蒸腾约 400 万升的水，土壤同时蒸发 200 万升。

发生侵蚀时，地表径流量增加，因此进入土壤母质以供农作物利用的水减少。中等程度侵

蚀的土壤比没侵蚀的土壤每年每公顷少吸收 10—30mm 的水,相当于降水总量的 7—44%。这种程度的水的流失降低了农作物的产量。即使是 20—30% 的总雨量的流失率,也能造成农作物水的显著缺乏。莱尔指出,在热带地区侵蚀能使渗透率降低 93%。

除了造成水的缺乏外,土壤侵蚀还能导致植物基本营养物质的缺乏,氮、磷、钾、钙这些对农作物的生产都是极其重要的。1 吨肥沃的农田表层土一般含 1—6 千克的氮,1—3 千克的磷,2—30 千克的钾,但严重侵蚀的土壤含氮水平只为 0.1—0.5 千克/吨。风力和水力侵蚀有挑选性地移走细小微粒,留下大的颗粒和石头。被侵蚀掉的土壤含养分一般比留下来的土壤高三倍。

当养分储存因侵蚀枯竭时,植物生长受到阻碍,农作物产量下降。严重侵蚀的土壤比没有侵蚀土壤谷物产量要低 15—30%。如果施肥,减少范围在 13—19%。以目前的平均土壤侵蚀速率(17 吨/公顷·年),氮、磷、钾的流失能使农作物产量长期下降。如果土壤侵蚀为 1 吨/公顷·年或更少一些,农作物残根留在土地中补给农作物吸收转移走的养分,那么土壤质量和生产力就能保持高而持续。

有机质是土壤的必要组分,它能促进土壤团聚体的形成,增加土壤孔隙,从而改善土壤结构,提高水的渗透率,最终提高生产能力。另外,有机质增加水渗透、促进离子交换、根的生长和重要土壤生物的增殖。约 95% 的氮和 25—50% 的磷存在于有机体中。

肥沃的表土一般每公顷有机质 100 吨,由于绝大多数有机质以腐败的叶和茎的形式存在于土壤表面,表层土的侵蚀造成土壤有机质含量迅速下降。一些研究证明,被风或水侵蚀搬走的土壤有机质含量比遗留下来的土壤含量高 1.3—5 倍。因降雨每公顷流失 17 吨土壤相当于带走了 32 吨有机质。

一旦有机质枯竭,土壤生产力和农作物产量会因土壤结构退化和养分枯竭而下降。例如在密西根,土壤有机质减少 4.3—1.7%,使得谷物生产能力降低 25%。

尽管在评估侵蚀影响时常常忽视土壤生物,它们实际上是土壤的相当重要的一部分,组成了土壤生物量的大部分。1 平方米的土壤中能承载 200000 个节肢动物和蚯蚓等几十亿个微生物。1 公顷优质土壤平均含有 1000 千克的节肢动物,150 千克的原生动物,1700 千克的菌类和 2700 千克的真菌,土壤生物使植物需要的基本养分得以循环。蚯蚓和其他的土壤生物挖坑道和凿洞能增加水的渗透率,从而提高生产量。

传统农业的典型侵蚀会使土壤生物多样性和数量减少,而保持土壤有机质在最好水平有利于土壤生物的增殖。因而覆盖稻草的简单做法会使土壤生物增加 3 倍,有机质或粪肥的施用会使蚯蚓和微生物量增加 5 倍。

土壤形成很慢。在耕作条件下,形成 2.5 厘米(1 英寸)的表层土需要 200 到 1000 年时间,而在草场和森林条件下用的时间更长。在美国,每 16.5 年流失土壤 2.5 厘米,流失的速率是形成速率的 17 倍。据估计,在 1776 年美国表层土壤平均厚约 23 厘米,现在经过 200 年的耕作,平均厚度已降至原来厚度的 2/3(15 厘米)。

5 侵蚀作用于农作物产量的模式

为评定侵蚀怎样和在多大程度上降低农作物产量,必须考虑影响侵蚀速率的多种因素和影响生产力的土壤组成部分。我们已建立了综合考虑影响土壤侵蚀速率和土壤生产力的很多因子的经验模型,土地坡度、土壤组成、植被影响侵蚀的程度、土壤厚度、土壤生物量、有机质、持水能力和影响土壤生产能力的营养水平,这些因子组成了一个复杂的相互依赖的系统,一个因子的变化会影响所有的或其他的许多因子。这些模式阐明了土壤侵蚀如何造成了土壤养分、

土壤厚度、生物量、有机质和水资源的流失及这些损失如何转变成农作物产量的降低。这些模型基于以下一些假设:约 700 毫米的降水,土壤厚度 15 厘米,坡度为 5%,壤质土,有机质含量为 4%,土壤侵蚀速率 17 吨/公顷·年。这些模型提供了与侵蚀的生态结果相联系的各种因素相互依赖的观点。

根据经验性证据,当土壤被水和风侵蚀的速率达到 17 吨/公顷·年时,平均每平方公里流失 75 毫米的水,2 吨有机质和 15 千克可利用氮。此外,土壤厚度减少 1.4 毫米持水能力降低不到 1 毫米,土壤生物量减少。综合起来,这些损失转化成短期内(1 年)农作物生产减少 8%,对于长期(20 年)的评价经验例证再次确证水分和养分损失对作物产量有巨大的影响,大约占到减少量的 50—75%。土壤厚度减少 2.8 厘米,造成产量降低约 7%。土壤厚度至关重要,因为补偿仅 1 厘米厚的流失的表层土就需要几百年的时间。其他因子,包括土壤生物,持水能力和土壤深度,从长远来看很重要。这个模型又假设:流失的养分和水不能补给,如果得到补充,那么 20%的流失估计就要减少 1/4 到 1/3。以年为单位,土壤侵蚀的影响常常被大量施用化肥、灌溉、种养和其他投入暂时抵消。然而土壤有机质、生物、土壤厚度和持水能力的损失长期积累,在一些情况下不能被这些人为的干预所补偿。

6 侵蚀的代价

能量代价 美国所用总能源的 6%用于农业。假定综合风与水的侵蚀平均速率为 170 吨/公顷·年,我们估计,由于土壤侵蚀的直接和间接影响及相联的迅速的水流失,每年每公顷需要额外花费 1600000 千卡的矿物能源。这意味着现在美国用于农业的能源 10%只是用来弥补因侵蚀造成的养分、水分和作物生产力的损失。尽管发达国家现在用以矿物能源为基础的化肥、农药和灌溉来掩饰土壤侵蚀的破坏,维持较高的作物生产能力,过分依赖矿物能源很危险,因为矿物能源供应很有限。使用密集农业技术的发展中国家也严重依赖以矿物能源为基础的化肥、农药和灌溉来获得高产。

直接代价 不合理的农耕方式及带来的土壤和水的流失直接造成了经济和环境的巨大损失。水和风侵蚀造成的重要直接代价是用来补给养分和水流失的费用。当水和风的侵蚀速率为 17 吨/公顷·年时,每公顷约流失 75 毫米的水和 462 千克的养分。在美国,如果必须补给水,每公顷每年抽地下水灌溉需要花费近 30 美元还需要 70 升的柴油(假定水可获取);每补偿流失的养分而施用化肥每公顷又需 100 美元。直接和间接代价相加,美国每公顷土地侵蚀代价为 196 美元。在世界其他不能灌溉或化肥太贵的地方,侵蚀的代价只能由食物减少来支付。

在美国,估计每年从 160 000 000 公顷的农田上流失 40 亿吨土壤和 130 亿吨的水。转换成直接经济损失每年超过 270 亿美元;其中 200 亿用来补偿养分,70 亿用来补偿流失的水和减少的土壤厚度。这个代价中最显著的部分就是土壤养分流失带来的损失。

在世界其他地区,侵蚀代价也很大。如在爪哇岛,每年和侵蚀相关的农场产量的损失估计达 3.15 亿美元。印度每年流失 66 亿吨的土壤,其中含有价值 2.45 亿美元的 5 400 000 吨的化肥,此外在印度的一些地区,西南季风来时有很大的降雨,由于氮的挥发和淋溶而造成每年所施化肥中的一半流失掉。

除了养分和水的相当大的经济上的损失,侵蚀还造成了显著的生态上的破坏。土壤的转移会影响植物组成,破坏土壤的生物多样性。一些侵蚀后果的研究专门致力于土壤的厚度的变化。在这样的研究中,生物多样性的重要性、有机质和其他相互依赖变量的综合体被忽视。莱尔指出,这种研究大大低估了土壤侵蚀的影响,集中于土壤厚度减小的研究声称土壤每流失 1 厘米,作物产量减少仅为 0.13—0.39%。

间接损失 土壤侵蚀不但破坏它所发生的邻近的地区,而且给周围环境带来不利的影
响。间接问题包括:道路、下水道、地下室的淤积、排水紊乱、建筑物和路面的破坏、道路被冲毁、
土坝瘫痪、水道富营养化、港口和水道淤积、水库库容降低、野生生物栖息地被破坏、河流生态
被扰乱、洪水、危害公共健康并且增加水处理费用。

最严重的间接破坏是由土壤颗粒进入水域系统造成的,每年从美国耕地流失的几十亿吨
的土壤中,约 60% 沉积在川溪和河流中。这些沉积物由于土壤颗粒和化肥农药等物质污染了
水,这些物质降低了生物栖息地的质量,从而危害水生植物和其他生物。

在水库中,淤积是一个严重的问题,因为它减少了储水量和发电能力,缩短了水库的使用
寿命,增加了维护费用。每年约 8.8 亿吨的农业土壤沉积在美国的水库和水域系统中,降低了
其防洪效益,堵塞航道,增加了水处理设施的运转费用。为维护航行水道,美国每年花费 5.2 亿
多美元从航道中清除土壤沉积物。

严重沉积经常造成河湖泛滥。例如,1993 年夏天发生在美国中西部的洪水,是由于美国中
部的密西西比河、密苏里河和其他一些河流不断增加的沉积物的积累造成的。据政府估算
1993 年洪水对农作物和居民点造成的破坏总额达 200 亿美元。

风力侵蚀产生巨大的间接破坏和代价。据估计,美国因风吹土壤颗粒对汽车、建筑和风景
的沙蚀而带来的家庭财产损失及维护费用总额超过 40 亿美元。此外,从公共和私有建筑物、公
路和铁路清除积累的土同样每年损失 40 亿美元。

在新墨西哥可以看到风蚀的厉害,在那里约 2/3 的土地为农田,包括放牧。这个州间接
损失包括健康和财产破坏,估计每年为 4.64 亿美元。如果假定与美国西部类似的侵蚀代价,美
国每年单因风蚀的间接代价总额可达 96 亿美元。

综合考虑直接间接损失 美国土壤侵蚀间接的环境影响总的损失估计每年约 170 亿美
元,其中大部分来自农业(按 1992 年美元)。另外因土壤生产力降低每年损失 270 亿美元,如果
综合直接和间接损失,美国农业的侵蚀代价约为每年 440 亿美元,或每公顷耕地和草场约 100
美元,这种侵蚀代价每年增加生产成本 25%。

在全世界每年侵蚀的 750 亿吨土壤中,约 2/3 来自农业用地。如果假定每吨土壤中养分价
值 3 美元,流失的水值 2 美元,间接影响为 3 美元,巨大的土壤损失全世界每年约为 4000 亿美
元,每年每人超过 70 美元。

7 侵蚀控制技术

可靠并证明行之有效的土壤保护技术包括:垄种、铲隙栽植、作物轮作、等高条植、植草带、
用覆盖料覆盖、农林化、修梯田、沿地形种植、覆盖作物、防护林。尽管具体的过程不同,所有的
保护措施都采用保持土壤覆盖有保护性的植被,来降低侵蚀速率。这些措施也往往需要减少耕
翻土壤的频率。例如垄种,不需要经常耕种,并使土壤表面常年有植被覆盖;作物轮作可保证一
部分土地连续被植物覆盖。每项保护措施可单独使用,也可与其他侵蚀控制措施相结合。为确
定合适的保护技术的最佳组合,必须考虑土壤类型、具体的作物或牧草、坡度、气候(降雨和风力)
及一个特定地方人们的社会经济情况。

合理的水土保持措施的实施可望减少土壤侵蚀速率 2—100 倍,风力的损失 1.3—21.7
倍。保护技术也显著地减少养分的损失。比如说当作物残余秸秆覆盖分别增加 10%、30% 和
50% 时,从土壤表面流失的氮的量会相应减少 68%、90% 和 99%。

通过大大减少土壤和养分的流失,保护措施保持了土壤肥力,并使土地维持较高的作物产
量。在很多情况下,保护技术的利用确实会增加产量。比如说,沿地形种植使棉花产量增加

热带林的持续利用与地球环境

龙习才 编译

1 热带林的现状

热带林是可再生的自然资源,但其急剧地减少和退化,将会给地球环境造成重大影响。地球上现存的森林面积大约 45 亿公顷,其中 43% 分布在最冷月 18℃ 以上的热带地区。热带林随旱季、雨季的长短变化可分为热带雨林、热带季节林、热带高草原、热带半沙漠等,还可根据树林疏密分为热带封闭林和热带稀疏林。热带雨林约占 11 亿公顷。从面积规模来看,热带雨林在整个森林系统中占有重要的位置。据测算,地球上的植物现存量为 1837×10^9 吨,其中热带雨林和热带季节林占 1042×10^9 吨,且生产量最高,为 40×10^9 吨/年。

联合国粮农组织(FAO)的调查资料表明,热带雨林每年大约减少 1700 万公顷。以中南美洲减少最快,约 830 万公顷(表 1)。热带雨林年消失速度快的国家依次是:巴西(500 万公顷),印度尼西亚(120 万公顷),缅甸(80 万公顷),墨西哥(70 万公顷)。热带雨林消失的主要原因是森林采伐后的林地被转作他用。每年大约有 730 万公顷的林地被耕地化、草原化和种植园化。干旱热带地区每年因农业或薪炭用材砍伐减少、退化的林地面积大约有 380 万公顷。即使作为森林立档的热带雨林,每年被择伐、次生林化、退化的也大约有 440 万公顷。

尽管如此,作为发展中国家来说,主要出口产品仍以天然物产为多,特别是有热带雨林分布的国家,森林成了最重要的资源。天然林随着采伐利用被沦为移动烧垦或者生草放牧(图 1,

25%(得克萨斯州),谷物增产 12.5%(密苏里州),大豆增产 13%(伊利诺斯州),小麦 17%(伊利诺斯州)。在美国坡度为 7% 的土地上,轮作种植的棉花产量增加 30%,侵蚀成本降低一半。在大风地区,建立树和灌木防护林带可降低风能 87%,从而可减少侵蚀 50%。

8 结 论

每年投资 64 亿美元(每公顷 40 美元),以使美国大多数农田土壤侵蚀速率从 17 吨/公顷·年降低到可持续的速率约 1 吨/公顷·年。为减轻草场上的侵蚀,美国每年还要花费 20 亿美元(每公顷 5 美元)。美国侵蚀控制的总投资每年约为 84 亿美元。考虑到侵蚀造成的破坏每年达 440 亿美元,84 亿美元的投资似乎是一个很小的代价:因为每投资 1 美元,就会节省 5.24 美元,这一小部分投资可以使美国农业土壤流失减少 40 亿吨,并保证我们现在和将来的食物供应。

目前,美国每年资源保护计划投资 17 亿美元,使高度侵蚀的土地休闲,这样每年就保住了大约 5.84 亿吨的土壤。因而,这个系统中每投资 2.91 美元就保住了 1 吨土壤。

当把土壤流失和退化的经济损失及间接后果保守地估算成农业分析的成本/效益比时,在有效控制广泛侵蚀的项目中投资,从经济意义上是合理的。人类的生存和繁荣依赖于充足的食物、土地、水、能源和生物多样性的供给,贫瘠劣质的土地将难以生产足够的食物去满足日益增长的世界人口的需要。我们应留心罗斯福总统的忠告:破坏土地的民族将毁灭它自己。

译自《Science》,1995,267