

# 黄土高原土壤侵蚀环境调控的核心与途径

李 勇

(中国农业科学院原子能利用所农业生态环境室·北京·100094)

## 1 问题与挑战

地球上表土的侵蚀退化,其原因是人口不断增长、粮食需求不断增加,为当今世界上的一个最严重的问题。毫无疑问,1万年以前,农业的产生是人类历史上最伟大的成就。大量生产粮食的能力及其为此所采用技术的演变,是我们当今科学、技术……各种文化发展的源泉。农业的巨大成就,使我们的人口倍增,到现在已超过55亿,而且正以每天20万人口速度递增,本世纪末世界人口将突破60亿,粮食需求总量为21.3~22亿t,其增长率为1%~3.7%才能满足社会发展的需要。为养育这么多人口,需耕作15亿 $\text{hm}^2$ 土地,使用32亿 $\text{hm}^2$ 牧场,而且要采伐10亿 $\text{hm}^2$ 的木材。显然,生产条件落后的发展中国家将承受巨大的粮食生产压力。中国作为一个发展中国家,人口迅速增长与耕地日益减少的矛盾更为突出。50年代初期,我国人均占有耕地0.18 $\text{hm}^2$ ,1986年人均耕地0.09 $\text{hm}^2$ ,若以目前每年净增人数1600万的速度计算,到本世纪末需要粮食5.2亿t,比1990年净增1.1亿t,其年增长率为2.2%。然而,如何在仅占世界耕地面积7%的有限土地上,提供需要世界粮食总量的23.6%的人口生存,是中国土壤科学工作者必须面临的严重挑战。

世界上现有土地90亿 $\text{hm}^2$ ,减去人类赖以生存的57亿 $\text{hm}^2$ ,到本世纪末仅剩下33亿 $\text{hm}^2$ 最难利用的部分。但是,土地侵蚀退化由于环境系统的内在作用近年来仍在不断加剧,全球范围内水土流失面积已发展到总土地面积的16.8%。表层土壤的侵蚀速率保守估计每年为750亿t,至少比土壤自然形成速率要大10倍以上。自开始农业耕作以来,美国1/3表层土壤已经流失,海地因严重的土壤侵蚀致使有些生产粮食的地方现处于基岩之上。我国是土壤侵蚀严重的国家之一,水土流面积13000万 $\text{hm}^2$ ,其中水蚀面积约10833万 $\text{hm}^2$ ,风蚀面积约2167万 $\text{hm}^2$ ,在我国水土流失最为强烈的地区当属黄土高原,黄土高原的现代土壤侵蚀无论在强度上还是在范围上均属世界之冠。据朱显谟计算,黄土高原地面破坏侵蚀而每年流失的肥土厚度竟达1cm,损失氮、磷、钾养分4200万t,其中氮为344~645亿t,减产粮食1402~2621万t,全区6000万人口平均每人损失粮食250kg以上。这种估计还未包括有效态微量元素折合7万t的流失所造成的农业损失。

诚然,土壤是一种可以再生的自然资源,它是由生物作用产生的,然而,历经数千年甚至数万年成土作用形成的土壤,仅仅由于人类不合理的利用,会使其流失退化几乎完全丧失生产能力。例如美国中西部的土壤经过几千年的成土过程,人类仅几百年的农业耕作就把它破坏了。黄土高原经过250万年的黄土沉积与植被相互作用的成壤过程形成的得天独厚而又抚育中华民族的原

野,仅经过数千年的掠夺式经营管理,也已支离破碎,山穷水尽而又祸害下游平原。面对这种有限可再生的土壤资源的不断减少和土地承载力需求日益增长的严峻形势,我们必须终止现在正在进行的对地球的破坏,保护土壤资源,改善生态环境,重建人类生存的系统—地球上的土壤圈。持续农业正是完成这一艰巨的历史使命的伟大战略体系。持续农业包括土地利用的连续性、环境质量的保持与提高、经济价值的增加、生产力的稳定增长以及代传土地质量的提高及其抗风险缓冲能力的增加等方面。对黄土高原农业发展与土壤资源遭受破坏的历史背景及可控环境因素分析,黄土高原持续农业发展的关键是:创造良好稳定的渗透及抗冲性的土壤环境系统。

2 黄土高原土壤侵蚀环境的独特性与调控方略

2.1 土壤侵蚀环境的涵义

土壤侵蚀环境是一个包含自然侵蚀环境和人为社会侵蚀环境的复合体。所谓自然侵蚀环境是由于自然界固有的不平衡性而影响侵蚀的因素所构成的自然景观综合体,这些因素分别是气候、植被、地形和土壤。人为社会侵蚀环境则是由人类的社会经济活动及社会结构本身的发展影响造成土壤侵蚀因素所构成的人文社会综合体,这些因素主要包括由于人口无计划的增长和经济文化落后带来的对森林植被的滥砍滥伐、滥樵、滥采,陡坡毁林毁草垦荒耕种,不合理的利用土地,人类对矿产资源不合理开发和大型工程活动,城市化过程中居住、交通的大规模建设等。

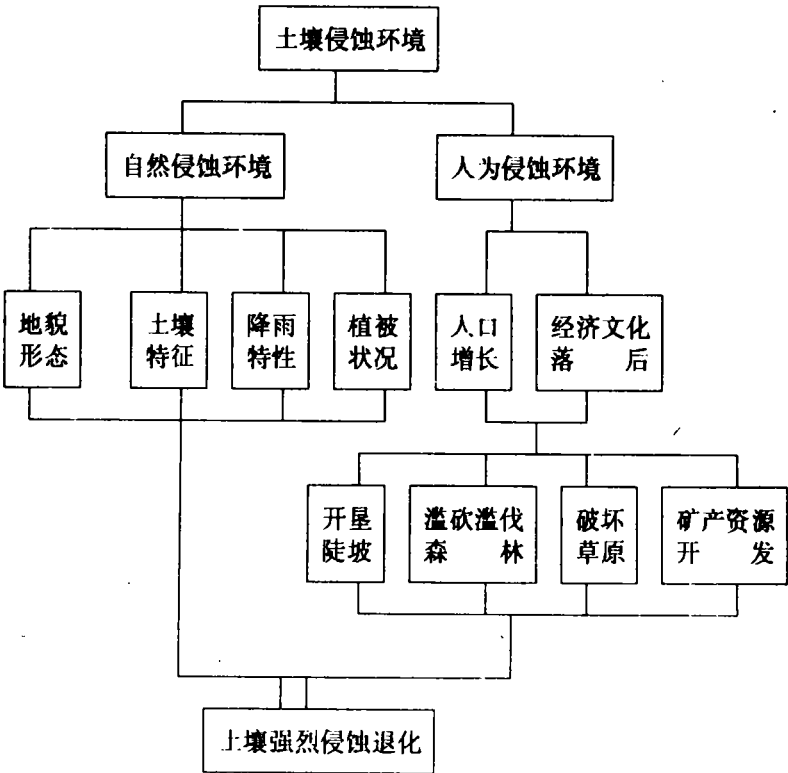


图 1 黄土高原土壤侵蚀环境要素分析

2.2 土壤侵蚀环境的独特性

有关黄土高原土壤侵蚀环境的形成特征及机理,许多学者已从各个方面作过详细论述,其环境要素可用图 1 表示。由图 1 可以清楚的看到,影响黄土高原土壤侵蚀的环境主要由地貌形态、土壤特征、降雨特征、植被状况和人为活动 5 大因素组成。主要表现为:暴雨、径流集中,植被盖度小,坡短而陡,土壤结构稳定性差,人为破坏活动强烈。然而,在构成土壤侵蚀环境 5 大组合因素中,各因素在加剧土壤侵蚀过程中的作用大小并非是等同的。黄土高原土壤侵蚀环境的独特性在于“暴雨超渗径流冲刷为主和土壤缺乏根系缠绕固结、抗冲性能极差”。数千年来人们任意破坏天然植被,导致地表盖度锐减,尤其是造成黄土及其发育的土壤失去根系的上下串联和缠绕、固结,是黄土高原土壤侵蚀环境特殊性形成和发展的根本原因。因此,不仅要认真研究黄土高原土壤侵蚀环境的独特性,更应从植被,尤其是植物根系提高土壤对水分入渗保蓄和土壤抗冲性的动力机制及其有效性的深入研究中寻求控制水土流失、根除黄河河患的方略和途径。

2.3 土壤侵蚀环境的调控方略

关于如何对黄土高原侵蚀环境进行有效地调控问题,我国的土壤学家、地理学家和地质学家及水土保持学家已进行了数十年乃至半个世纪(从 1942 年甘肃天水建立第一个水土保持实验区算起)的艰辛研究,提出了许多具有重要战略意义的构思。尤其是朱显谟,他通过对黄土高原黄土堆积及土壤形成的自然环境过程和机理等一系列科学与实践问题的系统研究,提出了以“全部降水就地入渗拦蓄”为中心的黄土高原土地整治的“28 字”方略。对土壤抗冲性形成过程的综合定量研究结果表明,质地特征(砂粒、粗粉粒含量)、结构的稳定性(水稳性团粒含量、紧实度)和通透状况(非毛管孔隙度、稳定渗透速率)是影响黄土高原入渗抗冲性土体发生类型的主导因素,见表 1。而任何能改变这些因素的人为作用(生物或工程措施),将直接影响入渗抗冲性土体演变的过程、方向和速率。然而,在当代科学技术和财力的限制下,还不能或者说在近期还不可能大规模地改变土壤的质地组成,但可以大面积的扩大植物覆盖、增施有机质、加强土壤管理,通过这些措施,对土壤的形成过程进行定向培育。大量的科学研究证明,植被,尤其是植物根系是改善土壤侵蚀环境唯一最重要的因素。其巨大作用主要表现在:一是根系改善土壤物理性质,增加土壤非毛管孔隙度,强化降水就地入渗的水文生态功能;二是根系特别是 $\leq 1\text{mm}$  径级的须根稳定土层结

表 1 黄土高原土壤物理性质区域变异的总体特征

变 量		剖面数 N	平均值 X	最大值 Max	最小值 Min	标准差 S	变异系数 C.V.(%)
砂粒	X <sub>1</sub>	15	18.3	80.9	1.4	22.225	121.4
粗粉粒	X <sub>2</sub>	15	51.4	63.8	4.5	15.868	30.9
粘粒	X <sub>3</sub>	15	13.9	18.5	9.5	2.775	20.0
物理性粘粒	X <sub>4</sub>	15	32.1	43.1	12.5	9.429	29.4
水稳性团粒	X <sub>5</sub>	15	29.62	73.80	3.56	20.247	68.4
容重	X <sub>6</sub>	16	1.25	1.41	1.07	0.113	9.0
紧实度	X <sub>7</sub>	15	6.56	12.02	2.02	2.791	42.5
总孔隙度	X <sub>8</sub>	15	53.5	60.4	46.9	4.359	8.1
毛管孔隙度	X <sub>9</sub>	15	47.6	55.7	41.4	4.062	8.5
非毛管孔隙度	X <sub>10</sub>	15	5.9	11.6	1.8	2.847	48.7
前 30min 渗透率	X <sub>11</sub>	15	3.9	17.88	0.20	5.446	138.2
稳定渗透速率	X <sub>12</sub>	15	3.12	16.74	0.12	4.725	154.6
冲刷土量	Y	15	9.2	30.3	0.7	8.435	91.7

构,增加土壤 $>2\text{mm}$  粒级水稳性团粒有机质及含量,创造抗冲性土体构型的生物动力学性质。对

黄土高原土壤抗冲性形成过程、不同植物根系稳定土层结构、强化土壤入渗及抗冲性能的动力学特征、机理及其有效性的综合定量研究,表明黄土高原土壤侵蚀环境调控的核心应当是“创造渗透性强、稳定抗冲的土壤环境系统”,即以恢复增加地面植被盖度为中心,以植物根系提高土壤入渗及抗冲性能的有效性原理为依据,针对黄土高原不同区域入渗抗冲性土体构型发生的主导过程及其类型,全面考虑,重点设施。这一构思,更加深刻地揭示了黄土高原环境整治“28字”方略的内在实质,同时也是该区农业持续发展必由之路。

### 3 黄土高原土壤侵蚀环境调控的途径

根据上述构思,将黄土高原不同区域土壤渗透抗冲性土壤环境建设的途径分述如下:

#### 3.1 兴隆山、子午岭、黄龙山灰褐土区

该区山清水秀,植被生长良好,是黄土高原地区重要的木材供应基地。土壤属极强渗透力、结构稳定型土体,水土流失已完全得到控制。该区的问题是原始森林所剩无几、林木采伐过度、经营管理落后。针对该区存在的问题,建设途径应是全面保护,重点改造,加强科学经营。建立国家自然保护区,采取国家拨款建设或集资等方式建设森林公园,大力发展森林旅游业,同时加强经济林开发及次生林的改造工作,实现以山养林、以林保土,生态环境与经济持续发展的稳定体系。

#### 3.2 华家岭、董志塬、洛川塬、长武塬黑垆土区

黑垆土区一直被当作是黄土高原粮食生产的重要基地之一。主要土类黑垆土,本身属较弱渗透力、结构较稳定型土体,但一经耕种,其覆盖层的土体构型与黄土母质层相同,均属弱渗透力、结构很不稳定型土体,加之长期人为耕作活动产生的阻止水分入渗结构——犁底层形成,是导致塬面径流量增加、加剧沟谷地带土壤侵蚀的重要原因。塬面径流量大,沟谷地侵蚀强烈,灌溉条件差,经济落后,严重的障碍着该区农业的持续发展,解决的途径应该是:因地制宜,彻底调整种植业,积极建设以根系发达的经济林草为主体的保塬、护坡、固沟的防护体系,同时采用蓄水保墒、保土培肥为中心的农业综合技术,组建名优适地果木(如苹果)的绿色长廊工程。高标准果园及护埂护坡防护林草体系的建设及由此建设所采取的措施,必将直接或间接地加速良好渗透、稳定抗冲土壤环境的形成过程。

#### 3.3 离石、延安等地黄绵土区

黄绵土区是黄土高原水土流失非常严重的地区之一。该区沟谷密集,梁峁顶部相对高差大,年侵蚀模数高达 $4\,000\sim 10\,000\text{t}/\text{km}^2$ 。由于人口剧增,大肆毁林毁草,陡坡耕种,天然森林植被已荡然无存,由此而产生的非地带性幼年土壤——黄绵土,其发生层仅由耕层和下部的黄土母质组成,属弱渗透结构不稳定型土体。针对该区水土流失严重,土地生产率低,交通闭塞,人民生活贫困的特征,黄绵土区渗透抗冲性土壤恶化环境逆转的途径应当是:以群众户包小流域治理(即群众有偿承包治理小流域或称拍卖“四荒”)为动力,以恢复植被固土保水、培肥地力为中心,田间工程和沟谷防冲措施相结合,重点抓好梁峁陡坡的治理。梁峁陡坡,非但它们本身的水土流失严重,植物生长条件差,同时分布面积广大,既是水土流失的产物,又是继续侵蚀加剧川地良田暴雨径流冲刷之根源。因此,这一地段的整治最为重要。对这一段的治理措施应以恢复草灌植被为上策,大面积种植根系发达、生长迅速、见效快、经济价值高的优质牧草及灌木权树种如红豆草、沙打旺、柠条、沙棘、酸枣等,同时根据植被群落的演替规律及根系固土的有效土层厚度,进行合理配置,精心管理,用养结合,尽快将该区建设成优质饲料和经济灌木基地。“草灌上坡”,既能巩固和增进土壤的渗透力,提高土壤结构的稳定抗冲性,从根本上消除和抵抗陡坡超渗径流的冲刷,更

为重要的是能分散或消除沟坡上部袭来的股流冲刷,起到护坡、保护川地基本良田的巨大功效。同时通过优质饲料和经济灌木林基地的建设也必将促进畜牧业和林产品加工处理企业的发展,使农民很快脱贫。农民经济收入的提高不仅能大大提高农民自觉治理荒山荒坡的积极性,而且会增大对基本农田建设的投入,提高粮食单产,解决吃饭问题。这也许是现在“黄土丘陵沟壑区水土保持型生态农业”持续发展的关键所在。

3.4 靖远、海原等地灰钙土区

灰钙土是黄土高原西北部干草原—荒漠草原的地带性土壤,其土体与黄绵土类似,属弱渗透力、结构不稳定型。本区大部分为丘陵,源地破碎。风大干旱,水土流失严重,是该区生态环境恶化,作物产量低而不稳的主要原因。解决的途径应当是:大力营造农田防风经济林网,控制风蚀环境,利用灰钙土潜在肥力较高,加上雨热同期,具有较好的生产力的特点,依照“退耕改制还牧”的原则,在地势平缓的地方实施粮草轮作、绿肥改土、覆盖休闲等技术,在沟坡地带广种适生优质牧草,创造蓄水保墒抗冲的土壤环境系统,达到粮食稳产、高产和经济迅速发展。

3.5 准格尔、神木、河曲等地风沙区、砂黄土区

该区地处晋陕蒙接壤区,属水蚀和风蚀交错地带,是我国新兴的重要能源基地,也是黄土高原暴雨径流剧烈侵蚀中心和入黄粗泥沙的主要源地。该区土壤形成的生态环境十分脆弱,主要土类风沙土及砂黄土渗透性虽强但结构疏松,抗冲性极差,属强渗透力、结构极不稳定型土体,披沙石土紧实,渗透性能差,土壤年平均侵蚀模数常在 20 000t/km<sup>2</sup> 以上,局部地区个别年份竟高达 30 000~50 000t/km<sup>2</sup>。因此,在这一地区建造稳定抗冲性的土壤环境系统对减少入黄泥沙、根除黄河下游淤积对该区几亿人民生命财产所造成的威胁、加快矿产资源的合理开发,具有特别重大的现实意义和深远的历史意义。

表 2 温家川站开矿前后相近年径流量及输沙量变化情况<sup>\*</sup>

开矿前后	对比年份 (a)	年径流量		年输沙量		年平均含沙量	
		108m <sup>3</sup>	增减(%)	108t	增减(%)	(kg/m <sup>3</sup> )	增减(%)
前	1983	3.97		0.292		73.6	
后	1987	3.73	-0.8	0.332	+13.7	89.0	+20.9
前	1968	7.77		0.979		126.0	
后	1988	7.72	-0.6	1.280	+30.7	165.8	+31.9
前	1981	4.89		0.741		151.5	
后	1989	4.92	+0.6	0.910	+22.7	185.0	+22.1
前	3 年	5.543		0.671		121.1	
后	平均	5.457	-1.6	0.841	+25.3	154.1	+27.3

注: \* 据张胜利等,1992。

近期研究结果表明,除独特的自然侵蚀环境因素之外,人口剧增、经济落后、陡坡垦荒,尤其是 80 年代以来大规模毁林毁草,开采煤矿,是加剧该区水土流失、生态环境进一步恶化的重要原因。例如,神府东胜煤田开矿前后,年径流量相近,但输沙量却增加了约 25%(表 2),这种泥沙的增加并非是多水引起,而完全是由不合理的煤田开发所致。据此,该区的整治途径必须以增加草灌植被固沙、固土改土、护坡护岸为中心,以矿区生态环境建设为重点,以大力发展畜牧业促进农村经济迅速增长为龙头,全面开展区域环境综合治理。

参考文献

1 田积堂等. 增加土壤渗透、减少水土流失,水土保持通报,1988 年第 3 期

- 2 史念海. 论历史时期黄土高原生态平衡失调及其影响. 生态杂志, 1982 年第 2 期
- 3 刘万铨. 过河要有桥或船——对《关于西北黄土高原建设方针问题》的商榷. 陕西日报, 1979 年 2 月 10 日
- 4 刘东生等. 黄土与环境. 北京: 科学出版社, 1985 年
- 5 刘秉正等. 刺槐林地土壤抗冲性的试验研究. 西北林学院学报, 1984 年 1 期
- 6 朱显谟. 黄土地区植被因素对于水土流失的影响. 土壤学报, 1960 年第 8 期
- 7 朱显谟. 水土保持, 中国农业土壤论文集. 上海科学技术出版社, 1962 年
- 8 朱显谟. 黄土高原水蚀的主要类型及其有关因素(一). 水土保持通报, 1981 年第 3 期
- 9 朱显谟. 黄土高原水蚀的主要类型及其有关因素(二). 水土保持通报, 1981 年第 4 期
- 10 朱显谟. 黄土高原水蚀的主要类型及其有关因素(三). 水土保持通报, 1982 年第 1 期
- 11 朱显谟. 黄土高原水蚀的主要类型及其有关因素(四). 水土保持通报, 1982 年第 3 期
- 12 朱显谟. 黄土高原土地资源的开发和保护. 地理科学, 1984 年第 2 期
- 13 朱显谟. 黄土高原的形成与开发整治对策. 水土保持通报, 1991 年第 1 期
- 14 朱显谟. 试论我国水土保持工作中的实践与理论问题. 水土保持通报, 1993 年第 1 期
- 15 朱显谟, 田积莹. 强化黄土高原土壤渗透性及抗冲性的研究. 水土保持学报, 1993 年第 3 期
- 16 朱显谟等. 试论中国黄土高原土壤与环境. 土壤学报, 1992 年, 29: 351
- 17 朱显谟等. 甘肃中部土壤侵蚀调查报告. 土壤专报, 1958 年, 32 号
- 18 陈永宗. 一项具有战略意义的水土保持技术措施. 中国水土保持, 1984 年第 1 期
- 19 陈永宗等. 黄土高原现代侵蚀与治理. 科学出版社, 1988 年
- 20 陈传康. 从发展商品生产角度讨论黄土高原的生产建设方针. 地理学报, 1981 年, 36: 101
- 21 张平仓等. 皇甫川流域产沙特征及成因分析. 水土保持通报, 1992 年第 2 期
- 22 张胜利等. 80 年代黄河中游来沙减少的原因分析. 水土保持通报, 1992 年第 2 期
- 23 李勇. 沙棘林根系强化土壤抗冲性的研究. 水土保持学报, 1990 年第 3 期
- 24 李勇等. 黄土高原农业耕作历史与水土流失的关系. 水土保持通报, 1989 年第 2 期
- 25 李勇等. 黄土高原土壤抗冲性机理初步研究. 科学通报, 1990 年, 35: 390
- 26 李勇等. 油松人工林根系对土壤抗冲性的增强效应. 水土保持学报, 1990 年第 1 期
- 27 李勇等. 草本植物根系提高表层土壤抗冲刷力的实验研究. 水土保持学报, 1990 年第 1 期
- 28 李勇等. 黄土高原植物根系提高土壤抗冲性的有效性. 科学通报, 1991 年, 36: 935
- 29 李勇等. 黄土高原植物根系强化土壤渗透力的有效性. 科学通报, 1992 年, 37: 366
- 30 李勇等. 黄土高原植物根系提高土壤抗冲性机制初步研究. 中国科学, B 辑, 1992 年第 3 期
- 31 李勇等. 草类根系对土壤抗冲性的强化效应. 土壤学报, 1992 年, 29: 303
- 32 李勇等. 植物根系与土壤抗冲性关系的研究. 水土保持学报, 1993 年第 3 期
- 33 李勇等. 黄土高原油松人工林根系改善土壤物理性质的有效性模式. 林业科学, 1993 年, 29: 193
- 34 辛树帜, 蒋德麟主编. 中国水土保持概论. 农业出版社, 1982 年
- 35 邹厚远. 植被防止水土流失的研究. 中国水土保持, 1985 年第 12 期
- 36 赵其国, 张佳宝. 未来中国土壤科学的发展方向与战略. 中国土壤学会, 1994 年
- 37 贾志伟, 江忠善. 黄土高原中部地区土壤侵蚀人为影响因素的分析. 水土保持通报, 1991 年第 2 期
- 38 郭培才等. 黄土高原沙棘林地土壤抗蚀抗冲性指标的研究. 西北林学院学报, 1989 年第 1 期
- 39 黄义端等. 土壤内在性质对侵蚀影响的研究. 水土保持学报, 1989 年第 3 期
- 40 黄秉维等. 谈黄河中游水土保持问题. 中国水土保持, 1983 年第 1 期
- 41 景可等. 黄河泥沙与环境. 科学出版社, 1993 年
- 42 Hodges, C. N. et al., 1993, Reversing the flow: Water and nutrients from the sea to the land. Ambio, 2: 483~490