

子午岭林区自然侵蚀和人为加速侵蚀剖析

唐克丽 张科利 郑粉莉 查 轩 王文龙 蔡 庆 白红英

(中国科学院西北水土保持研究所·陕西杨陵·712100)
水利部

摘 要 黄土高原的绝大部分地区,因严重的水土流失已丧失原有的自然景观,子午岭梢林区为研究追溯自然侵蚀和人为加速侵蚀的演变,提供了理想的场所。通过典型区的考察研究、大型径流场的定位观测研究和野外人工降雨试验等,分析研究了生态环境自然演变及人类活动对侵蚀的影响;剖析了子午岭林区自然侵蚀和人为加速侵蚀的演变;取得了新的论证资料。明确提出,随着人类对自然生态平衡破坏的加剧,自然侵蚀逐渐被人为加速侵蚀所替代,且后者逐渐占主导地位。

关键词 子午岭林区 自然侵蚀 人为加速侵蚀 生态环境 植被的破坏与恢复

Analysing on Natural Erosion and Man-made Accelerated Erosion in the Ziwuling Forest Area

Tang Keli Zhang Keli Zheng Fenli Zha Xuan Wang Wenlong Cai Qing Bai Hongying

(Northwestern Institute of Soil and Water Conservation, Academia Sinica
and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi, 712100)

Abstract The most area of the loess plateau lost natural landscape caused by severe soil erosion. The Ziwuling forest area provides research place for tracing back change of natural erosion and man-made accelerated erosion. Using methods of survey research in typical region, site position observation of the large runoff plots and field simulated rainfall experiment, effect of natural change of eco-environment and human's activity on soil erosion and man-made accelerated erosion in the Ziwuling forest area has been analysed. New argument data has been gotten. The authors point out that with intensifying of natural ecological balance destruction by human's activities, natural erosion gradually changed to man-made accelerated erosion, and man-made accelerated gradually occupied dominant position in present soil erosion process.

Key words the Ziwuling forest area natural erosion man-made accelerated erosion
eco-environment vegetation destruction and restoration

1 自然侵蚀和人为加速侵蚀的基本概念

土壤侵蚀是地球表面长期存在的一种物质搬运过程,在时间和空间上,呈相对强弱的分异。在人类社会前地质时期所发生的侵蚀,属自然侵蚀,或称之常态侵蚀。自然侵蚀的过程完全取决于地质、地貌、气候、土壤、植被等自然因素的影响。人类社会出现后,人为毁林开荒等对自然生态平衡的

破坏,加速了土壤侵蚀的发展,称之人为加速侵蚀。

无论是自然侵蚀或人为加速侵蚀均是地圈—生物圈综合作用、相互影响的结果。如果强调了地质构造、地貌形态和气候因素对侵蚀的影响,而忽视了与地圈共存的生物圈的作用,就不可能对自然侵蚀和人为加速侵蚀作出确切的评判。宇宙间太阳黑子活动的自然力,必然影响到降雨等气候因素的变化,随之地面的植被类型和覆盖度也发生相应的变化。在地质时期,尽管没有人类对植被的破坏,但随同气候冷暖—干湿的旋回变化,自然植被发生相应的变化;下垫面的变化,必然影响到降雨对土壤侵蚀作用的强弱。既然自然植被演变与自然侵蚀的强弱有不可分割的联系,人为活动对自然植被的破坏,特别是“滥垦、滥伐、滥牧”等不合理活动,可迅速导致强烈的水土流失和土地沙漠化。尤其在暴风雨的袭击下,可使肥沃的表土,丧失于旦夕。美国 1934 年所发生的黑风暴,就是大片被砍伐森林和开垦的土地,因丧失植被保护而遭受大风席卷表土层的结果。此时,大风或暴雨等自然因素对侵蚀的作用,已不属于单纯自然侵蚀的范畴,而是人为活动影响下自然因素加速或加剧侵蚀的作用,即人为加速侵蚀。因此,必须区别自然侵蚀和自然因素两个不同的概念。当地面,尤其是丘陵山地,在失去自然植被保护的情况下,降雨地形和黄土易蚀特性等因素对侵蚀的作用即相对突出,甚至起主导作用。其本质即是人为活动干扰下自然因素对侵蚀的作用。反之,当地面被茂密的自然植被覆盖情况下:无论是地处陡坡或被暴雨袭击,土壤侵蚀基本不发生,或很轻微,此即自然生态平衡状况下的自然侵蚀。在同一的太阳黑子活动影响下,由于人为活动而形成不同的下垫面,自然力对其作用的结果,显然有很大差异。

黄土高原土壤侵蚀区划和植被区划的考察研究说明,是否保留天然植被,或植被的茂密程度,是决定土壤侵蚀强弱的重要指标。但至今,由于黄土高原绝大部分地区呈现光秃裸露千沟万壑的侵蚀地貌,特别在汛期和暴雨季节,黄土的迅速分散崩解和滑塌,以及洪水泥沙汹涌直泻的险恶形势,仍使一些人们注意的重点放在地形、气候、黄土特性等自然的作用,并以此得出自然侵蚀占主导地位的判断,从而影响到黄土高原水土流失的治理方针和治黄决策等一系列重大问题。对此,我们从地质时期和历史时期以来自然侵蚀和人为加速侵蚀的演变过程,特别是该过程与生态环境的密切关系,进行了论证,提出了与上述报导不同的见解^[1,2]这里我们再以子午岭林区为例进行典型剖析。关于子午岭林区能否作为黄土高原植被因素对侵蚀影响的典型事例,有些人曾提出了一些疑问,其主要理由是子午岭林区为特殊地区,降雨量偏多,森林易恢复,土壤侵蚀也不可能发展很严重;再一点的疑问是黄土高原大部分地区不能生长类似子午岭地区的森林,土壤侵蚀和黄河泥沙控制的有效途径主要还是依靠拦蓄泥沙的坝库工程措施。以下将从子午岭林区植被恢复前后土侵蚀的演变,不同地形部位林地与开垦地野外径流场定位观测,及野外人工降雨试验三个方面的初步研究结果进行讨论。

2 子午岭林区植被恢复前后土壤侵蚀的演变

2.1 子午岭林区植被恢复前的土壤侵蚀特征

子午岭林区的概况已有专文介绍,其现状为天然次生林区,林木郁闭度 0.7~0.9。据历史记载,自明清以来,该地区的森林曾遭到严重的破坏,到清朝末的 1866 年以后,因战乱和民族纠纷,人口逃亡、迁移他地,植被逐渐自然恢复,形成了现在的梢林景观。但是植被恢复前该区的土壤强度究竟达到什么程度,至今尚无专门报导。如果不查明植被恢复前的土壤侵蚀原貌,就植被演变和土壤侵蚀的关系难以提出有力的论证。

本文以位于林区的富县任家台林场进行典型调查。以统计残留的古窑洞,分析推算当地植被恢复前的人口密度和垦殖率;以坡面上分布的地埂、浅沟标志,分析土地利用和耕地土壤侵蚀特征;以

残留的滑坡面,统计滑坡的发生频率和重力侵蚀的特征。在上述调查分析基础上,再与其他类似地区进行比较,推算植被恢复前的土壤侵蚀强度^[3,4]

2.1.1 子午岭林区植被恢复前的开垦程度 在任家台林场的洛河一级支流的 30km 范围内进行了调查。在此区域内残留的古窑洞共计 205 孔,根据当时的居住条件、人口密度,并与现在的居住条件作比较,推算该地区曾居住了将近 100 余户,共计人口约 600~700 人,人口密度为 21.7~25.3 人/km²。再根据坡面残留的地埂等开垦痕迹、浅沟分布的上限坡度,该地区开垦的上限坡度已达 30°左右。综合分析上述数据,推算当时人均耕地约 17 亩,垦殖指数 25%~30%,接近于现在林区周围的开垦区,相当于安塞、志丹、延安等县的现代垦殖率。该地区梁坡上浅沟的发育和分布,也可以说明当时的垦殖率和侵蚀强度相当于现在的安塞等县。

2.1.2 子午岭林区植被恢复前的土壤侵蚀特征 浅沟是一种不易引起人们注意的一种侵蚀类型,但它是坡面上人为加速侵蚀的重要标志。浅沟是人为耕垦坡面,特别是持续耕垦大于 20°陡坡而发育的一种特殊侵蚀类型。以浅沟为体系的集水区,使坡面被分割为呈瓦背状起伏的微地貌。浅沟的集水区往往成为发育切沟侵蚀的根源。经实地考察和 1978 年 1:1.4 万航片的解译,该地区坡面浅沟的分布密度为 20~50km/km²;宽度和深度分别为 10~15cm 和 1~1.5m。据我们已研究得出的浅沟发育特征值^[5]本区任家台浅沟发育特征略高于今陕北安塞一带的平均状况(表 1)。

表 1 不同地区浅沟分布密度出现频率 (km/km²)

地 区	<20	20~30	30~40	40~50	20~50	>50
安 塞	19	41	30	6.6	77.6	3.4
白于山	9	31.8	40.9	13.6	86.3	4.7
任家台	4.2	23.9	45.1	21.1	90.1	5.6

本区地处构造抬升强烈区,地层结构复杂,临空面大,沟谷部位三趾马红土出露广泛,滑坡、泻溜等重力侵蚀活跃。据 2.83km² 小流域典型调查制图,^[3]滑坡分布密度大,出现频率 5.3 个/km²;大型滑坡出现的频率 1.1 个/km²。有三个滑坡体形成聚淤,已淤成三块面积为 70~100 亩的坝地。

由上可见,子午岭林区在植被恢复前,土壤侵蚀相当严重。森林遭到严重破坏,垦殖率相当高,大于 25°以上的陡坡也已遭到开垦,坡面多被浅沟分割,滑坡等重力侵蚀也相当活跃。当时的侵蚀强度相当于现在的延安一带地区,年土壤侵蚀模数估算约为 8 000~10 000t/km²。植被自然恢复后的子午岭地区,不仅有效地控制了坡面侵蚀与沟谷侵蚀,滑坡等重力侵蚀也得到了基本控制。

2.2 子午岭林区植被自然恢复过程与土壤侵蚀演变

关于黄土高原水土流失规律的研究,一般多在植被已遭到破坏的情况下,观测研究坡度、坡长、降雨及不同水土保持措施对土壤侵蚀的影响。因人为活动破坏自然植被,或人类停止开垦后,植被自然恢复情况下的土壤侵蚀演变过程,尚未见专门的研究报导。原为强度侵蚀的子午岭地区,经 100 多年植被的自然恢复,为研究解答以上的问题,提供了理想的场所。

2.2.1 植被自然恢复过程与土壤特征的演变 在研究区任家台林场的瓦窑沟小流域进行了土壤剖面的详查。自流域两侧的分水岭跨流域主沟道截取横断面,调查了不同地形部位、不同坡向、不同坡度的土壤剖面特征和植被状况^[6]

调查区的森林郁闭度达 0.7 以上,林下草灌茂密,覆盖度达 90%以上。乔木主要由山杨、辽东栎、白桦组成的混交林;灌木有狼牙刺、虎榛子、酸枣、绣线菊等;草木有四季青、铁杆蒿等。不同地形部位和不同坡向的林草种类略有差异。分水岭部位林草生长较稀疏,乔木为散生的杜梨、山杏、山桃,植被以狼牙刺、铁杆蒿、四季青等草灌为主;梁坡以山杨、辽东栎占优势,地面枯枝落叶层厚 2~

5cm, 阴坡林草长势优于阳坡, 地面枯枝落叶层也较厚; 沟谷部位以白桦、辽东栎占优势, 林下草灌多为虎榛子、绣线菊和四季青。不同地形部的土壤剖面发育程度与植被类型和覆盖度, 具有一定的相关性。如图 1 和表 2。

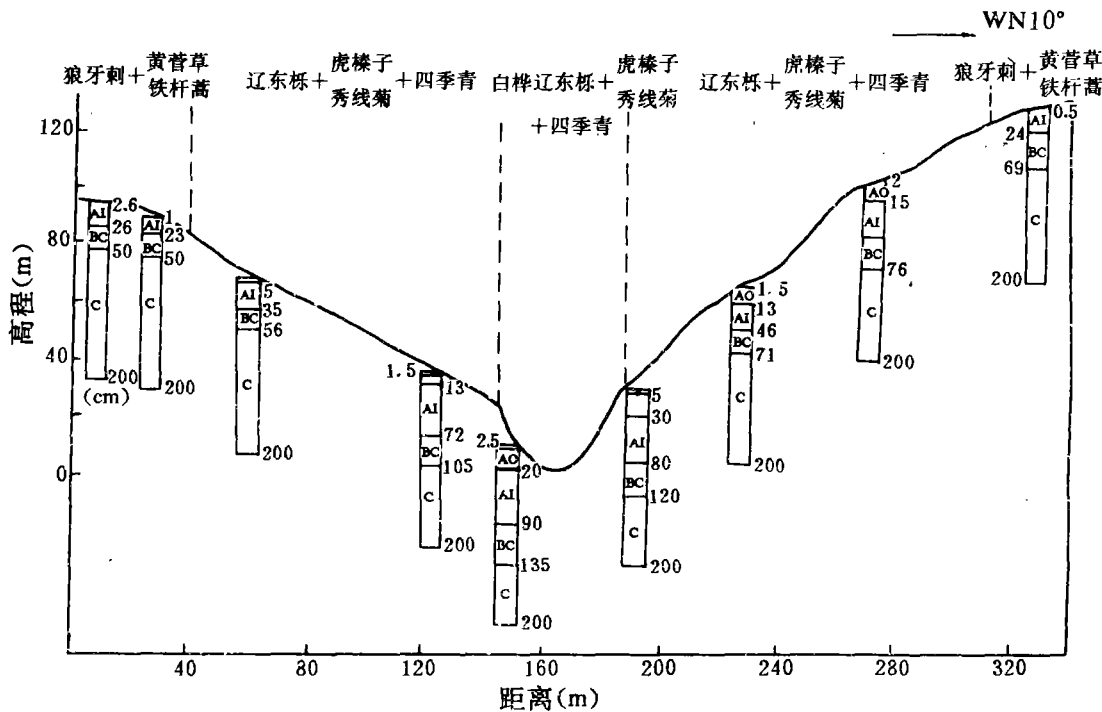


图 1 观测场所在流域植被与土壤垂直分异断面图

表 2 不同地形部位土壤剖面特征

剖面号	FS9004			FS9001			FS9002			FS9003		
坡度	33°			27°			32°			7°		
地形部位	沟谷沟槽			坡面浅沟沟槽			浅沟沟头 浅沟分水脊			梁 顶		
发生层	深度 (cm)	有机质 (%)	>0.25 mm 水 稳性团粒 (%)	深度 (cm)	有机质 (%)	>0.25 mm 水 稳性团粒 (%)	深度 (cm)	有机质 (%)	>0.25 mm 水 稳性团粒 (%)	深度 (cm)	有机质 (%)	>0.25 mm 水 稳性团粒 (%)
A ₀	0-2.5			0-1.5			0-0.8					
A	2.5-20	8.133	69.25	15-13	5.377	73.84	0.8-6	5.195	67.86	0-5	4.897	
A/B	20-90	2.093	71.84	13-72	1.808	74.20	6-35	2.044	62.13	5-25	20.34	69.55
B/C	90-135	1.269	53.55	7-105	0.801	53.72	35-66	0.250	46.96	75-50	0.418	40.35
B/C	135-180	11.139	46.40	105-150	0.390	14.79	66-150	0.165	14.20	50-150	0.329	13.90

由表 2 可知, 在原流水冲刷比较强烈的浅沟和沟谷部位, 土壤剖面发育最为深厚; 其次为浅沟之间的分水脊和浅沟沟头部位; 在地形比较平缓原侵蚀最轻微的梁顶部位, 土壤剖面发育程度最

浅。土壤剖面发育程度的差异主要表现为A层与A/B层的厚度;有机质含量与水稳性团粒结构的含量。根据以上三个指标综合分析,有机质含量在1%以上,>0.25mm水稳性团粒结构含量在40%以上的剖面厚度,顺序为沟谷剖面(FS9004)厚180cm,浅沟部位(FS9001)厚105cm,浅沟沟头部位或分水脊(FS9002)厚66cm,最后为梁顶的剖面(FS9003)厚仅50cm,剖面厚度相差16~130cm。

以上土壤剖面特征说明,土壤遭受强烈侵蚀后,一旦停止开垦撂荒,影响土壤剖面发育和土壤侵蚀最敏感和直接的因子,已不是地形,而是决定于自然植被恢复的速率和程度,后者又决定土壤水分状况(图2)。在浅沟和沟谷的低凹部位,通常是径流集中部位而形成股流的强烈侵蚀部位,一旦在这些部位停止开垦,由于土壤水分状况较好,自然植被恢复最早,土壤侵蚀强度随之减弱,土壤侵蚀首先得到控制。原地形较平缓的梁顶在开垦的情况下,其侵蚀强度显然低于同样开垦的陡坡;而当停止开垦撂荒后,梁顶的土壤水分状况最差,植被的恢复相对迟缓。当浅沟和沟谷部位因植被的恢复而基本控制侵蚀时,梁坡和接近梁顶的坡面侵蚀仍在进行,其流失的土壤则被已恢复植被的浅沟和沟谷所拦蓄。如此年复一年,浅沟与沟谷部位的土层不断增厚,直到梁坡植被恢复达到自然生态平衡,侵蚀得到基本控制。从土壤剖面发育的厚度可见,植被的恢复先由沟谷地再发展到沟间地;在沟间地部位,先由地形较低凹的浅沟等部位,再发展到梁顶顶部。根据植被的演变发展规律,黄土丘陵沟壑区重建和恢复植被的合理配置,则应基本遵循沟、坡、梁(梁、梁顶部),相应乔、灌、草

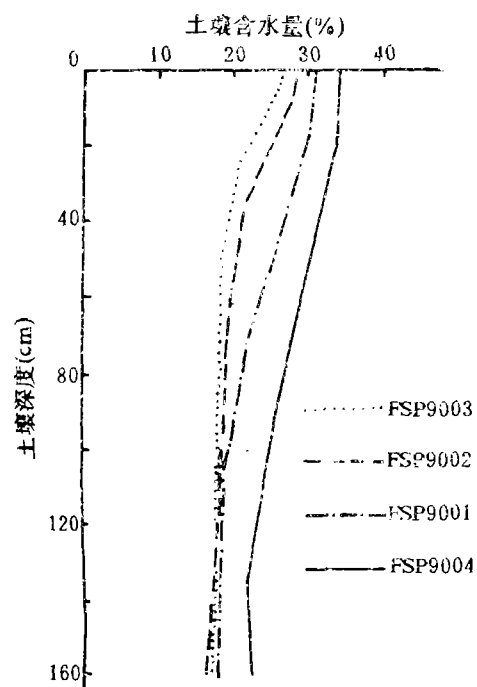


图2 不同地形位土壤水分含量

的顺序布局。在调查区还发现,无论是缓坡或陡坡,一旦恢复植被后,地形对成壤过程和侵蚀的影响、相形见绌。反之,当气候转向干旱恶化时,自然植被的退化和侵蚀的发展,显然是由土壤水分状况较差的梁顶顶部开始,然后再发展到低凹的沟谷部位。自然植被和自然侵蚀的演变规律,为人工建造植被或封育,为水土保持措施的布署,提供了重要的科学依据。在自然状态下,植被、土壤和土壤侵蚀的演变,是一个较漫长的自然演变过程。

2.2.2 植被恢复与土壤侵蚀的演变 根据以上土壤剖面特征,随着植被在不同地形部位恢复的规律,原侵蚀强烈的坡面浅沟侵蚀和沟谷侵蚀首先得到控制,并产生了淤积现象(如图3)。地形较平坦的梁坡或梁顶分水岭部位,因植被恢复较迟缓,侵蚀的控制难度大于浅沟和沟谷部位。根据土壤剖面特点,浅沟部位堆积的厚度达50cm,沟谷部位堆积的厚度达130cm。在植被向自然生态平衡状况转化过程中,沟谷侵蚀首先得到控制,并发挥了拦蓄泥沙的作用。同时滑坡等重力侵蚀也得到有效控制,在调查地区不仅未发现新滑坡和新的滑塌体,在老滑坡面和滑坡体因生长了林草植被得到了稳定和控制。子午岭林区的生态环境现状说明,人为加速侵蚀已逐渐演化为自然侵蚀。

人为对林草植被的破坏和开垦,使土壤表面失去了植被的保护,土壤表土层因耕垦而失去植物根系的固结。在此情况下,降雨、地形、和黄土易蚀特性等对侵蚀的作用相对突出,土壤侵蚀急剧发展,即由自然侵蚀发展演变为加速侵蚀。以下应用研究区建立的林地与开垦地的观测资料,进一步说明植被对土壤侵蚀的影响,自然侵蚀和人为加速侵蚀的演变和强度。

3 人为破坏植被加速土壤侵蚀的定位观测研究

自 1989 年起,在试验研究区布设了大型径流场和标准小区的定位观测研究,以自然坡面为基础,包括了坡面的浅沟侵蚀。试验的布设在子午岭林区土壤侵蚀与生态环境演变研究的文章中已有详述。(见本刊第一篇文章)。共设计了林地、林木砍伐迹地、林地开垦为农地;林地开垦裸露休闲的不同土地利用处理;梁坡开垦、谷坡开垦、梁坡+谷坡全开垦的不同地形部位的处理;林地基本上代表了该地区的自然侵蚀,林木砍伐迹地和开垦地代表了人为活动影响下的加速侵蚀。通过上述不同处理情情况下侵蚀产沙过程的观测研究,分析评价自然侵蚀和人为加速侵蚀的演变。

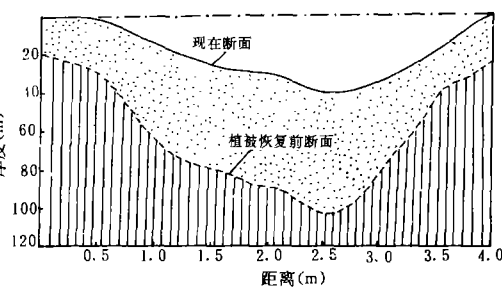


图 3 浅沟淤积断面图

3.1 不同地形部位林地与开垦地的土壤侵蚀特征及自然侵蚀与人为加速侵蚀的演变

综合 1989—1991 年的观测资料列于表 3。由表 3 可见,任何地形部位的林地,经三年的观测研究,基本上都不发生侵蚀,或侵蚀很轻微。径流模数也极低,多在数十或数百立方米左右。个别情况下,超过 1 000m³/(km²·a)。林木砍伐后未经耕垦的土地,虽然失去了林冠及植物地上部分对拦截或削减降雨径流的作用,但由于地面尚保留枯枝落叶层及植物根系固结土壤的原状结构,仍保护地面免于直接遭受雨滴打击

和径流的冲刷作用,产流产沙量极为轻微,类同未砍伐的林地。林地一旦被开垦,在同样降雨情况下,产流产少剧增,侵蚀模数多在 10 000t/(km²·a)以上,甚至超过 20 000t/(km²·a)。按土地利用情况,开垦裸露地的侵蚀量最大,并随坡度、坡长而发生明显的变化。以开垦裸露地为例,梁坡、梁坡+谷坡和谷坡三者土壤侵蚀模数的比值和顺序大致为:1:1.5:2,其中坡度的影响大于坡长的影响。

表 3 不同地形部位不同利用方式侵蚀强度比较

地 形	土地利用方 式	观测年限	小区面积 (m ²)	坡 度 (°)	径流模数 [m ³ /(km ² ·a)]	侵蚀模数 [t/(km ² ·a)]	观测 次数	小 区 号
梁 坡	林地	1989—1991	965.8	32	215.26	1.29	22	5
坡度 14~32°	开垦农地	1990—1991	1144.3	34	32335.16	9703.70	22	7
坡长 80~86m	开垦裸露	1990—1991	995.2	32	27479.50	10324.50	22	6
谷 坡	林地	1989—1991	253.5	37~42	1481.50	14.41	28	1
坡度 37~42°	开垦农地	1990—1991	460.5	38~41	3910.59	13179.35	24	8
坡长 38~48m	开垦裸露地	1990—1991	243.8	37~42	41123.98	21774.12	24	2
梁坡+谷坡	林地	1989—1991	1664.8	32~38	296.01	0.98	20	4
坡度 14~32° 38~42°	砍伐迹地	1989—1991	2262.1	34~38	47.91	0.48	17	9
坡长 117~137m	开垦裸露	1990—1991	1409.7	32~38	2425.84	15286.94	24	3

3.2 降雨特征对林地和开垦地侵蚀的影响

按年降雨量资料分析,不同地形部位的林地基本上不发生侵蚀。按降雨特征分析,也得出相同的规律性。按平均雨强、10min 雨强和 30min 雨强三种情况的分析,径流模数和侵蚀模数均变化不大,且数值极低,基本上可以忽略不计(表 4)。反之在开垦地,因降雨特征的差异,径流量和侵蚀量

差异十分明显(表 5)。据表中前 4 次观测资料,降雨量均为 40mm 左右,由于 10min 雨强和 30min 雨强差别甚大,径流量和侵蚀量相差明显,尤其是 10min 雨强影响更突出;当 10min 雨强相差 1 倍至 10 倍时,径流模数相差 4.2~82.5 倍;土壤侵蚀模数相差 8.4~100 000 倍;降雨组合指标 PI_{10} 和 PI_{30} 基本上也呈现相同的规律。由表 5 可知,当 10min 雨强小于 0.5mm/min 情况下,基本上不发生侵蚀,或侵蚀量很轻微,侵蚀模数 $<500t/km^2$ 。

表 4 谷坡林地降雨特征与径流量、侵蚀量分析									
编号	观测时间 (年、月、日)	降雨量 (mm)	平均雨强 (mm/h)	10min 雨强 (mm/min)	30min 雨强 (mm/min)	径流总量 (m ³)	径流模数 (m ³ /km ²)	侵蚀量 (kg)	侵蚀模数 (t/km ²)
1	1989.7.14	22.8	3.70	1.3	0.48	0.0573	193.91	1.3657	4.416
2	1989.7.23	26.3	5.8	0.7	0.43	193.91	0.1433	0.484	
3	1990.7.26	40.8	5.38	1.10	0.52	0.1171	396.3	1.815	7.160
4	1990.8.1	15.1	12.91	0.62	0.38	0.043	145.5	1.33	4.50
5	1990.8.16	54.3	2.17	0.35	0.26	0.0311	105.2	0.249	0.84
6	1991.6.10	38.3	6.38	1.0	0.73	0.0244	82.47	0.066	0.223
7	1991.7.4	24.0	24.82	1.20	0.72	0.0358	171.29	0.3485	1.179
8	1991.7.9	16.6	22.65	0.60	0.38	0.0105	35.57	0.057	0.1929
9	1991.8.18	9.9	11.42	0.55	0.38	0.0239	80.85	0.062	0.2096

表 5 谷坡开垦裸露地降雨特征与径流量、侵蚀量分析									
编号	观测时间 (年、月、日)	降雨量 (mm)	平均雨强 (mm/h)	10min 雨强 (mm/min)	30min 雨强 (mm/min)	PI_{10} (mm ² /min)	PI_{30} (mm ² /min)	径流模数 (m ³ /km ²)	侵蚀模数 (t/km ²)
1	1990.7.26	40.8	5.38	1.10	0.52	44.88	21.216	5260.80	3602.2
2	1991.6.10	38.3	6.38	1.0	0.73	38.3	27.96	4555.33	4080.5
3	1991.7.28	40.3	6.04	0.55	0.45	22.165	18.135	1254.26	483.82
4	1991.10.3	39.2	1.23	0.11	0.09	4.312	2.862	63.73	0.406
5	1990.7.31	13.2	6.60	0.45	0.21	5.94	2.772	147.6	147.6
6	1991.5.25	64.2	4.43	0.40	0.23	25.68	14.766	332.29	104.97

根据不同地形部位开垦农地与开垦裸露地的观测资料,进行了径流量、侵蚀量与降雨特征值及降雨组合指标垢回归分析,其结果表明(表 6),径流量、侵蚀量均与 10min 和 15min 雨强关系密切,与降雨特征组合指标(降雨量 P 与平均雨强 I 的乘积)也呈现较好的相关性。

3.3 林地开垦细沟和浅沟侵蚀的特征

本区梁坡林地浅沟分布密度较大,经植被恢复后,浅沟侵蚀已被控制,且沟床淤积严重。经人为砍伐林木和开垦后,浅沟又成为径流汇集的场所,沟床下切,形成槽形的侵蚀沟道。坡面上浅沟的分布,使坡面形成的每条浅沟成为汇流面的小集水区,呈瓦背状起伏的微地貌,致使细沟侵蚀也很强烈,梁坡细沟和浅沟侵蚀量可占坡面侵蚀的 70%~90%。据大型径流场观测资料,以不同地形部位开垦裸露地为例(表 7),平均细沟侵蚀量占总侵蚀量 27.8%,浅沟侵蚀量占总侵蚀量的 60%,两项合计占总侵蚀量的 87.8%。黄土丘陵沟壑区现代坡耕地上的浅沟侵蚀年浅沟下切深度多在 30~50cm,也有超过 100cm 者;平均浅沟侵蚀量占总侵蚀量的 35%,在严重地区达 60%~70%^[5]。这里

的观测数据系林地的新开垦地,土壤中的根系和团粒结构的含量比较高,抗冲性能较强,年浅沟的下切深度多在 10~30cm,占 50%~70%,但浅沟侵蚀的强度已接近水土流失严重地区。由此可见,本区在植被恢复前,因人为开垦所造成的加速侵蚀已相当严重。一旦植被恢复,强烈的细沟和浅沟侵蚀均能得到有效的控制。

表 6 侵蚀量、径流量与降雨特征值及其组合指标的相关方程

小区号	处 理	侵蚀量相关方程 (t/km ²)	相关系数 (r)	径流量相关方程 (m ³ /km ²)	相关系数 (r)
2	谷坡开垦裸露地	$E=3536.64I_0^{0.6248}$	0.9379	$R=6016.50I_0^{1.157}$	0.9334
6	梁坡开垦裸露地	$E=2993.81I_0^{0.3393}$	0.9306	$R=5371.05I_0^{0.3065}$	0.8504
3	梁坡+谷坡开垦裸露	$E=3096.00I_0^{0.6507}$	0.9306	$R=6129.52I_0^{1.574}$	0.8789
7	梁坡开垦农地	$E=2342.48I_0^{0.1821}$	0.9379	$R=6229.57I_0^{0.2713}$	0.8808
8	谷坡开垦农地	$E=2088.23I_0^{0.1821}$	0.9358	$R=6775.82I_0^{0.6555}$	0.9178
2	行坡开垦裸露地	$E=5207.48I_0^{0.4840}$	0.9455	$R=7495.13I_0^{1.698}$	0.9256
6	梁坡开垦裸露地	$E=5077.37I_0^{0.9738}$	0.9627	$R=7562.65I_0^{2.650}$	0.9213
3	梁坡+谷坡开垦裸露	$E=4722.36I_0^{0.5433}$	0.9328	$R=6942.83I_0^{1.744}$	0.8883
7	梁坡开垦农地	$E=3122.36I_0^{0.6048}$	0.9505	$R=6765.16I_0^{2.763}$	0.8671
8	谷坡开垦农地	$E=3018.06I_0^{0.0929}$	0.9304	$R=6356.71I_0^{3.982}$	0.8814
2	谷坡开垦裸露地	$E=0.0018(P\bar{I})^{2.3708}$	0.8376	$R=0.9449(P\bar{I})^{1.4607}$	0.8697
6	梁坡开垦裸露地	$E=0.0003(P\bar{I})^{2.6848}$	0.8952	$R=0.1686(P\bar{I})^{1.6786}$	0.8015
3	梁坡+谷坡开垦裸露	$E=0.0041(P\bar{I})^{2.1880}$	0.8920	$R=2.7650(P\bar{I})^{1.2400}$	0.8688
7	梁坡开垦农地	$E=2.2053\times 10^{-3}(P\bar{I})^{2.2381}$	0.8546	$R=0.1414(P\bar{I})^{1.7644}$	0.8678
8	谷坡开垦农地	$E=0.0063(P\bar{I})^{2.0171}$	0.8236	$R=0.8152(P\bar{I})^{1.4779}$	0.8098

表 7 不同地形部位林地开垦裸露后细沟和浅沟侵蚀量的变化

小区号	地形部位	总侵蚀量	细沟侵蚀量		浅沟侵蚀量		细沟+浅沟	
		t/(km ² ·a)	t/(km ² ·a)	(%)	t/(km ² ·a)	(%)	t/(km ² ·a)	(%)
6	梁 坡	10326.5	2200	21.3	7200	69.7	9400	91.0
2	谷 坡	15286.9	6700	30.7	12600	57.9	19300	88.6
3	梁坡+谷坡	21774.2	4800	31.4	8028	52.5	12828	83.9
	平 均			27.8		60.0		87.8

3.4 林地和开垦地土壤侵蚀演变特征

在相同降雨情况下,林地和开垦地土壤侵蚀演变受树冠对降雨截留的作用、地面枯枝落叶层对削减降雨径流冲刷力和增强降雨入渗的作用、及土壤物理结构特性的影响。

3.4.1 林地树冠截留降雨的作用 在梁坡林地和开垦地,谷坡林地和开垦地所布设的型径流场,分别布设了雨量筒,以比较不同地形部位林地和开垦地降落到地面的雨量和树冠截留量和截留率。据梁建民等在黄龙林区的观测资料^[7]汛期各类树种的平均树冠截留率 12%~27%;程积民的观测资料说明^[8]天然次生林山杨、白桦和辽东栎汛期的树冠截留率为 10%~40%。根据我们在径流场的观测资料经回归分析得出,树冠截留率与最大 10min 雨强关系最密切(表 8、图 4)。当雨强小于 0.1mm/min 时,平均截留率 56%;当雨强大于 0.1mm/min 时,平均截留率是 29%。

表 3 降雨特征与树冠截留降雨回归方程

降雨指标	指数回归方程	相关系数
PI_{30}	$R=32.885(PI_{30})^{-0.147}$	-0.88347
PI_{10}	$R=35.945(PI_{10})^{-0.150}$	-0.90321
I_{30}	$R=16.067I_{30}-0.311$	-0.92151
I_{10}	$R=19.137I_{10}-0.309$	-0.93396

表中的 R 代表树冠的截留率(%)； P 代表一次降雨量(mm)； I_{30} 代表最大 30min 雨强(mm/min)； I_{10} 代表最大 10min 雨强(mm/min)

3.4.2 林地枯枝落叶层拦蓄降水和径流的作用

林不砍伐迹地,虽然已丧失树冠对降雨的截留作用,由于地面的枯枝落叶层和土层结构未经破坏仍保持原状,其拦蓄径流和防止土壤侵蚀的作用与林地类同,基本上未发生侵蚀,径流量也极微。据子午岭林区的有关试验^[6]乔木林下枯枝落叶最大吸水量 6 504~9 955m³/km²,灌木林下是 1 323m³/km²,占降雨量的 21%~27.6%。

林地枯枝落叶层和根系对防止土壤侵蚀的作用,为开垦农地采用留茬、残茬覆盖、草田带状间作等增加地面覆盖的水土保持措施,提供了科学依据。

3.4.3 林地与开垦地土壤特征及其对侵蚀的影响 林地保持水土效益的特点,不仅在于其地上部分直接抵御雨滴打击和径流的冲刷作用,另一方面以其密集的根系固结土壤,改善了土壤理化性状,增强了降水入渗和土壤的抗冲抗蚀性能。

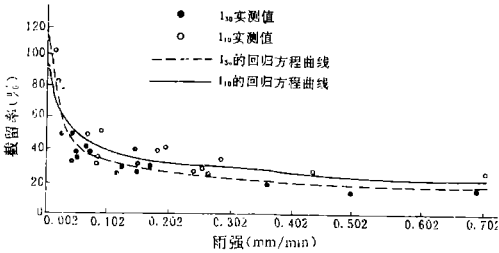


图 4 树冠截留降雨与雨强的回归曲线

表 9 林地与开垦地土壤剖面理化特征变化

利用	深度 (cm)	有机质 (%)	容重 (g/cm ³)	非毛管 孔度 (%)	前 30min 入渗速率 (mm/min)	稳渗 速率 (mm/min)	崩解率 (%)	冲刷值 (g/min)	根量 (g)
开垦 10 年 农地	0~20	0.842	1.05	11.8	6.63	2.88	97.2	45.9	0.42
	20~35	0.567	1.32	4.0	5.40	2.85	94.0	5.70	0.14
	35~62	0.502	1.28	4.4	2.24	1.24	100	7.5	0
	62~150	0.392	1.23	5.7	0.88	0.48	100	13.4	0
林 地	0~15	5.320	0.62	20.6	17.37	12.50	4.5	2.8	7.69
	15~45	1.808	1.08	8.3	7.70	5.91	7.4	3.1	2.66
	45~75	0.801	1.08	9.3	3.28	0.87	8.9	4.0	2.30
	75~150	0.590	1.28	3.2	1.64	0.85	93.1	12.4	0.47

备注 崩解率为 4cm×4cm×4cm 土块在静水中 10min 的崩解量占总量(%);冲刷值为:用 CC 索波列夫抗冲仪 1.103×10⁵Pa, 孔径 1mm, 冲 1min 后的冲刷量(g)

林地开垦后加速土壤侵蚀的作用,不仅在于地面失去了植被的保护,且土壤理化性状严重恶化,从而促使土壤侵蚀的发展。其中最明显的指标为土壤容重、稳渗率、崩解率、冲刷值、根量、有机质、水稳性团粒结构含量等。用人工放水测定土壤抗冲性能的结果表明,林地单位水量冲刷仅 0~1.2g/L;开垦地则高达 57.8~192.5g/L,是林地最大值的 48~160 倍。表 9 列示了林地与开垦地的土壤理化性状。与林地作比较已开垦农地的有机质含量、非毛管孔隙度和稳渗率分别降低了 84.3%、44.0%和 76.96%。土壤性质和恶化又反馈为土壤侵蚀的加剧,如此恶性循环不已。

4 人为破坏植被加速侵蚀的人工降雨试验

在进行定位观测的同时,在试验区进行了人工降雨的试验。采用的野外人工降雨装置为侧喷式,降雨高度达 9m 以上,径流小区面积为 $1.5\text{m} \times 5\text{m}$ [9] 在林地、草地和开垦地分别进行了试验,研究结果显示了与定位观测相同的规律性。

4.1 林地与开垦地人工降雨土壤侵蚀试验

试验采用了 3 种雨强、2 种坡度(20° 、 30°)和 2 种处理(林地与林地当年开垦休闲)。研究结果(表 10)说明,林地 在任何雨强或坡度情况下,均能有效地控制土壤侵蚀,土壤侵蚀模数最高仅 $49.33\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$;与开垦地作比较,拦沙效益多在 99% 以上;拦蓄径流的效益在 20° 情况下为 95%~100%;在 30° 情况下为 76%~90%。林地被开垦后,土壤侵蚀模数急剧增长到 $11\,450\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$,为林地的 232 倍,在表中所示 3 种雨强情况下,开垦地坡度由 20° 增至 30° 时,土壤侵蚀随雨强的增大顺序为 391%、115% 和 646%。3 种雨强对 20° 开垦地侵蚀强度的影响比值为 1:5.5:12.3;在 30° 的开垦地为 1:2.4:5.7。雨强和坡度对开垦地的侵蚀强度影响很大;在天然林地基本上不受雨强和坡度的影响,侵蚀很轻微。也就是说,在现代侵蚀过程中,自然因素对侵蚀的作用受人为活动的影响和制约。类同的侵蚀规律,我们在草地所进行的人工降雨试验,得到了验证。

表 10 林地和开垦地人工降雨土壤侵蚀试验

雨强(mm/min)		1.26		1.91		2.37			
降雨历时(min)		30		30		30			
处 理	林地	开垦地	林地效益 (%)	林地	开垦地	林地效益 (%)	林地	开垦地	林地效益 (%)
20°	径流量(m^3)	0	0.259	100	0	0.395	0.024	0.514	95.40
	土壤流失量(kg)	0	3.05	100	0	16.83	100	0.05	37.46
	侵蚀模数($\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$)	0	406.7	100	0	2244	100	6.67	4994.7
30°	径流量(m^3)	0.035	0.266	86.71	0.097	0.418	76.74	0.049	90.56
	土壤流失量(kg)	0.29	15	98.07	0.07	36.20	99.81	0.37	85.88
	侵蚀模数($\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$)	38.67	2000	98.07	9.33	4826.7	99.81	49.33	11450

4.2 草地与开垦草地人工降雨土壤侵蚀试验

采用以上相同的人工降雨装置的方法,研究比较了天然草地、草地开垦、撂荒地及撂荒地开垦的土壤侵蚀强度。研究结果表明(表 11),天然草地防止土壤侵蚀的作用与林地类同,基本上不发生侵蚀,且不受雨强和坡度的影响。除表中所示雨强为 $1.56\text{mm}/\text{min}$ 的试验外,雨强增至 $2.1\text{mm}/\text{min}$ 情况下,泥沙量仍为 0。草地开垦后,产流产沙量明显增长,当坡度大于 20° 时,侵蚀量的增长有明显的转折,为小于 20° 坡面侵蚀量的 3 倍。农地一旦停止开垦,草被开始自然恢复仅历经 4 年,侵蚀即得到有效控制。撂荒地地重新开垦后,其侵蚀量显然大于当年开垦的草地,其原因在于开垦历史愈久,土壤结构破坏愈严重,侵蚀强度愈大。

因此,人类开垦对自然生态平衡的破坏,是由自然侵蚀演变为加速侵蚀的主要原因。人类活动对自然环境破坏愈严重,侵蚀愈强烈。草地的人工降雨试验进一步证明,在黄土高原恢复草被,也能有效地防治水土流失。在黄土高原绝大部分地区,恢复和建造草、灌植被是可行的,也是减少入黄泥沙快速有效的途径。把重建植被与发展经济果木、发展林副产品和发展畜牧业相结合,在黄土高原有很大的潜力,将取得生态与经济的同步效益。

表 11 草地和草地开垦的人工降雨试验(一次降雨总量 48.4mm,雨强 1.56mm/min)

试 验 处 理	坡 度	径流总量 (mm)	泥沙总量 (g)	含沙量 (g/L)	每毫米降雨 产沙量(g/mm)
天然草地	18~20°	0.72	0	0	0
	23~25°	1.04	0	0	0
	32~35°	1.57	0	0	0
草地开垦(当年)	18~20°	19.36	3524.1	24.27	72.8
	23~25°	29.03	11658.9	53.53	240.9
	32~35°	30.86	12962.2	55.99	267.8
农地撂荒(4年)	18~20°	15.64	205.6	3.24	4.3
撂荒地当年开垦	18~20°	34.80	21943.2	84.07	453.4

5 结 语

5.1 子午岭林区为黄土高原残存的天然次生稍林区,1866年后因战乱和民族纠纷,人口迁移他地,田地荒芜,植被逐渐自然恢复而形成目前的生态环境。

5.2 根据林区内的典型调查,通过考察古窑洞、坡面地埂和浅沟的痕迹及滑坡分布密度,综合分析推算当时的人口密度,垦殖率,推算出该区 1866 年前的侵蚀强度相当于现今延安一带地区。

5.3 子午岭林区植被恢复前后的生态环境,基本上代表了该地区人为加速侵蚀与自然侵蚀的演变。通过林区内富县任家台林场瓦窑沟小流域的典型调查发现,一旦人为开垦活动停止,影响土壤侵蚀发育和土壤侵蚀过程的因子不是地形,而是决定于植被恢复的程度。原为强度侵蚀的坡面浅沟和沟谷部位,由于自然植被恢复最早,侵蚀首先得到基本控制,与此同时,原为地形较平缓侵蚀较轻的梁峁顶部,因植被恢复迟缓而侵蚀仍在进行,其流失的土壤则为已恢复植被的浅沟或沟谷所拦蓄,故土壤剖面发育深厚。反之,自然植被的退化和侵蚀的发展,则先由梁峁坡开始,再发展到沟谷。自然植被和自然侵蚀的演变规律,为分析坡、沟侵蚀的演变,为人工恢复和建设植被,提供了重要依据。

5.4 大型径流场的定位观测研究说明,代表自然生态平衡状况的林地,由于树冠、枯枝落叶层和根系对地面的保护,基本上不发生侵蚀,且不受降雨和地形因子的影响,代表了该地区自然侵蚀的特征。林地一旦被开垦,土壤侵蚀急剧发展,且降雨和地形因子对侵蚀的作用相对突出,该侵蚀特点代表了人为活动影响下的加速侵蚀。

5.5 在天然林地和天然草场及其开垦地的野外人工降雨试验,取得了类同于定位观测的研究结果,植被的恢复或破坏是决定土壤侵蚀发展方向和侵蚀强度的关键因素。

5.6 林地、草地开垦后,不仅失去了植物地上部分和枯枝落叶层对地面的保护,而且破坏了植物根系对土壤的固结作用,土壤理化性状恶化,促使土壤侵蚀急剧发展,又反馈为土壤性状的恶化,如此恶性循环不已。

5.7 子午岭林区植被恢复前后土壤特性和土壤侵蚀的急剧变化,说明了土壤侵蚀与生态环境演变的密切关系。子午岭林区现状,基本上代表了该地区生态平衡状况下的自然侵蚀,侵蚀极为微弱。林区一旦遭到人为破坏和不合理开垦,土壤侵蚀急剧发展,降雨和地形自然因素对侵蚀的作用相对突出,但已不是自然侵蚀,而是人为活动影响下的自然因子对加速侵蚀的作用。加速侵蚀量为自然侵蚀量的数百倍,甚至上千倍以上。

5.8 子午岭林区的自然侵蚀和人为加速侵蚀的剖析说明,恢复和建造植被,无论是植树或种草、

通过增加地面覆盖和改良土壤,均能有效地防治土壤侵蚀;同时也是改善生态环境、减少入黄泥沙的关键性措施。对于已开垦必须利用的坡耕地,除改变地形修建水平梯田等以削减降雨径流的侵蚀力外,根据林、草植被保持水土的原理,采取留茬、残茬覆盖,草田轮作和草田带状间作及改善土壤理化性状等措施,均可有效地保护地面减免降雨雨滴打击和径流的冲刷作用,促使降水就地入渗,防治土壤侵蚀。

参考文献

- [1]唐克丽、蔡庆.黄土高原土壤侵蚀过程和生态环境演变的关系.黄河流域环境演变与水沙运行规律研究文集,第 1 集,地质出版社,1991
- [2]唐克丽、张平仓、王斌科.黄土高原土壤侵蚀与第四纪生态环境演变.第四纪研究,1991(4)
- [3]张科利、查轩、唐克丽.子午岭林区植被恢复前后的土壤侵蚀特征及其演变.黄河流域环境演变与水沙运行规律研究文集,第 3 集,地质出版社,1992
- [4]唐克丽、张科利、刘元保、王斌科、查轩.黄土高原人为加速侵蚀与全球变化.水土保持学报,1992(2)
- [5]张科利、唐克丽、王斌科.黄土高原坡面浅沟侵蚀特征值的研究.水土保持学报,1991(2)
- [6]查轩、唐克丽、张科利、白红英、蒋集华.植被对土壤特性及土壤侵蚀的影响研究.水土保持学报,1992(2)
- [7]梁建民等.树冠截留降雨的观测试验研究.地理集刊,第 12 号,1980
- [8]程积民等.子午岭森林植被控制水土流失的作用.中国水土保持,1987(5)
- [9]陈文亮.组合侧喷式野外人工模拟降雨装置.水土保持通报,1988(5)