

# 植被恢复对土壤抗侵蚀特性影响的研究\*

查 轩 唐克丽 白红英

(中国科学院水利部西北水土保持研究所·陕西杨陵·712100)

**摘 要** 通过野外调查和试验分析,研究了子午岭林区植被恢复对土壤物理、化学等一系列抗侵蚀内在特性的影响。表明:在没有人破坏条件下植被具有很强的恢复与调节功能;植被主要通过改善土壤特性而提高其抗侵蚀能力。植被恢复后的土壤有机质、水稳性团聚体、有效磷、非毛管孔隙度及渗透性等抗侵蚀特性分别较恢复前提高了 6.2、5.6、2 和 4.5 倍,因此其土壤抗冲性指标相应增强了 20 多倍。

**关键词** 子午岭地区 植被恢复 土壤特性 土壤抗侵蚀性

## The Effect of Vegetation Restoration on Properties of Soil Resistance in Erosion

Zha Xuan Tang Keli Bai Hongying

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

**Abstract** The impacts of vegetation restoration on soil anti-erosion characteristics in Zhiwuling area are discussed in this paper, using field investigation and experemahthal analysing. The vegetation are possessed of strong function of rehabilitation and regulation without non-man-made destruction, and soil anti-erosivity and soil physi-chemical characteristics are ameliorated. It is showed that the soil organic matter, the waterstable aggregate content, non-capillary porosity, permeating rate of soil profile and soil anti-scouring action respective may increase by 6.2, 5.6, 2, 4.5 and 20 times than those before vegetation restoration.

**Key words** the Zhiwuling forest area vegetation restoration soil characteristics  
soil anti-erosivity

目前,关于自然侵蚀和人为加速侵蚀在现代侵蚀过程中各自的作用和控制程度,恢复和重建植被的必要性及可能性等,都是黄土高原综合治理中争议较大和众所关注的问题<sup>[1]</sup>。为了阐明和评价上述问题,揭示自然植被下的土壤抗蚀性内在机理,在子午岭林区调查了植被恢复对土壤发育特征及其演变规律的影响。

子午岭林区概况和植被恢复过程前面已详述,这里不再重复。我们的调查区位于富县任家台瓦窑沟流域内,植被组成及地形与深山区基本相同。土壤剖面及植被垂直分异调查自沟谷到梁峁顶部按不同地形部位挖取,其分布见图 1。其它剖面在流域内按要求选取,均有一定代表性。

收稿日期:1993—03—01

\*国家自然科学基金资助重大项目

1 植被恢复对土壤理化特性的影响

许多研究表明<sup>[3,4]</sup>土壤抗侵蚀能力的强弱,主要取决于土壤的分散性,团聚特性,胶体和土壤有机质含量及土壤的水分状况和土壤结构等多种土壤理化特性。

土壤有机质含量是土壤肥力的重要指标,它不仅含有各种营养元素,而且对形成土壤结构有重要作用,它的含量及分布程度决定于土壤侵蚀与成壤的相互作用关系。根据对不同有机质含量下土壤抗冲抗蚀性测定,其抗冲抗蚀性与有机质含量呈极显著正相关。

由图 1 可以看出:植被恢复后土壤剖面有一定发育,这和植被没有恢复的土壤相比,有着较大的差异。剖面中土壤有机质含量无论沟谷还是梁峁坡面或顶部,其 A 层及 A/B 层均在 2.0% 以上。特别是 A 层,由于植被作用及枯枝落叶物的

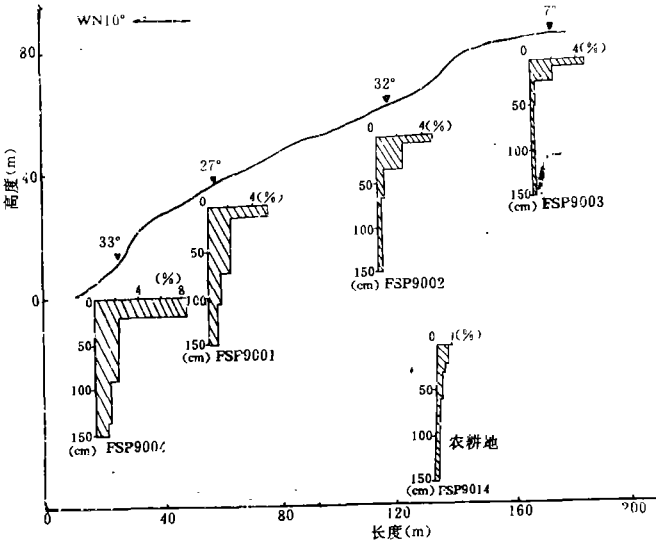


图 1 自然植被下不同地形土壤剖面有机质含量垂直变化

表 1 不同地形部位土壤剖面中有效磷含量

剖面号	FSP9004		FSP9001		FSP9002		FSP9003	
坡度	33°		27°		32°		7°	
部位	沟谷沟槽		坡面浅沟沟槽		浅沟沟头		梁顶	
植被	乔+草		乔+草		乔+草		草+灌	
发生层	深度 (cm)	有效磷 (mg/kg)	深度 (cm)	有效磷 (mg/kg)	深度 (cm)	有效磷 (mg/kg)	深度 (cm)	有效磷 (mg/kg)
A <sub>0</sub>	0~2.5		0~1.0		0~0.8		0.3	
A	2.5~20	36.63	1.0~13	12.58	0.8~6	10.75	0.3~5	12.65
A/B	20~90	6.40	13~72	2.75	6~35	10.15	5~25	4.30
B/C	90~135	4.05	72~105	1.85	35~66	3.10	25~50	2.38
C	135~180	3.85	105~150	1.68	66~150	2.20	50~150	2.30

分解与累积,有机质含量高达 5% 以上,这一层的毛根较为集中。各剖面层次中,表层土壤有机质含量最高,并随深度增加含量降低。表层有机质含量约为母质层的 6~10 倍,为农耕地的 4~7 倍。同时可以看出,不同地形部位及植被下土壤发育不同,沟谷中的土壤有机质含量最高,剖面也发育最深厚。并由沟谷到梁峁顶部依次降低,顶部草灌下的土壤发育最弱,有机质含量最低;其沟谷剖面中 135cm 以下土层有机质含量较梁峁顶部草灌地剖面中 25cm 以下土层高 2.5 倍。因为不同地形部位其植被不同,水分、根系等一系列条件也不同,并且不同植被下枯落物的数量和种类不同,所以微生物分解和累积的程度也就不同,因而土壤发育不同。据测定,乔木林地枯落物层厚度达 3~8cm,每公顷蓄积量达 32.9~62.5t;灌木林地枯落物层厚约 2.0cm,蓄积量约 23.2t/ha;草木植物地中厚约 1.5cm 左右,蓄积量约 3.88t/ha。

土壤中的磷、特别是有效磷为表层土壤中较为活跃的营养,土壤侵蚀能使大量的有效磷流失。有效磷的富集与降低也是反映成壤与侵蚀的关系。由表 1 可以看出自沟谷到梁峁顶部林草植被下

各剖面表层有效磷含量最高,达  $10.75 \sim 36.63 \text{ mg/kg}$ , 约为母质层 2~9 倍, 并且与剖面中有机层含量呈相同变化规律。

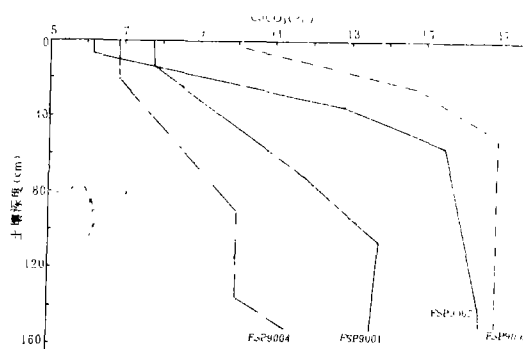


图2 自然植被下不同地形土壤剖面  $\text{CaCO}_3$  含量

是比较难治理的组成物质之一。但当其它部位植被恢复后,由于周围小气候环境的改变,红土上的植被也逐渐得以恢复,覆盖度也可达 80% 以上。周围地区调查中,大部分红土都已恢复植被,如不挖剖面也难以发现红土层。在子午岭林区的红土不仅植被得以恢复,侵蚀得以控制,而且土壤剖面也有一定层次发育(图 3)。其土壤有机质含量大于 1.0%, 表层林毡有矿质可达 4.8%, 并且根系也较密集,大大提高了红土层的抗侵蚀特性。说明在没有人为活动破坏条件下,植被具有强大的恢复与调节功能。

## 2 植被恢复对土壤渗透性的影响

地表径流是发生侵蚀和搬运泥沙的主要动力,径流大小除受降雨特征支配外,主要受土壤渗透能力的影响,土壤渗透速率大,降雨基本入渗,其径流很少,侵蚀也就减弱。土壤渗透性与土壤孔隙度、质地、结构、剖面构造及湿度相关。其植被恢复后由于土壤结构特性的改善,土壤渗透速率就大大提高。由图 4 看,均以表层渗透速率最高,林地最高达  $12.5 \text{ mm/min}$ , 草地次之  $10.2 \text{ mm/min}$ , 而耕地仅为  $2.88 \text{ mm/min}$ , 其随深度的增加入渗速率降低,林草地中表层的入渗速率是 20~35cm 的 2.1 倍,是 100cm 的 14.4 倍。在农耕地中由于没有地被物覆盖,其在降雨条件下,受雨滴打击分散作用,使孔隙堵塞,实际入渗速率要比  $2.88 \text{ mm/min}$  低的多。而林草地不存在这些问题,在自然植被下土壤入渗性能的改善,大大提高了土壤的蓄水、保水能力,提高了土壤水分利用率。据测定林草植被下可减少径流量 60%~80%, 减弱土壤侵蚀,泥沙量约减少 70%~90%, 使生态环境向良性发展。

## 3 植被恢复后土壤水分特性

前已论述,植被恢复后土壤结构、渗透等特征都发生了变化,土壤水分特性也相应的有所改善。

另外土壤剖面中  $\text{CaCO}_3$  的含量也可以反映出植被恢复后的土壤发育状况(图 2), 由图 2 可以看出,表层  $\text{CaCO}_3$  含量最低,约为 6%~10%, 并随土壤深度的增加  $\text{CaCO}_3$  含量逐渐增加。说明植被恢复过程中,由于根系分泌有机酸及枯枝落叶物分解和水分下渗等,使  $\text{CaCO}_3$  有一定的淋溶作用,这也是植被和土壤相互作用防止土壤侵蚀,促进土壤形成的重要标志。

在黄土高原,由于严重的土壤侵蚀,使许多沟头、沟道中第三纪红土出露,其红土的侵蚀较为强烈。由于其坚硬(干时),肥力低,是

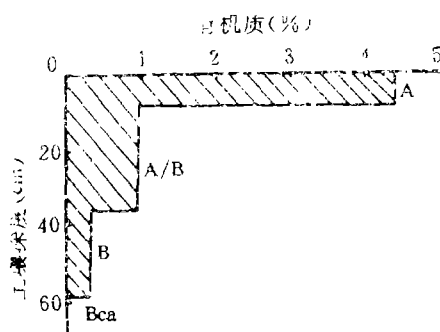


图3 红土剖面土壤有机质含量

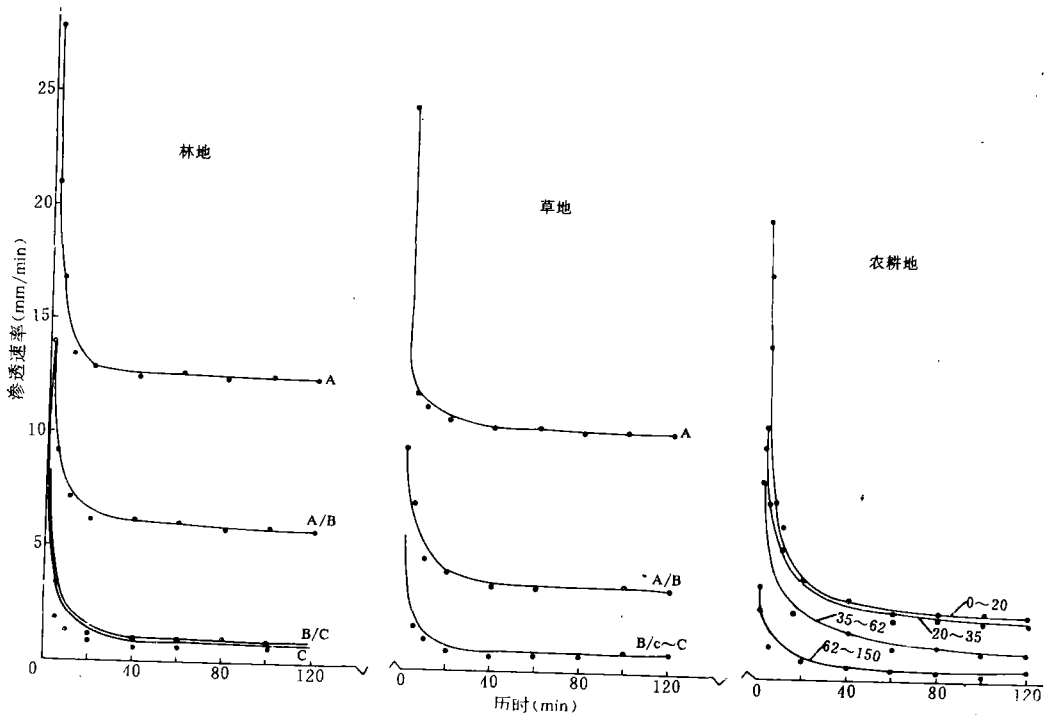


图 4 自然植被及人为耕垦条件下的土壤入渗过程曲线

### 3.1 不同地形部位土壤水分变化

研究表明<sup>[5]</sup>不同地形部位其土壤水分含量不同,特别是沟谷与沟间差异明显,四个剖面中,从沟谷到梁峁顶部土壤水分逐渐减少,以沟谷含量最高,较梁峁部高 8% 左右。图 5 的林草地与开垦地不同部位含水量变化也呈现相同规律。因为坡面径流向沟道内集中,低凹处土壤水分条件相对较好。所以,沟道植被恢复的最好,而且易恢复,并在控制土壤侵蚀中也发挥着重要作用,土壤剖面发育深厚。

### 3.2 植被对土壤水分的调节功能

在黄土地区,土壤水分的补偿能力,主要以靠降雨来供给,因此,如何充分合理的利用现有降水,并且如何进行自身调节,这是提高水分利用率,发挥水分生产潜力的重要因素。由图 7 的不同时期土壤含水量来看,林草地土壤水分含量整个剖面中变化幅度不是十分大,土壤含水量较平缓,并且具有充分接纳降水的能力,从降雨后 9 月 11 日的土壤含水量变化看,林地土壤 0~15cm 内含水量达 31%~26%,而农耕地仅为 22% 左右,而且砍伐不开垦地中接收水分能力也很强,其补偿能力与林地差异不明显,这也说明林地如果正常砍伐,不破坏土壤(耕垦等)其植被很快恢复,土壤入渗与水分状况还是保持原来林草地的特性,因而土壤抗侵蚀内在特性基本没有受到影响,其土壤侵蚀与林草地差异不明显,基本不发生土壤侵蚀。

从图 7 中可以看出,当林草地一旦开垦,其土壤中水分含量发生了明显变化,特别表层 0~30cm 内土壤水分含量一般较低,而且波动也较大,在同等降雨条件下,土壤中水分含量也上升的较少,比林草地低 8%~10%,保持水分的能力也较差。由于无地面覆盖土壤蒸发很严重,表层土壤常常较干燥,如在 8 月份,有 10~20 天没下雨其表层土壤水分降至 5% 左右,与 4~5 月份的干旱时期差不多,而林草地水分含量均在 20% 以上。林草地开垦后 100cm 左右的含水量利用率较低,而林草地水分利用深度较大。林地经开垦后土壤水分的调节能力就变的较差。因此。种植农作物常因

干旱很难获得满意的产量,而且还加速了土壤侵蚀的发生与发展。

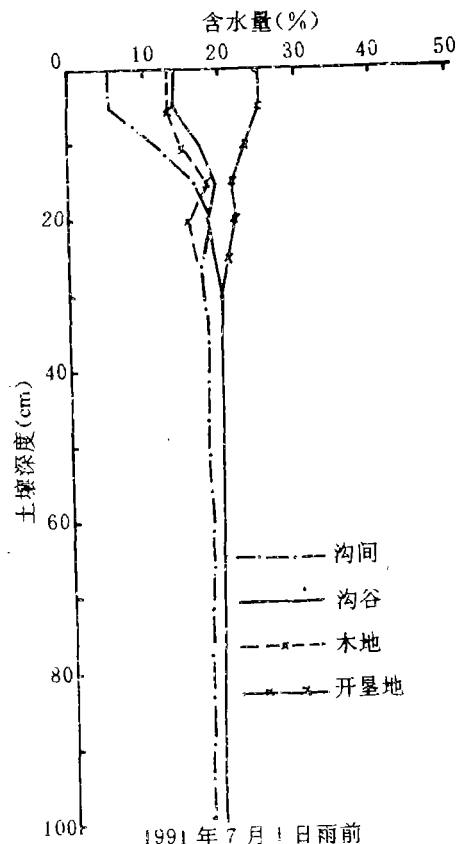


图5 沟间地与沟谷地土壤水分含量分异

#### 4 植被恢复与土壤抗侵蚀能力的提高

由于植被恢复后土壤抗侵蚀内在特性改善,土壤侵蚀特征发生了质的变化,侵蚀由强烈变轻微,表2林草地土壤崩解率与抗冲性结果表明,林草地的崩解率随深度的增加而增大,表层及根系活动层最小,母质层几乎全部崩解,约93.1%,而且时间也很短,只需几分钟。表层由于根系固结,在1h都很难崩解。从抗冲刷特性看,植被恢复后其抗冲刷强度约提高了6~20倍,其地形因素也影响不大。

据西峰水保站的资料分析,植被对每次洪水和年径流量、输沙量的调节能力很大,改变了猛涨落的洪水性质。从含沙量看,堡子沟是林区,最大仅 $2.78\text{kg}/\text{m}^3$ ,而魏家沟无林区含沙量可达 $725.9\text{kg}/\text{m}^3$ ,有林区与无林区相比含沙量相差100多倍。

瓦窑沟流域的有林无林区,小区观测资料表明,无论沟间与沟谷地,一旦开垦,其土壤侵蚀量剧增,而林草地基本无径流泥沙产生。在7、8、9三个月中林地的侵蚀模数仅为 $0.804\sim 6.570\text{t}/\text{km}^2$ ,而无林的开垦地中达 $13800\sim 20100\text{t}/\text{km}^2$ ,农地为林草地的2000~3000倍。另外从此暴雨特征下看,自然植被与人为破坏耕垦条件下,加速侵蚀和土壤退化结果,7月4日一次暴雨仅26.1mm,其开垦地侵蚀模数和径流模数分别达 $108.9\sim 1571.8\text{t}/\text{km}^2$ 和 $204.8\sim 1512.5\text{m}^3/\text{km}^2$ ,而林草地仅为 $0.02\sim 0.1\text{t}/\text{km}^2$ 和 $4.4\sim 105.2\text{m}^3/\text{km}^2$ ,随径流、泥沙流失的土壤有机质和有效磷养分,开垦农地分别达 $2827\sim 33008\text{kg}/\text{km}^2$ 和 $2.21\sim 20.04\text{kg}/\text{km}^2$ ,约为林草地的3000和5000倍。所以植被在黄土高原的作用及地位要引起足够重视。

#### 5 结 语

植被在防止土壤侵蚀作用中,不仅其自身的地被物及根系直接防止和抵御降雨、径流的冲刷,而且促进了土壤发育、改善了土壤结构和理化特性,从而提高了土壤入渗性能,增强了土壤抗侵蚀内在因素,从质上改变了侵蚀的发生发展过程。

植被类型及组合特性是决定土壤抗侵蚀内在特性强弱的重要因素。

在自然植被下土壤水分利用率及其调节功能明显增强,土壤有机质、水稳性团聚体、有效磷、非毛管孔隙度及渗透性等抗侵蚀内在特性分别较开垦地(无林地)提高了6,2.5,6,2及4.5倍,因而土壤抗冲性指标提高了20多倍。降雨侵蚀模数无林地(开垦地)是林地的2000~3000倍,流失的土壤有机质达 $316.3\sim 477.9\text{t}/\text{km}^2$ ,而林草地基本无径流泥沙产生,使生态环境向良性发展,因此黄土高原有计划,按规律重建植被,仍为改善生态环境,控制水土流失的良策。

表 2 有无植被条件下的土壤崩解与抗冲性

项 目	林 草 地				农 耕 地				注
深度 cm	0~15	15~45	45~75	75~150	0~20	20~35	35~62	62~150	①体积为 64cm <sup>3</sup> 土块在静水中 10min 的崩解量(%) ②抗冲采用索波列夫抗冲仪 1min、latin 冲刷量
崩解率(%)	4.5	7.4	8.9	93.1	97.2	94.0	100	100	
冲刷量 g/min	2.8	3.1	4.0	12.4	45.0	5.7	7.5	13.4	

表 3 7 月 4 日一次降雨不同处理小区径流泥沙及土壤养分流失量

小区号	处 理	泥 沙 (kg)	模 数 (t/km <sup>2</sup> )	径 流 (m <sup>3</sup> )	模 数 (m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> )	流 失 有机质 (kg/km <sup>2</sup> )	流 失 有效磷 (kg/km <sup>2</sup> )
1	谷坡林地	0.3	0.1	0.0311	105.2	3.06	1.81×10 <sup>-3</sup>
2	谷坡开垦裸露休闲地	553.9	1517.8	0.533	1512.5	33008	20.04
4	梁坡+谷坡林地	0.1	0.054	0.0565	30.6	1.90	1.94×10 <sup>-3</sup>
3	梁坡+谷坡开垦裸露休闲地	1038.0	623.3	2.197	1319.0	8913	7.95
8	谷坡开垦农地	498.4	1024.9	0.772	1586.7	19985	12.85
9	梁坡+谷坡砍伐地	0.048	0.022	0.096	4.4	1.20	0.39×10 <sup>-3</sup>
5	梁坡林地	0.096	0.091	0.191	18.2	3.40	1.65×10 <sup>-3</sup>
6	梁坡开垦裸露休闲地	418.3	396.0	0.815	771.8	9076	5.45
7	梁坡开垦农地	152.5	108.9	0.287	204.8	2827	2.21

注:雨量 26.1mm,雨强 8.24mm/h

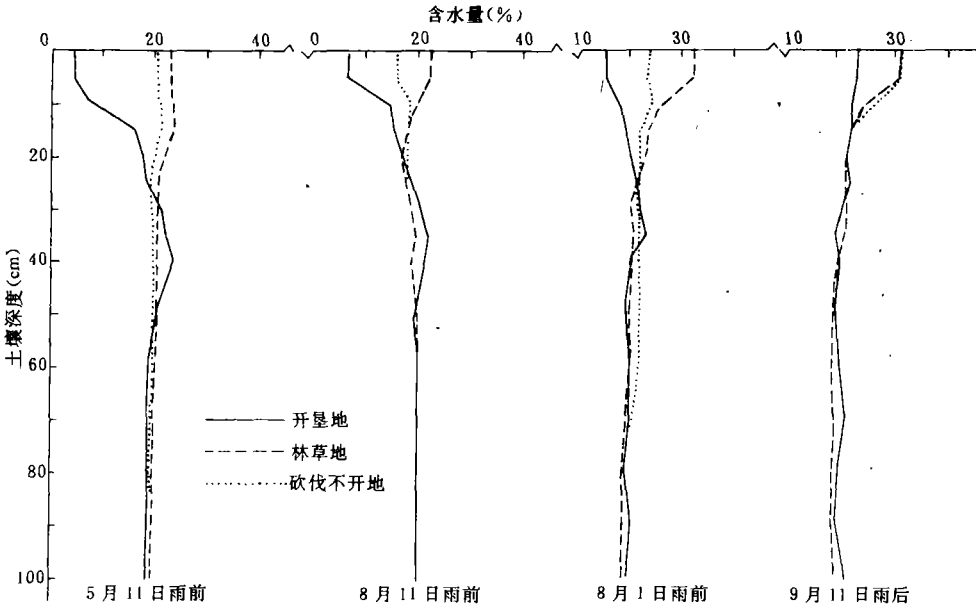


图 6 不同时期不同利用下土壤剖面水分含量

参加野外调查和室内分析的有:张科利、白红英、郑粉莉、史瑞云、蒋集华同志,谨表致谢。

#### 参考文献

- [1]唐克丽等. 黄土高原地区土壤侵蚀区域特征及其治理途径. 中国科学技术出版社, 1990
- [2]史念海. 黄土高原及其农林牧分布地区的变迁. 历史地理, 1981
- [3]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(1)
- [4](美)R·拉尔. 土壤侵蚀方法. 科学出版社, 1991
- [5]查轩等. 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)