

根据植被估算黄土高原的 自然侵蚀和加速侵蚀

——以安塞县为例

贾 绍 凤

(中国科学院·国家计划委员会地理研究所·北京市·100101)

摘 要 植被具有很好的水土保持作用。已有的研究成果证实:当森林郁闭度或植被群落总盖度或森林覆盖度达到 40%左右时,植被的水土保持效益发生质的飞跃,较之裸荒地可减少土壤流失 50%以上,当植被群落总盖度达到 80%时,就能基本控制水土流失。目前黄土高原的植被很差,以安塞县为例,林草总覆盖度只有 45%,而且群落盖度很低,大多在 30%~50%。而若无人类破坏,在同样的气候、地质条件下,安塞县的自然植被类型为森林和疏林灌丛草原,植被群落总盖度在 80%、乃至 90%以上。根据植被的水土保持规律和有无人类破坏情况下的植被对比情况,计算了黄土高原安塞县无人类破坏情况下的自然侵蚀及其占目前的总侵蚀量的比重。结果表明:位于黄土高原丘陵沟壑区的安塞县,自然侵蚀仅占总侵蚀量的 9.55%,按最不利的情况估计也只占 16.76%,而若按较有利的情况估计则只占 2.03%。说明人为加速侵蚀占目前黄土高原总侵蚀量的绝大部分。

关键词 植被 水土保持 自然侵蚀 加速侵蚀

Estimation of Natural Erosion and Accelerated Erosion of Human Action on Loess Plateau

——Taking Ansai County as an Example

Jia Shaofeng

(The Institute of Geography, Chinese Academy of Sciences and State Planning Commission, 100101, Beijing)

Abstract It is showed by many studies that vegetation has very strong effect on water and soil conservation. When the total vegetation coverage density of plant community is great than 40%, vegetation can diminish more than 50% of the total soil erosion with respect to naked land. If the total coverage density of plant community is great than 80%, vegetation will basically control all the soil erosion. Now, under the condition of human disturbing, the real vegetation coverage density on loess plateau is generally lower than 40%. If there were no human action, under the same condition of climate and geology, the total vegetation (whether forest or steppe) coverage density would be great than 80% on loess plateau according to the ecologic theory and the remnant good vegetation in

some rare areas on loess plateau. Through the comparison of the real vegetation and the possible vegetation under the condition of no human action to all kinds of land, we come to the conclusion that the accelerated erosion by human action is about 90% of the total erosion at present on loess plateau.

Key words natural erosion; accelerated erosion of human action; vegetation; water and soil conservation effect

黄土高原是世界上最著名的强烈水土流失区之一。强烈的水土流失,既破坏了当地的生态环境,又是黄河下游河道泛滥、洪水威胁的根源。但至今为止,关于黄土高原的水土流失规律仍有很多不清楚之处。人类活动引起的加速侵蚀的具体数量有多大就是还存在尖锐争论的问题之一。本文尝试根据在有无人人类干扰情况下的植被对比和植被的减沙规律估算黄土高原的自然侵蚀和加速侵蚀。

1 技术路线

无论是森林还是草原,茂盛的自然植被均有很好的水保作用,这已是水土保持界公认的定义。目前以耕地为主的黄土高原的土地利用结构,已把自然植被破坏殆尽。设若无人人类干扰,在与黄土高原现有气候、地质等条件完全相同的情况下,无论是耕地还是林地、草地、荒地,其自然植被肯定比现状要好。相应地无人人类干扰情况下水土流失要轻于现状。水土流失减轻的具体程度则取决于:植被保持水土作用的大小、无人人类干扰下的自然植被状况和现有的土地利用类型和植被状况。因此,为了估算无人人类干扰时的自然植被相对于现状的减沙作用、估算自然侵蚀和加速侵蚀的大小,需完成三个步骤的工作:

(1)弄清植被的水土保持规律:包括林地、草地相对于耕地的水保效应,高覆盖度植被相对于低覆盖度植被的水保效应,本文主要通过已有的研究成果加以总结。

(2)查清黄土高原的土地利用类型和植被现状。通过实地调查访问和利用遥感调查等资料。

(3)弄清无人人类干扰情况下的黄土高原的植被状况。根据类似条件下植被的对比和植物生态学的理论分析。

2 植被水土保持规律

国内外众多的研究成果,均证实植被有明显的水土保持作用。无人否认植被的水保效应,差别只在于植被水保效应的大小和程度。尽管一些人对黄土高原植被建设的水土保持作用表示怀疑,但怀疑的是能否建成良好的植被,而不是植被本身的减沙作用。

植被有涵养水分的功能,可以减少洪水径流,因而可以减少水流冲刷和搬运泥土的能量,减少水土流失。植被的地上部分还可以覆盖保护表土,减少溅蚀和冲刷;植被的地下根茎也有固结土壤、提高抗冲能力的作用。总之,植被从抵消侵蚀动能和增强抗冲能力两个方面取到了保持水土、防止水土流失的作用。

2.1 林地、草地相对于农地的水保效益

据安塞水土保持综合试验站研究^[1]:刺槐、柠条成林比农地减少径流 88%,减少泥沙 99%左右;天然牧荒坡比农地径流量增加 35%,泥沙减少 56%;人工草地介于二者之间。对于 25°~30°的坡地,草粮带状间轮作比平播农地减少冲刷量 50%左右;对于 30°的坡地,无论种草还是种灌,

还是草灌结合,少者可比农地减少冲刷量 50%,多者可减 80%以上。

据李倬的研究^[2]:人工林治理的杨家沟,林地面积只占流域面积的 40%,因主要集中于沟谷,减沙效果达 92.6%,且在特大暴雨中同样有效。

天然林较之人工林水保作用更显著。这是因为天然林有更强的涵养水分的功能。据杨玉盛等^[3]:格式栲天然林比格式栲、楠木人工林持水总量分别增加 225.131 t/hm² 和 295.558 t/hm²,土壤稳渗值提高 3.3 倍和 25.3 倍,高达 8.09 mm/min。

在森林的水保作用中,林下枯枝落叶物的作用很重要。吴钦孝、汪有科等^[4,5]的研究证实了这一点。

即使从较大流域范围来看,植被的水保作用也是十分显著的。据张科利等人的研究^[6]:黄土高原子午岭林区森林植被是曾经开垦后撂荒而自然恢复的,植被恢复前土壤侵蚀量达 8 000~1 000 t/(km²·a);植被恢复后土壤侵蚀微乎其微,只有 0.8~6.5 t/(km²·a)。前后相差数千倍。

总之,黄土高原耕地只要恢复为林地或草地,其水土流失就会大为减少。

2.2 高覆盖度植被与低覆盖度植被水保效益比较

2.2.1 局地小区植被水保规律 Hadley R F (1977)在肯尼亚小块地面上所做的控制放牧试验表明^[7]:放牧比不放牧,径流量大 130%~150%,产沙量大 50%(年平均雨量为 220mm);过度放牧区侵蚀量是全国平均值的 12 倍。

据汪达汉^[8]在长江流域径流的小区试验表明:在坡度、容重、降雨基本相同的情况下,植被覆盖率 95%的小区比 10%的小区,土壤侵蚀量相差 34 倍;60%比 30%的小区,相差 4 倍。对于坡度为 8°,植被覆盖率为 25%的荒草地,割掉地上植被后,侵蚀量增加 2 倍。坡度为 25°,植被覆盖度为 70%的荒坡地,开垦之后,侵蚀量增加 25 倍。

高鹏、王礼先^[9]在北京市密云水库上游得出如下研究结果:荒坡径流深是覆盖度为 83.3%的刺槐林的 337.7%;是覆盖度为 85%的白桦林的 324.5%;是覆盖度为 80%~88%的山杨林的 346.8%;是覆盖度为 80%~85%的落叶松林的 234.4%。

据广东省五华县水保办分析华南的资料^[10](表 1):在其它条件相同情况下,当植被覆盖度达 40%~50%时就有明显的保土效果,达 80%以上时基本无水土流失。

表 1 不同植被覆盖度径流、泥沙流失对比^[10]

植被度	光山	50%	60%	80%
年产流降雨量 (mm)	437.7	437.7	437.7	437.7
年径流量 [m ³ /(km ² ·a)]	179 340	153 290	143 920	126 360
相对于光山减流率 (%)	0.0	14.5	19.8	29.5
泥沙流失量 [t/(km ² ·a)]	6 262.0	1 199.2	1 016.4	268.0
相对于光山减沙率 (%)	0.0	81.4	83.8	95.7
一次最大流失量 (t/km ²)	1 868.0	566.0	312.3	116.5

黄土高原很多地区的小区试验同样证明植被有很强水保作用。据付炜^[11],山西离石王家沟覆盖率为 45%的臭椿林地小区,年侵蚀量为 3 776 t/km²;覆盖率为 55%的白榆林地小区,年侵蚀量为 2 981 t/km²;覆盖率为 93%的刺槐林地小区,年侵蚀量为 1 193 t/km²。而属于同一地貌类型、其它条件相近但植被很差的黄土丘陵沟壑区,年土壤流失量高达数万吨。可见植被水保效益之巨。

2.2.2 流域范围植被
水保规律 蔡庆、唐克丽^[12]
对黄土高原子午岭林区 6 个
植被各异的小流域情况进行了
分析(见表 2)。虽然因为
观测年限不一致等原因,流
域之间的可比性受到一定限
制,但仍可从中看出一定的
规律性。较之基本无植被覆
盖的小流域,植被度为 21%

的小流域侵蚀量减少 56.8%;
植被度为 65%的小流域侵蚀
量减少 79.6%;植被度为 80%
的小流域侵蚀量减少 91.0%;
植被度为 89%的小流域侵蚀
量减少 95.6%;植被度为 93%
的小流域侵蚀量减少 99.0%。

2.3 植被水土保持规律小结

根据安塞水土保持综合试验
站^[1]、李倬^[2]、张科利等^[6]、汪
达汉^[8]、高鹏、王礼先^[9]、广
东省五华县水保办^[10]、付炜^[11]、
蔡庆、唐克丽^[12]、Roseman H J^[13]
等的资料,可将植被的水土保
持规律总结如表 3。概而言
之,当植被总盖度达到 40%以
上时就有明显的减沙效益,减
沙幅度在 50%以上;当植被总
盖度达到 80%以上时就能基
本控制水土流失,减沙幅度在
85%以上。

3 安塞县土地利用及植被现状

3.1 安塞县土地利用现状

据遥感调查^[14](以 1986 年 11 月 8 日
彩红外航空像片为主要信息源),
安塞县土地利用的主要数据如
下:

安塞县总土地面积为 295 127.33
hm²。其中耕地为 119 443.27
hm²,占总面积的 40.47%;林
地为 43 015.04 hm²,占总面积
的 14.57%;牧草地为 90 449.58
hm²,占总面积的 30.65%。另
外,居民点及工矿用地、交通用
地、水面约占 4.5%(参照包括
安塞县在内的陕北黄土高原 11
县的数据^[15]);荒地、裸地等未
利用土地占 9.81%。

耕地中水浇地面积为 896.73
hm²,占耕地面积的 0.75%;菜
地面积为 15.5hm²,占 0.01%;
旱地面积 118 531.1 hm²,占
99.24%。川沟旱地、平缓坡旱
地占耕地面积的 55.46%;坡度
15°~25°的次陡坡地占耕地面
积的 33.15%;坡度>25°的陡
坡地和极陡坡地占耕地面积的
11.38%。

林地中乔木林占 58.33%;灌
木林占 29.83%;疏林占 11.82%;
苗圃占 0.02%。

牧草地中草地点占 52.37%;
疏林草地点占 0.36%;灌丛草
地点占 47.27%。

表 2 不同植被小流域的土壤侵蚀^[12]

流域序号	观测年限 (a)	覆盖度 (%)	产沙模数 (t/km ²)	相对于流域 1 的 减沙率*
1	28	2.6	10 549	0.0
2	18	21	4 558.3	56.79
3	26	65	2 151.8	79.6
4	28	80	952.7	90.97
5	26	89	465.9	95.58
6	28	93	105.8	99.00

* 本栏数字为笔者根据文献^[12]中的数据推算得出。

表 3 植被相对于裸荒坡的减水减沙率

植被覆盖度(%)	径流减少率(%)	侵蚀减少率(%)
20	15	55~30~20
40	30	80~50~40
60	60~50~30	95~85~70
80	75~60~50	98~90~80
>90	70	100~95~90

注:1. 荒坡植被覆盖度小于 10%;2. 减水减沙率的 3 个数值分别为高
值、平均值、低值;3. 减水减沙率主要为小区、小流域数据。

3.2 安塞县植被现状

大范围的植被覆盖度和局地的植被群落总盖度两者都直接影响植被的水土保持效益。

从上节土地利用数据可知,安塞县林草植被总覆盖度为 45.22%。其中森林覆盖度为 14.57%,草地覆盖度为 30.65%。

从局地群落总盖度来说,乔木林的树木郁闭度大于 0.3,其群落总盖度也应超过 30%;疏林地的树木郁闭度为 0.1~0.3;灌木林的灌木覆盖度大于 40%。据遥感调查^[16],尽管受人为破坏较重,安塞县现存常绿针叶林(侧柏林)的群落总盖度仍达 60%~90%;森林破坏后的沙棘等旱生灌丛的群落总盖度为 60~90%;北部人工栽种的柠条灌丛群落总盖度为 30%~70%。

表4 安塞县林草植被覆盖状况(1986年)

群落总盖度(%)	占林草总面积(%)	占土地总面积(%)
>90	5	2.26
70~90	10	4.52
50~70	10	4.52
30~50	45	20.35
10~30	30	13.57

草地的群落总盖度多在 30%~50%;。据调查^[17-18],陕北黄土高原沙地草场的草群总盖度为 15%~50%;丘陵干草原类草场的草群总盖度为 35%~55%;丘陵草甸类草场的草群总盖度为 40%~70%;山地、丘陵灌丛草场的草群总盖度为 60%~90%;

低湿地草甸草场的草群总盖度为 90%以上。

初步估计,安塞县林草的覆盖度分布如表 4。

4 无人干扰情况下安塞县的植被状况

在此,我们不涉及黄土高原历史上是否广被森林的争论,主要关心的是:不论是高大的森林还是低矮的灌丛草原,其群落盖度有多大?因为对水土保持而言,起关键作用的是群落盖度。事实证明,不论是高大的森林还是低矮的灌丛草原,只要群落盖度大,都能基本控制水土流失。

安塞县属暖温带半干旱气候区。年平均降水量由南部的 600 mm 左右往北逐渐减少到 400 mm 左右。植被也由南向北由森林类型向草原类型过渡。但不论是森林还是草原,还是其过渡类型疏林灌丛草原,若无人干扰破坏,植被群落总盖度都应能达到 80%、乃至 90%以上。

安塞县南部的植被顶极群落为侧柏林和辽东栎林。如果不遭人类破坏,必是森林密布。可以肯定,发展到顶极的侧柏林或辽东栎林植被群落,几乎不存在土壤侵蚀。事实上在植物演替顺序中比辽东栎林还低一级的天然次生杨树林,土壤侵蚀已微乎其微^[6]。

中北部的疏林灌丛草原也应非常茂盛。从上述安塞县的植被现状可知,即使有人类破坏,仍有一些相似条件下的林草地的群落盖度达到 80%~90%以上。因此,有理由认为,若无人类的严重破坏,黄土高原的自然植被是良好的。

据植物学家分析(王维中等^[19]),黄土高原人工林植物群落中太阳辐射的衰减率和相对湿度均大于天然草坡灌丛,土壤养分在各地类中也无显著差异,且较丰富,既说明黄土高原历史上植被较好,又说明恢复和重建植被是可能的。另据罗修岳等^[20],沙丘上的植物若只靠湿沙层提供水分,也能满足植物盖度 50%~70%的供水量。黄土高原所有水土流失严重的地方降水条件都要比沙丘好得多,因而其植被盖度在无人类破坏时比沙丘也要高一些,达到 80%以上是可以的。

黄土高原无人干扰时的植被很好,可以从很多事实得以说明。凡是隔离而不允许人畜随意进入、植被得到保护的地方,植被均长势良好。在试验站是如此,在为数众多的重点治理小流域同样如此,在某些因其它原因隔离起来的地方也是如此。在黄土高原很多地方都可以看到这样的现

象:紧挨着的被铁丝网或栅栏隔开的两块地,植被状况却有天壤之别——围栏之外几乎是光光的裸地,而围栏里面却覆盖着厚厚地植被。很多专家认为,黄土高原的植被不需人建、只要封育即可自然恢复,尽管有些地方长的不是树木而是草。

总之,目前各种利用类型的土地,不论是覆盖度较低的林草地,还是耕地、荒地,除了一些水面、裸岩、陡坎之外,在无人类干扰破坏时,都将覆盖着茂密的植被——或是森林,或是草原。

5 安塞县自然侵蚀和人为加速侵蚀估算

5.1 根据植被减沙作用计算自然侵蚀的公式

首先根据土地利用类型、地貌、植被等,按侵蚀环境及侵蚀等级相近的原则,把计算范围划分为各种侵蚀类型(表 5)。对每一种侵蚀类型 i ,设其目前的侵蚀模数为 W_n ,植被覆盖度为 β ,相对于农地或裸荒地的减沙率为 γ_i ;在无人类干扰情况下的植被覆盖度为 β' ,相对于农地或裸荒地的减沙率为 γ'_i ,则自然侵蚀 W_n 的计算公式为:

$$W_n = W_n(100 - \gamma'_i)/(100 - \gamma_i)$$

对侵蚀类型 i ,自然侵蚀占总侵蚀量的百分率为:

$$\delta_i = (W'_n/W_n) \cdot 100\%$$

对全部计算范围,自然侵蚀占总侵蚀量的加权百分率为:

$$\delta = (\sum \alpha_i \cdot W_n \cdot \delta_i) / (\sum \alpha_i \cdot W_n)$$

式中 α_i 表示侵蚀类型 i 的面积占总面积的比例。

表 5 安塞县土地侵蚀类型结构

类型号	类型特征	侵蚀模数 $t/(km^2 \cdot a)$	面积比例 (%)
1	耕地,水浇地、平旱地和缓坡旱地	1 000	22.45
2	耕地,坡度 $15^\circ \sim 25^\circ$	15 000	13.42
3	耕地,坡度 $>25^\circ$	18 000	4.6
4	荒草地,植被覆盖度 $<10\%$	18 000	9.81
5	林草地,植被覆盖度 $10\% \sim 30\%$	12 000	13.57
6	林草地,植被覆盖度 $30\% \sim 50\%$	8 000	20.35
7	林草地,植被覆盖度 $50\% \sim 70\%$	4 000	4.52
8	林草地,植被覆盖度 $70\% \sim 90\%$	2 000	4.52
9	林草地,植被覆盖度 $>90\%$	900	2.25
10	水面、道路、建筑用地等	0	4.5

注:表中侵蚀模数值系根据安塞县及纸坊沟侵蚀强度分级数据确定,并用全县平均侵蚀模数作为控制^[1,21]。安塞县平均输沙模数为 $8\ 373 t/(km^2 \cdot a)$ 。

5.2 计算结果

计算结果及有关计算数据如表 6~8 所示。表 6~8 中的计算值分别按表 3 中植被减沙率的高值、中值、低值计算;无人破坏情况下的林草植被度取较保守的值:目前的陡坡和荒地取 80%,目前的次陡坡地和植被较差的林草地取 85%,目前的缓平坡地和植被较好的林草地才按 90%以上计算。

表 6 安塞县自然侵蚀计算表(植被减沙率取高值)

类型号	现 状			无人干扰情况下			自然侵蚀比重 δ (%)
	侵蚀模数 W , t/(km ² ·a)	植被覆盖度 β (%)	减沙比例 γ (%)	植被覆盖度 β' (%)	减沙比例 γ' (%)	自然侵蚀 W_n , t/(km ² ·a)	
1	1 000	(耕地)	0.0	>90	99.9	1	0.1
2	15 000	(耕地)	0.0	85	98	300	2
3	18 000	(耕地)	0.0	80	98	360	2
4	18 000	<10	0.0	80	98	360	2
5	12 000	10~30	55	85	98	533.3	4.44
6	8 000	30~50	80	>90	99.9	4	0.5
7	4 000	50~70	95	95	99.9	80	2
8	2 000	70~90	98	99	99.99	10	0.5
9	900	>90	99.9	99.9	99.999	9	1
10	0	(水面等)				0	
平均	8359.0					169.8	2.03

表 7 安塞县自然侵蚀计算表(植被减沙率取平均值)

类型号	现 状			无人干扰情况下			自然侵蚀比重 δ (%)
	侵蚀模数 W , t/(km ² ·a)	植被覆盖度 β (%)	减沙比例 γ (%)	植被覆盖度 β' (%)	减沙比例 γ' (%)	自然侵蚀 W_n , t/(km ² ·a)	
1	1 000	(耕地)	0.0	>90	95	50	5
2	15 000	(耕地)	0.0	85	92.5	1 125	7.5
3	18 000	(耕地)	0.0	80	90	1 800	10
4	18 000	<10	0.0	80	90	1 800	10
5	12 000	10~30	30	85	92.5	1 285.7	10.7
6	8 000	30~50	50	>90	95	800	10
7	4 000	50~70	85	95	97.5	666.7	16.7
8	2 000	70~90	90	99	99	200	10
9	900	>90	95	99.9	99.9	18	2
10	0	(水面等)				0	
平均	8359.0					798.4	9.55

表 8 安塞县自然侵蚀计算表(植被减沙率取低值)

类型号	现 状			无人干扰情况下			自然侵蚀比重 δ (%)
	侵蚀模数 W , t/(km ² ·a)	植被覆盖度 β (%)	减沙比例 γ (%)	植被覆盖度 β' (%)	减沙比例 γ' (%)	自然侵蚀 W_n , t/(km ² ·a)	
1	1 000	(耕地)	0.0	>90	90	100	10
2	15 000	(耕地)	0.0	85	85	2 250	15
3	18 000	(耕地)	0.0	80	80	3 600	20
4	18 000	<10	0.0	80	80	3 600	20
5	12 000	10~30	20	85	85	2 250	18.75
6	8 000	30~50	40	>90	90	1 066.7	13.3
7	4 000	50~70	70	>95	95	533.3	13.3
8	2 000	70~90	80	>99	98	200	10
9	900	>90	90	99.9	99	90	10
10	0	(水面等)				0	
平均	8359.0					1400.7	16.76

结果表明:根据植被减沙规律计算出的黄土高原安塞县的自然侵蚀占目前总侵蚀量的 2.03%~16.76%,平均值为 9.55%。

安塞县位于典型的黄土高原丘陵沟壑区,对黄土高原丘陵沟壑区具有一定代表性。以上计算结果说明:黄土高原丘陵沟壑区的自然侵蚀所占比重很小,人为加速侵蚀占绝对优势。人为加速侵蚀少则占总侵蚀量的 83.24%,多则占 97.97%,平均占 90.45%。这些数据,既使人震惊于人类活动对生态环境破坏的严重性,又使我们增强了恢复植被、控制黄土高原水土流失、从而根治黄河的信心。

参 考 文 献

- 1 中国科学院、水利部西北水土保持研究所. 黄土丘陵沟壑区水土保持型生态农业研究. 西安:天则出版社,陕西杨陵,1990.
- 2 李倬. 论林木的固土减蚀作用. 泥沙研究,1993(1):
- 3 杨玉盛等. 格式栲天然林水源涵养功能的研究. 自然资源学报,1992,7(3):
- 4 吴钦孝等. 山杨次生林枯枝落叶蓄积量及其水文作用. 水土保持学报,1992,6(1):
- 5 汪有科,吴钦孝等. 林地枯落物抗冲机理研究. 水土保持学报,1993,7(1):
- 6 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. 见左大康主编:黄河流域环境演变与水沙运行规律研究文集,第 3 集,北京:地质出版社,1992 年
- 7 Hadley R F. Evaluation of land-use and land-treatment practice in semi-arid Western United States. Phil Trans Roy Soc Land Bu,1977,278:
- 8 汪达汉. 论长江流域生态危机与生态建设的对策. 长江流域资源与环境,1993,2(1):
- 9 高鹏,王礼先. 密云水库上游水源涵养林效益的研究. 水土保持通报,1993,13(1):
- 10 广东省五华县水保办. 乌陂河小流域水土保持效益分析. 水土保持通报,1993,13(2):
- 11 付伟. 黄土丘陵沟壑区土壤侵蚀模型的建立方法及土壤侵蚀因子计算机自动提取的试验研究. 见陈洪经主编:黄土高原小流域动态监测信息系统研究,北京:测绘出版社,1992.
- 12 蔡庆,唐克丽. 植被对土壤侵蚀影响的动态分析. 水土保持学报,1992,6(2):
- 13 Roseman H J. 森林衰退对洪水径流的影响. 水土保持科技情报,1992(1):
- 14 陈德华,叶树华,任志远. 安塞县土地利用现状遥感调查与制图. 见:中国科学院国家计划委员会自然资源综合考察委员会等编,黄土高原遥感调查试验研究,北京:科学出版社,1988.
- 15 魏成阶,张宗科,张浩信. 陕北黄土高原地区土地利用遥感调查与合理开发. 见:陈正宜主编. 陕北黄土高原地区遥感应用研究,北京:科学出版社,1991.
- 16 池洪康. 安塞县植被遥感调查与制图,同[14]
- 17 任志弼,色音巴图,石永怀. 遥感图像在陕北黄土高原草场资源调查中的应用,同[15]
- 18 孙力安,刘国彬. 陕北东南部四县(市)草场资源遥感调查,同[15]
- 19 王维中,张立新,高兆杉. 王家沟植被现状及其对环境的影响,同[11]
- 20 罗修岳等. “三北”防护林体系黄土高原水土保持林区森林类型的遥感调查. 见:王长耀,刘树人,罗修岳编. 黄土高原水土保持林区遥感综合研究,北京:中国科学技术出版社,1990.
- 21 姜永清等. 安塞县土壤侵蚀类型遥感调查制图,同[14]