

# 黄土高原水土保持措施对下垫面抗蚀力影响分析

张 军, 秦 奋, 邢 昱

(河南大学 环境与规划学院, 河南 开封 475004)

**摘 要:**深入研究水土保持措施对下垫面抗蚀力的影响能够丰富水土保持措施对水土流失治理影响的理论、方法, 也能对小流域治理和利用提供科学的依据。在 GIS、遥感技术支持下, 采用层次分析法和 Delphi 咨询的方法, 建立了水土保持措施对下垫面抗蚀力影响的定量评价指标体系。并以岔巴沟流域为例, 定量分析了该流域 1990 年和 2004 年的水土保持措施对抗蚀力影响程度, 得出各项措施对下垫面抗蚀能力的增强程度分值, 由强到弱依次是: 造林种草 55、淤地坝 45、梯田 29。

**关键词:**黄土高原; 水土保持; 抗蚀力; 水土流失

**中图分类号:** S157.1

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1005-3409(2010)01-0050-06

## Influences of Soil and Water Conservation Measures on Anti-erodibility of Underlying Surface in Loess Plateau

ZHANG Jun, QIN Fen, XING Yu

(College of Environment and Planning, He 'nan University, Kaifeng, He 'nan 475004, China)

**Abstract:** The thorough study of the effect of soil and water conservation measures on the underlying surface's anti-erodibility can enrich the theory and method of rehabilitating soil and water loss, and also provide scientific basis for the rehabilitation and exploitation of small watershed. The text supported by GIS and RS technique, and adopting analytic hierarchic process and Delphi consultative method builds quantitative evaluation index system of the effect on the anti-erodibility of underlying surface under the protection of soil and water conservation measures. The text takes the Chabagou basin for example, analyzes quantitatively the effect of soil and water conservation measures on the anti-erodibility in 1990 and in 2004, and obtains the score of each measure. The score from the high to low is: forestation and grass planting (55), check dam (45), terrace (29).

**Key words:** Loess Plateau; soil and water conservation; anti-erodibility; soil and water loss

水土流失是一个全球性的生态环境问题。我国是水土流失最为严重的国家之一, 特别是黄土高原地区, 侵蚀十分严重, 多年平均输沙量达 16 亿 t。面临这样的一个问题, 国内有许多学者在黄河流域治理方面做了大量的研究。冉大川等提出了流域坡面措施减水指标体系, 研究了黄河中游水土保持措施的减水减沙作用<sup>[1]</sup>。朱金兆等将水土保持措施逐级细分成若干小措施<sup>[2]</sup>。赵东波定量分析了各种水土保持措施对于减少径流和土壤侵蚀产沙的效果, 为

小流域土壤侵蚀预报、水土保持措施的优化及合理配置、优化土地利用结构等提供了参考依据<sup>[3]</sup>。李发斌等利用生态经济评价对王家沟流域的坡改梯和筑坝淤地等工程治理措施的经济效益进行了定量分析<sup>[4]</sup>。康玲玲等结合黄土高原沟壑区的自然特征, 建立了水土保持措施的蓄水拦沙指标体系, 并得出黄土高原沟壑区梯田、造林、种草的拦沙指标都小于黄土丘陵沟壑区相应措施的指标值<sup>[5]</sup>。熊运阜等研究得出了不同质量的梯田、林地、草地在不同的径

\* 收稿日期: 2009-07-26

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划项目 (2006BAB06B01 - 07)

作者简介: 张军 (1983 - ), 男, 江苏盐城人, 硕士研究生, 研究方向: 地理信息系统软件研制与应用。E-mail: zhangji010@163.com

流、泥沙水平年份的减水减沙效益指标,并建立了梯田、林地、草地减水减沙效益指标体系<sup>[6]</sup>。黎锁平提出了水土保持综合治理效益的灰色系统评价方法,为水保效益分析评价探索了一条新的途径<sup>[7]</sup>。胡良军初步确定了区域水土流失定量评价指标体系,用以建立区域水土流失定量评价数学模型<sup>[8]</sup>。

以往的学者大多是从水土保持措施在黄土高原小流域治理中的减水减沙效益方面进行研究的,而且没有将建立的水土保持措施指标体系中的各因子层量化。虽然一部分学者也进行了定量研究,但仍没有建立起一个比较完整科学的指标体系。另外,很少有人从水土保持措施对下垫面抗蚀力的影响这个方面进行研究。因此,综合分析前人的研究成果,建立一个完整、科学的水土保持措施对下垫面抗蚀力影响的指标体系,为黄土高原小流域的治理提供科学的依据,是目前亟待解决的问题。本文选取岔巴沟流域为研究区域,在野外调查、采样和室内分析的基础上,深入水土保持措施对下垫面抗蚀力的影响进行分析。旨在丰富水土保持措施对水土流失治理影响的理论,为小流域利用和治理提供科学的依据。

## 1 研究区概况

岔巴沟流域位于东经 109°47′、北纬 37°21′,自然地理区划属于黄土丘陵沟壑区第一副区,在无定河流域的西南部与无定河的一级支流大理河相汇,流域面积为 203 km<sup>2</sup>,沟道长 24.1 km,流域形状基本对称,干沟与支沟相汇夹角约为 60°。岔巴沟流域的地貌形态可划分两大类:一是河谷阶地;二是黄土丘陵沟壑区,其中黄土丘陵沟壑区又分两个亚区,即梁地沟谷亚区及峁谷亚区,除此以外,尚有崩塌、滑坡、假喀斯特、黄土柱等特殊的地貌景观。流域上游以梁地沟谷为主,下游以峁地沟谷为主,中游二者皆有。土沟两岸及一级支沟的沟头一般都有较开阔的平地,而二级支沟的沟头切割很深,沿沟两岸近似垂直,其节理发育,崩塌严重。该流域地貌的基本特征是土壤侵蚀严重,沟谷发育剧烈,全流域被大小沟道切割成支离破碎、沟壑纵横的典型黄土地貌景观。

岔巴沟处于黄河中游多沙粗沙区,流域水土保持综合治理力度大,主要体现在水土保持工程措施的影响上。流域治理工作始于 1959 年,治理措施以治沟为主,治坡为辅;工程设施为主,林草生物措施为辅。

治沟措施以修建小型淤地坝为主。1970 年前建有库坝 139 座。1970 年西北农业会议之后,一场大规模的农田基本建设蓬勃兴起,截至 1978 年的岔巴沟流域坝库普查测量后,全流域共建坝库 448 座,总库容达 2 548 万 m<sup>3</sup>。在全流域范围内,骨干坝与一般坝结合,大坝和小坝结合,基本是小沟有小坝,大沟有大坝,实现沟沟都有坝。在当时为黄河中游区以库坝体系治理流域的典型之一。1978 年后,库坝建设工作渐趋低潮<sup>[9]</sup>。到 1993 年汛前对该流域坝库进行了普查,共建库 474 座,其中 217 座坝库已淤满,227 座被冲毁,仅剩 30 座。之后又进行了修复冲毁的淤地坝,到目前为止除去已经淤满和冲毁的大约有 60 座。流域坡面治理以种草、植树、修筑水平梯田的形式进行。据陕西省子洲县水利水保局提供的数据,岔巴沟流域治理程度达 70% 以上,水土流失基本得到控制。

## 2 评价指标体系的建立

### 2.1 评价指标确定的原则

(1) 科学性。指标应该建立在一定的科学理论基础之上,并且是客观存在的,概念内涵和外延应明确,能反映水土保持措施对流域下垫面抗蚀力直接和间接的影响。

(2) 系统性。各评价指标及其各指标的因子层在水土保持措施对下垫面影响中,它们之间应有内在的联系,只考虑单个指标或单个因子仅仅只能反映水土保持措施的某一方面对下垫面抗蚀力影响,只有相互联系的指标体系才能全面地反映流域水土保持措施对下垫面抗蚀力的影响。

(3) 主导性。黄土高原水土保持措施对下垫面抗蚀力影响在众多因子中,各种因子的作用过程及作用方式不同。因此,应选择具有代表性的,能直接反映黄土高原水土保持措施对下垫面抗蚀力影响的主导性指标。

(4) 层次性。水土保持措施对下垫面抗蚀力影响的指标体系包括农业耕作、林草措施、工程措施,每种措施可用众多的指标进行标度,综合成一个水土保持措施的指标体系。因此,指标体系的建立应该具有层次性。

(5) 可操作性。指标体系的建立,应尽可能考虑到数据的易获性、可采集性和易于量化,遵循简洁、方便、有效、适用的原则。

### 2.2 评价指标的选取

水土保持措施是指在水土流失区,为防治水土

流失,保护、改良及合理利用水土资源而采用的一切措施的总称。根据相关研究<sup>[10]</sup>,黄土丘陵沟壑区水土保持综合治理中所采取的主要措施分为农业耕作措施、生物林草措施、工程措施三大类。

(1) 农业耕作措施:是以保水保土保肥为主要目的,以提高农业生产为宗旨,以犁、锄、耙等为耕(整)地农具所采取的改变局部微地形或地表结构的措施,主要包括等高耕作、带状耕作和沟垄耕作。农业耕作措施在黄土高原地区范围比较小,分布零碎而且年度变化比较大。当地居民一般根据种植的情况采用不同的农业耕作措施。该措施有着随时间、空间和种植情况的变化不断变化的特点,不适合作为定量分析的指标。

(2) 生物林草措施:是指在水土流失区植树造林种草,增加地表植被覆盖,保护地表土壤免遭雨滴直接打击;拦蓄径流,涵养水源,调节河川、湖泊和水库的水文状况;增加土壤抵抗水流冲刷的能力,防止土壤侵蚀,改良土壤,改善生态环境等为目的而采取的措施。

(3) 工程措施:是水土保持综合治理措施的重要组成部分,指通过改变一定范围内小地形,拦蓄地表径流,增加土壤降雨入渗,改善农业生产条件,充分利用光、温、水土资源,建立良性生态环境,减少或防止土壤侵蚀,合理开发、利用水土资源而采取的措施。

水土保持措施的综合评价不可能将影响下垫面抗蚀力的所有因子都加以综合分析,而是找出或筛选出影响的主要或主导因子,在其中又筛选出主要指标的方法。在正确认识和分析水土保持措施,分解水土保持措施构成因子的基础上选择正确的评价指标,才有可能制定准确的指标体系,才能保证评价工作的正确进行。建立的水土保持措施对下垫面抗蚀力影响的指标体系分为目标层和指标层,目标层下的水土保持措施分为:淤地坝、梯田、造林种草、封山育林育草 4 个指标。

### 3 水土保持措施的抗蚀力计算

#### 3.1 计算评价方法

(1) 层次分析法(AHP)。该方法较完整地体现了系统分析和系统综合的思想。应用这种方法有利于对各个因素因子进行解剖分析并给因素因子的定量研究提供了一个很好的方法。

(2) 灰色系统评价法<sup>[7]</sup>。水土保持措施的各因素因子之间在对下垫面抗蚀力的影响中是错综复杂

的,各因子之间有一定的关联,共同影响下垫面的抗蚀力。这就需要运用灰色系统评价的方法对水土保持措施体系中的因素因子之间进行关联度分析以便于量化。

(3) Delphi 咨询方法<sup>[11]</sup>。在黄土高原水土保持措施对下垫面抗蚀力的影响研究中,各因素因子之间存在一定的关联,而且各个因子对下垫面抗蚀力的影响程度也有很大的区别。在定量确定这种影响程度时,根据个人主观意见来确定是没有说服力的。但是,运用 Delphi 咨询的方法咨询一定数量专家的意见,根据专家多年的研究经验给各个因子一定的评分。再综合各个专家的评分结果去进行定量,这样就可以得出一个相对准确的结果。

#### 3.2 建立层次模型

根据前面对岔巴沟小流域水土保持指标选取的研究,将岔巴沟小流域水土流失措施抗蚀力评价指标体系分为目标层 A、指标层 B 两个层次。具体层次模型图见图 1。

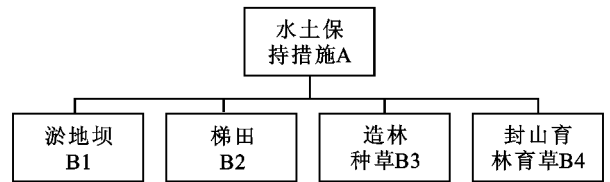


图 1 水土保持措施对下垫面抗蚀力影响指标的层次结构

#### 3.3 构造判断矩阵

层次分析法要求逐层计算有关相互联系的元素间影响的相对重要性,并予以量化,组成判断矩阵,作为分析的基础。构造判断矩阵是层次分析法最关键的步骤。在构造判断矩阵过程中,对于两个元素之间重要性程度的标度也将对评价结果的好坏产生直接影响。常用的是 Satty 提出的标度方法<sup>[12]</sup>,即分别以 1,3,5,7,9 来标度两个元素之间的重要性程度(如表 1 所示),最后建立相应的判断矩阵。

表 1 因子间相对重要性标度参照表

标度内容	定义
1	$A_i$ 和 $A_j$ 具有同样的影响程度
3	$A_i$ 比 $A_j$ 影响程度稍大一些
5	$A_i$ 比 $A_j$ 影响程度明显大一些
7	$A_i$ 比 $A_j$ 影响程度大得多
9	$A_i$ 比 $A_j$ 影响程度大很多
2,4,6,8	$A_i$ 比 $A_j$ 影响程度介于相应两相邻奇数之间
上述数值倒数 $A_i$ 在相应意义上比 $A_j$ 影响程度小一些	

#### 3.4 确定权重系数并一致性检验

(1) 计算判断矩阵每一行乘积  $M_i$ , 则  $W_i = \sqrt[n]{M_i}$

$= \sqrt[n]{a_{ij}}$ , 求得  $W_1, W_2, \dots, W_n$ ;  $a_{ij}$  为专家咨询表中的专家打分。

(2) 对向量  $W = (W_1, W_2, \dots, W_n)$  正规化, 即  $\tilde{W}_i = W_i / \sum_{i=1}^n W_i$ , 即为所计算的权重数;

(3) 一致性检验, 其公式为  $CR = \frac{CI}{RI}$ 。其中  $CI = \frac{\max - n}{n - 1}$ ,  $\max = \frac{(\sum W_i)}{n W_i}$ ;  $RI$  是平均随机一致性指标, 其具体取值如表 2:

表 2 RI 平均随机一致性指标值									
矩阵的阶 $n$	1	2	3	4	5	6	7	8	9
平均随机一致性指标 $RI$	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

注:此表出自常建娥的《层次分析法确定权重的研究》

如  $CR < 0.1$ , 则认为判断矩阵有满意的一致性; 当  $CR > 0.1$ , 则必须对判断矩阵进行自修正, 修正公式为

$$B = a_{ij}^{(1)} = \frac{\sqrt[n]{\prod_{k=1}^n a_{ik} / \prod_{k=1}^n a_{jk}}}{\sqrt[n]{\prod_{k=1}^n a_{ik} / \prod_{k=1}^n a_{jk}}}$$

后得完全一致化矩阵  $B$ , 再对  $B$  求权重即得原矩阵各指标所对应的权重数。通过以上方法, 可计算准则层、指标层中各指标所对应的权重数, 进而确定各指标的组合权重。设准则层中各指标权重为  $\overline{W_i}$ , 指标层中各指标权重为  $\overline{W_{ij}}$ , 则各指标的组合同权重为  $\overline{W_i} \times \overline{W_{ij}}$  (其中  $i = 1, 2, 3$ , 为准则数; 而  $j = 1, 2, 3, \dots, k$ , 为指标数)。通过对指标体系的分析, 得出指标体系中因子的权重。各指标层因子的权重为: 淤地坝 0.262 9, 梯田 0.170 3, 造林种草 0.315 7, 封山育林育草 0.251 1。

3.5 水土保持信息提取

研究所用的数据包括岔巴沟流域 2004 年的 2.5 m 分辨率的 SPOT5 遥感影像和 1990 年 TM 影像以及 1:1 万地形图。SPOT5 数据的精度比较高, 通过人机交互进行目视解译可以将淤地坝和梯田信息提取出来。淤地坝信息的提取是根据淤地坝控制范围的分水岭进行提取(附图 3)。梯田的信息在影像上也能明显反映出来, 直接进行提取(附图 4)。林草措施用监督分类的方法结合土地利用图进行提取。

1990 年的 TM 数据分辨率较 SPOT5 要低, 因此, 通过非监督分类的方法提取梯田和林草措施。提取出的水土保持信息(如图 2)。淤地坝信息提取的方法仍是用人机交互目视解译。在查询该地区两个年份的规划报告发现, 岔巴沟流域并未采用过封禁措施。所以在该研究区域不用考虑封禁措施的影响。

通过对提取的水土保持信息进行分析和实际调查, 发现淤地坝控制的区域内也有部分梯田和林草措施。这就需要对这些组合区域重新考虑抗蚀力的权重。实地调查时发现这些组合区域的侵蚀比单措

施区域要小, 因此, 将组合区域里的各措施的权重进行相加便可得到组合区域抗蚀力的权重。组合后的各个区域抗蚀力的权重(如表 3)。

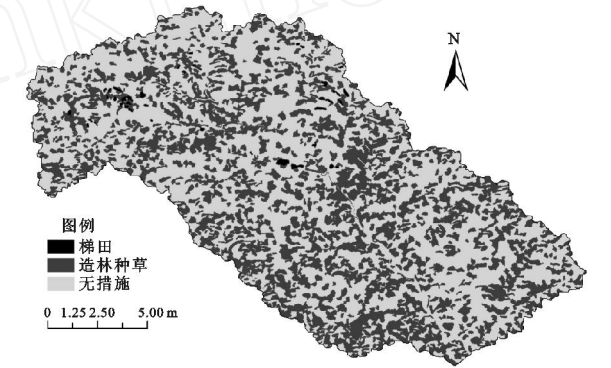


图 2 1990 年 TM 影像提取的水土保持信息

表 3 各区域类型权重表	
区域类型	权重
无措施区域	0
淤地坝	0.2629
梯田	0.1703
造林种草	0.3157
淤地坝 - 梯田	0.4332
淤地坝 - 造林种草	0.5786

3.6 各种措施分值的无量纲化

评价指标的种类不同, 指标间的性质差异比较大, 如果直接进行综合评价是不科学的, 也缺乏可比性。所以, 在对小流域下垫面抗蚀力进行综合评价之前需要对各个指标进行无量纲化处理。

由表 4 可以看出, 水土保持措施这个图层包含了 6 种不同类型的分区, 每个类型分区的抗侵蚀能力是不相同的。这就需要给每种类型区的抗侵蚀能力给予定量计算。通过加权极差标准化的方法将各个类型区的相对抗侵蚀能力归一化为 0~100, 将抗侵蚀能力最好的区域给分值 100, 最差的为 0。具体计算方法运用如下公式:

$$S = \frac{X - W_{min}}{W_{max} - W_{min}} \times 100$$

式中:  $S$ ——相对抗侵蚀能力;  $X$ ——区域的权重;  
 $W_{max}$  和  $W_{min}$ ——区域权重的最大值和最小值。例  
如淤地坝的分值为

$$S = \frac{0.2629 - 0}{0.5786 - 0} \times 100 = 45$$

根据以上计算得出淤地坝的相对抗侵蚀能力为  
45。将 6 种类型区的相对侵蚀能力计算出来(表 4):

3.7 结果分析

通过以上的分析,得出岔巴沟流域抗蚀力等级  
图(如图 3,4)。

表 4 各个类型区的相对抗侵蚀能力分值

区域类型	权重	分值
无措施区域	0	0
淤地坝	0.2629	45
梯田	0.1703	29
造林种草	0.3157	55
淤地坝 - 梯田	0.4332	74
淤地坝 - 造林种草	0.5786	100

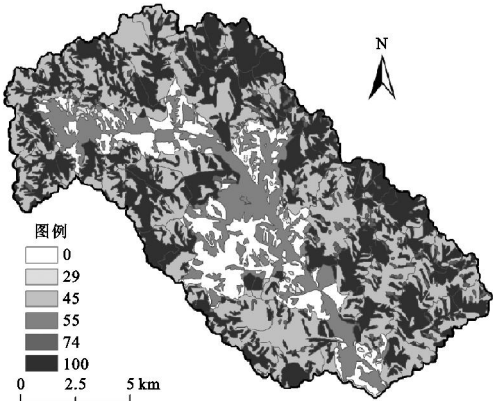


图 3 2004 年水土保持措施相对抗侵蚀能力分类图

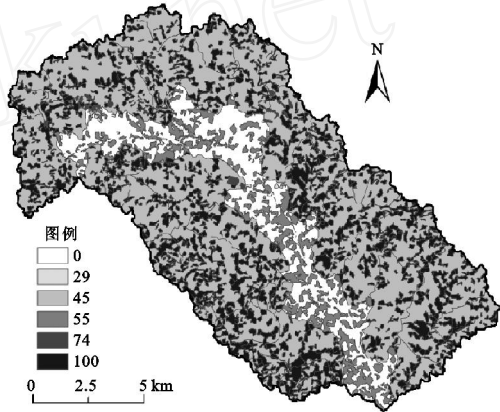


图 4 1990 年水土保持措施相对抗侵蚀能力分类图

表 5 2004 年与 1990 年水土保持措施影响面积统计

区域类型	分值	2004 年		1990 年	
		影响面积/ km <sup>2</sup>	百分比/ %	影响面积/ km <sup>2</sup>	百分比/ %
无措施区域	0	25.22277	12.39	26.296	12.91
淤地坝	45	72.96079	35.83	110.968	54.50
梯田	29	1.531321	0.75	0.285	0.14
造林种草	55	28.58054	14.04	13.39	6.58
淤地坝 - 梯田	74	4.355123	2.14	0.889	0.43
淤地坝 - 造林种草	100	70.97496	34.85	51.8	25.44

统计分析各种措施影响面积时发现淤地坝和造  
林种草措施对该区域影响的面积最大。两个年份的  
各个措施的统计情况见表 5。

由表 5 可以看出淤地坝影响的范围最广,这与  
实际相符合。实际当中,淤地坝影响了整个坝的上  
游区域,在黄土高原水土流失的治理中有着不可替  
代的作用。其次造林种草在小流域治理中也起着非  
常重要的作用。岔巴沟地区造林种草分布广泛,也  
是一项非常重要的措施。黄土高原梯田比较分散,  
而且面积比较小,一般在少数山的坡面分布,对水土  
流失的影响面积比较小。通过两个年份数据的对比  
可以发现淤地坝控制的面积有所减少,减少的比例  
较大。这与 1993 年的洪水有关,冲毁了部分淤地

坝,90 年代以后建的淤地坝较少,十几年的时间一  
部分已经淤满。所以淤地坝的减少是符合实际情况  
的。梯田的增加与生产力水平有很大的关系,90 年  
代以前黄土高原地区生产力水平相对落后,因此,兴  
建梯田还需要耗费很大的人力物力和财力。生物措  
施的覆盖面积有很大程度的增加,黄土高原水土流  
失的治理中,生物措施是非常重要的一项措施。政  
府也比较看重这项措施,在治理过程中造林种草起  
着及其重要的作用。从整体上来看,水土保持措施  
对黄土高原下垫面抗侵蚀能力的增强有着不可替代  
的作用。两个年份的对比也说明了黄土高原小流域  
治理水平在不断提高,也充分说明了人类活动对下  
垫面抗蚀力有着很大的影响。

## 4 结 语

通过对黄土高原小流域水土保持措施对下垫面抗蚀力的影响进行了深入的分析。建立了水土保持措施对下垫面抗蚀力影响的定量研究指标体系,并建立了水土保持措施对小流域抗蚀力研究的一套评价方法。这个指标体系也可以用于多个影响因素对下垫面抗蚀力的研究。将该研究方法应用于岔巴沟地区具有典型性。在该地区应用后得出的结论与实地考察得出的结论相符合。因此,该方法在黄土高原小流域下垫面抗蚀力的研究中具有一定的科学性和有效性。由于数据的限制,未能将一些小措施加入到该评价体系。随着科学技术的发展和黄土高原小流域治理的不断完善,对黄土高原小流域抗蚀力的研究有待进一步的探索。

### 参考文献:

- [1] 冉大川,刘斌,罗全华,等. 泾河流域水土保持措施减水减沙作用分析[J]. 人民黄河, 2001, 23(2): 9-11.
- [2] 朱金兆,胡建忠. 黄河中游地区侵蚀产沙规律及水土保持措施减洪减沙效益[J]. 中国水土保持科学, 2004, 2(3): 41-48.
- [3] 赵东波. 基于高分辨率遥感图像的水土保持措施信息的提取和分析[D]. 陕西杨陵: 西北农林科技大学, 2007.
- [4] 李发斌,王青,李树怀. 王家沟流域水土保持工程措施经济效益分析[J]. 水土保持研究, 2004, 11(3): 237-240.
- [5] 康玲玲,王云璋,王霞. 黄土高原沟壑区水土保持综合治理关键措施与组合研究[J]. 水土保持学报, 2001, 15(4): 59-62.
- [6] 熊运阜,王宏兴,白志刚,等. 梯田、林地、草地减水减沙效益指标初探[J]. 中国水土保持, 1996(8): 10-14.
- [7] 黎锁平. 水土保持综合治理效益的灰色系统评价方法[J]. 水土保持科技情报, 1995(4): 23-26.
- [8] 胡良军. 基于 GIS 的区域水土流失定量评价指标研究[J]. 水土保持通报, 1998, 18(5): 24-27.
- [9] 张胜利,李体,赵文林,等. 黄河中游多沙粗沙区水沙变化原因及发展趋势[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 1998.
- [10] 高振纪,郭伦,马修军. 黄土高原水土流失监测指标体系研究[J]. 水土保持研究, 2005, 12(4): 53-55.
- [11] 杨皖苏. 关于水利科学基础学科中若干问题的 Delphi 调查[J]. 水科学进展, 1993, 4(4): 316-322.
- [12] 侯岳衡,沈德家. 指数标度及其与几种标度的比较[J]. 系统工程理论与实践, 1995, 15(10): 43-46.
- [10] Downes G, Beadle C, Worledge D. Daily stem growth patterns in irrigated *Eucalyptus globulus* and *E. nitens* in relation to climate[J]. *Trees*, 1999, 14: 102-111.
- [11] Larsen C P S, MacDonald G M. Relations between tree-ring widths, climate, and annual area burned in the boreal forest of Alberta[J]. *Canadian Journal of Forest Research*, 1995, 25: 1746-1755.
- [12] Mäkinen H P, Nöjd K, Mielikäinen. Climatic signal in annual growth variation in damaged and healthy stands of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) in south Finland[J]. *Trees*, 2001, 15: 177-185.
- [13] Oberhuber W, Stumböck M, Kofler W. Climate-tree growth relationships of Scots pine stands (*Pinus sylvestris* L.) exposed to soil dryness[J]. *Trees*, 1998, 13: 19-27.
- [14] Rolland C. Tree-ring and climate relationships for *Abies alba* in the internal Alps[J]. *Tree-Ring Bulletin*, 1993, 53: 1-11.
- [15] Sheppard P R, Graumlich L J, Conkey L E. Reflected-light image analysis of conifer tree rings for reconstructing climate[J]. *Holocene*, 1996, 6: 62-68.
- [16] Szeicz, J M, MacDonald G M. A 930-year ring-width chronology from moisture-sensitive white spruce (*Picea glauca* Moench) in the northwestern Canada[J]. *The Holocene*, 1996, 6: 345-351.
- [17] 郑淑霞,上官周平. 树木年轮与气候变化关系研究[J]. 林业科学, 2006, 42(6): 100-107.
- [18] Fritts H C. The relevance of dendrographic studies to tree ring research[J]. *Tree Ring Bull.*, 1962, 24: 9-11.

(上接第 49 页)