

黄土高原水保措施减水减沙效益评价系统

张安邦^{1,2}, 上官周平², 焦菊英², 刘晓东³

(1. 河南科技学院, 河南 新乡 453003; 2. 中国科学院 水利部 水土保持研究所

黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100; 3. 西安交通大学, 陕西 西安 710049)

摘要: 在对黄土高原不同区域性主要水文站 40 多年观测资料基础上, 结合黄土高原多沙区不同水文年型与不同水保措施治理下水土流失的观测结果, 建立了不同降雨条件下单项水土保持措施的减水减沙效益指标预测模型以及不同治理措施配置下减沙效益预测模型。并运用现代信息技术, 构建了黄土高原水土保持措施减水减沙效益评价系统。该评价系统可实现对不同水文年型条件下主要水保措施的减水减沙效益进行定量评价, 为黄土高原的水土保持和生态环境建设提供科学依据和决策支持。

关键词: 水保措施; 减水减沙效益; 评价系统; 黄土高原

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2010)01-0171-05

中图分类号: S157.1, P333.4

Evaluating System on Benefits of Soil and Water Conservation Measures in Reducing Runoff and Sediment on the Loess Plateau

ZHANG An-bang^{1,2}, SHANGGUAN Zhou-ping², JIAO Ju-ying², LIU Xiao-dong³

(1. He 'nan Institute of Science and Technology, Xinxiang, He 'nan 453003, China; 2. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3. Xi 'an Jiaotong University, Xi 'an, Shaanxi 710049, China)

Abstract: The models evaluating the benefits of runoff and sediment reductions by single soil and water conservation measure under the configuration conditions of different control measures are constructed based on more than 40 years' observation data in major hydrology stations in different regions, coupling the observation results of soil loss under different soil and water conservation measures for different hydrological year types in the regions with large quantity of sediment on the loess plateau. Using modern information technology, an evaluation system is established to estimate the benefits of runoff and sediment reductions by soil and water conservation measures on the loess plateau. The system can be applied to evaluate the benefits of runoff and sediment reductions by soil and water conservation measures for different hydrological year types in a quantitative way and provide a scientific basis and the decision support for soil and water conservation and the construction of eco-environment on the loess plateau.

Keywords: soil and water conservation measures; benefit of runoff and sediment reduction; evaluation system; loess plateau

黄土高原水土流失严重, 生态环境脆弱, 虽然经过几十年的治理, 入黄泥沙明显减少, 进行重点综合治理的小流域, 生态环境得以恢复和重建, 但黄土高原地区生态环境局部改善, 总体恶化的面貌并未得到根本性的改变^[1-2]。

自从国家实行退耕还林还草工程以来, 尤其是在黄土高原生态极其脆弱的地区, 植被和土地覆被发生了很大的变化, 对区域性径流与产沙过程亦产生了一

定的影响, 从而影响到了区域生态环境的质量^[3]。因此, 收集广大科技工作者的研究成果, 采取恰当的形式加以总结集成, 对于黄土高原水土流失的治理与政府部门的科学决策具有重要的现实意义。

针对黄土高原侵蚀多沙区不同水文年型与不同水保措施治理下的土壤流失量预测问题, 先建立模型, 进而利用现代信息技术, 在以前研究工作的基础上, 研发黄土高原水土保持措施减水减沙效益评价系

统,以快速量化分析不同降雨条件下单项水土保持措施的减水减沙效益和不同治理措施配置下减沙效益,为黄土高原的水土流失治理和生态环境建设提供科学依据。

1 系统设计

黄土高原水土保持措施减水减沙效益评价系统采用执行效率很高的 C++ 语言,在功能强大的 Visual C++ 环境下开发,将决策支持模块封装成一个独立的 ATL (Active Template Library) 模块,该模块在 Windows 2000 Server 服务器上运行。系统主要由数据库及数据库管理系统、模型库及模型库管理系统、人机交互等模块的有机结合组成的,可辅助决策者实现科学决策的综合集成系统。

1.1 数据库的建立

数据库是水保措施减水减沙效益评价系统的一个最基本的部件,数据库管理系统主要是维护数据库系统的正常活动,接受并回答用户提出的访问数据库的各种应用请求。例如数据的更新、删除及预处理等。在水保措施减水减沙效益评价系统中,数据库的构建采用关系数据库的设计方法,面向对象的数据库管理方法以及 SQL 查询方式,保证数据库中数据的独立性、整体性以及最小冗余性等,而且便于对数据进行有效地管理。系统中主要包括黄土高原治理区基本现状数据库,不同治理区侵蚀产沙环境特征,不同治理区地面与耕地坡度组成,不同治理区的社会经济状况、不同治理区土地利用现状,单坝减水减沙效益等数据库。

在单坝减水减沙效益数据库中,数据组成如表 1 示,数据的定义方式为:

name	流域名	varchar (20)
height	坝高	varchar (20)
water	减水效益	decimal (4,2)
sand	减沙效益	decimal (4,2)

1.2 模型库的建立

黄土高原水保措施减水减沙效益评价系统中的模型库主要由数学模型和知识模型组成。数学模型主要根据以前实验观察资料归纳,知识模型主要对领域专家的知识进行收集、积累和集成,这有一个不断丰富完善的过程。模型程序采用 Visual C++ 6.0 编写,应用现在最为流行的 ActiveX 技术以及 ALT 模板技术,创建 OCX 控件或者基于 COM 的软件模块,使之具有灵活性、便于集成。

在黄土高原地区水保措施可分为工程措施、生物措施和耕作措施 3 大类,但不同类型区的主要措施有所不同,我们依据黄土高原不同区域的多年实地观测资料,对各单项水土保持措施的减水减沙效益和不同治理措施配置下的减沙效益进行分析,建立相应的预测模型。

1.2.1 单项水土保持措施减水减沙效益模型

(1) 水平梯田的减水减沙效益。水平梯田作为黄土高原重要的农田形式,是一项面积较大的坡耕地治理的根本措施。分析黄土高原水平梯田的质量对减水减沙效益的影响,对建设水土保持型生态农业具有重要的意义。根据焦菊英和王万忠(1999)的研究^[4],将水平梯田的减水减沙效益分析模型如表 2 示。

表 1 黄土高原地区不同坝高淤地坝多年平均减水减沙效益

效益类型	流域	坝高/m						平均
		5~10	10~15	15~20	20~25	25~30	30	
减水效益	黄埔川	3.93	3.67	5.26	3.98	5.53		4.40
	窟野河	1.62	3.00	9.52	7.66	8.93	4.56	4.85
	秃尾河	0.66	7.60	9.37	4.19	6.12	7.58	6.83
	佳芦河	1.05	2.06	2.84	5.24	5.43	4.20	3.46
	大理河	2.61	6.84	9.32	10.76	12.66	14.32	9.14
	平均	1.97	4.63	7.26	6.37	7.73	7.67	5.74
减沙效益	黄埔川	26.91	25.61	36.22	27.71	38.02		30.50
	窟野河	17.19	25.99	39.32	44.22	37.32	47.56	29.88
	秃尾河	7.18	38.65	50.99	41.59	65.34	70.62	47.76
	佳芦河	6.68	13.52	18.86	32.14	33.79	28.28	22.00
	大理河	15.13	36.12	49.21	55.46	59.61	78.45	47.57
	平均	14.62	27.98	38.92	40.22	46.82	56.23	35.54

(2) 林草措施的减水减沙效益。植被因子是影响土壤侵蚀的敏感性因子,对水土保持而言,起关键作用的是植被群落的盖度。由于人类不合理的社会经济活动,植被的分布已丧失连片的地带分布规律,植被覆盖度极差,水土流失非常严重,以至造成黄河下游河道淤积,河床抬高,加剧了洪水威胁,给黄河防洪治理和水利工程的运行带来严重隐患。因此,黄土高原林草

地建设对黄土高原的水土保持规划、水土保持效益评价和生态环境建设等都具有极其重要的意义。

降雨条件下盖度对林草措施的减水减沙效益影响很大^[5-6],关于林草措施的减水减沙的研究很多,但对不同质量林草措施不同降雨条件下的减水减沙效益未作深入研究。在不同降雨条件下,林草植被在不同盖度时的减水减沙效益分析模型如表 3 所示。

表 2 黄土高原地区水平梯田减水减沙效益

项目	减水效益 R/ %	减沙效益 S/ %
次降雨条件下	$- 59.765 \ln(PI_{30}) + 331.72 (r=0.896)$	$- 0.5848(PI_{30}) + 130.07 (r=0.993)$
年降雨条件下	$100\% (P_{59} < 450 \text{ mm}), 83.1\% (P_{59} > 450 \text{ mm})$	$100\% (P_{59} < 450 \text{ mm}), 95.4\% (P_{59} > 450 \text{ mm})$

注: PI_{30} (侵蚀性降雨指标)是降雨量(P)与最大 30 min 雨强(I_{30})的乘积; P_{59} 是 5—9 月降雨量。

表 3 林草措施减水减沙效益

项目	减水效益 R/ %	减沙效益 S/ %
次降雨条件	林地 $235.306 - 2.890.644(1/V) - 37.442 \lg(PI_{30} * V)$ ($r=0.835$)	$223.923 - 3103.189(1/V) - 30.9851g(PI_{30} * V)$ ($r=0.682$)
	草地 $- 81.799 + 39.6951g(V/PI_{30}) + 61.9341g(V)$ ($r=0.715$)	$- 108.520 + 46.1941g(V/PI_{30}) + 84.8131g(V)$ ($r=0.787$)
年降雨条件下	林地 $- 25.316 + 160.5741g(V) - 73.4711g(P_{59})$ ($r=0.608$)	$- 56.523 + 116.5201g(V) - 30.8641g(P_{59})$ ($r=0.722$)
	草地 $115.117 + 75.1301g(V) - 77.9401g(P_{59})$ ($r=0.623$)	$- 26.902 + 105.3681g(V) - 34.1941g(P_{59})$ ($r=0.737$)

注: V 为林草地盖度(0~100%); PI_{30} (侵蚀性降雨指标)是降雨量(P)与最大 30 min 雨强(I_{30})的乘积。

(3) 林草地水土保持有效盖度的确定。对水土保持而言,起关键作用的是植物群落的盖度,即植被的有效盖度,因此植被有效盖度是水土保持林草措施中一个重要指标。土壤侵蚀的大小是土壤、降雨、植被、地形等因子共同作用的结果,要使土壤侵蚀量小于某一定值,在不同的降雨、地形等条件下,要求的植被盖度是不一样的。在黄土高原土壤条件相对一致的前提下,分别对林地和草地在不同坡度和降雨条件下的有效盖度进行分析归纳。

林地水土保持临界有效盖度为: $V = - 103.29 + 33.811g(PI_{30}) + 75.381gS (r=0.739)$ 。

草地水土保持临界有效盖度为: $V = - 103.20 + 34.621g(PI_{30}) + 78.971gS (r=0.780)$ 。

式中: V ——林草地临界有效盖度(0~100%); PI_{30} ——侵蚀性降雨指标,是降雨量(P)与最大 30 min 雨强(I_{30})的乘积; S ——林草地坡度(20°~35°)。

(4) 淤地坝的减水减沙效益。根据黄土丘陵沟壑区典型小流域的观测资料,沟谷地面积平均占小流域总面积的 44%,但它的来水量和来沙量分别占总水、沙量的 73%和 80%,说明小流域径流泥沙主要来源于沟谷。经初步治理的小流域,坡面措施一般仅能控制来沙量的 20%~40%,最多不超过 50%,剩余部分将由坡面进入沟谷。淤地坝除拦蓄沟谷地产沙量外,还

可拦蓄坡面 50%以上的产沙量。可见,淤地坝在黄土高原丘陵沟壑区水土保持中起着非常重要的作用^[7]。

单坝的减水减沙效益模块主要为数据库形式,坝系的减水减沙效益与坝地面积占流域面积的比例之间有密切关系,其大小随着坝地面积比例的增加而增加。现将流域分为如下几个类型区加以研究,得出坝系减水减沙效益如表 4 示。

1.2.2 不同治理措施配置下的减沙效益 由于黄土高原的水土流失主要来自侵蚀模数 $5\ 000 \text{ t/km}^2$ 的多沙区(占总流失量的 84.6%),因此,黄土高原水土流失的治理重点在上述地区。考虑到不同治理措施的布设,各治理区按照“流域+侵蚀类型区”进行命名,前者考虑了以流域为单元的治理特点,后者考虑了不同类型区措施布设的差异性,这样既考虑了流域的完整性,又兼顾了流域内不同类型区措施的配置特点^[8]。现将黄土高原水土流失区分为 10 个不同治理区,各治理区内不同治理措施配置下的减沙效益数学模型总结如表 5 所示。

1.3 人机交互系统

人机交互系统一般用于模型运行中的交互,显示辅助决策信息和交互信息,根据计算机运行的要求,输入需要的数据或者控制信息。用户通过人机交互界面以对话形式直接与数据管理部分和模型管理部

分对话。查询或操作数据库时,根据对话管理部分送来的命令,由数据库管理部分进行查询,然后再把结果经由对话管理部分送回用户。

运行该模型时,或者直接从外界(用户)获得输入

参数,或者从数据库中查出数据作为输入,模型运行后产生的结果通过对话管理部分直接送给用户,或者先放入数据库以便继续处理,也可以作为其它模型的输入。

表 4 坝系减水减沙效益

类型	减水效益 $R/\%$	减沙效益 $S/\%$
支流	$0.363 + 2.040A (r=0.948)$	$0.931 + 9.947A (r=0.908)$
区间	$-0.182 + 2.019A (r=0.960)$	$0.645 + 11.461A (r=0.964)$
小流域	$0.0219 + 1.168A (r=0.907)$	$2.441 + 7.866A (r=0.739)$

注:A为坝地面积占流域面积的百分比。

表 5 不同治理措施配置下减沙效益

区域	减沙量 S	减沙效益 $S/\%$	土壤侵蚀模数 S
鹿野河黄埔川上游风沙草原区	$0.0745 P_{59}^{1.917} T^{-6.9E-12} F^{-6.2E-12} G^{-1.4E-11}$ ($r=0.993$)	$0.766 P_{59}^{-0.150} T^{0.077} F^{0.154} G^{0.642}$ ($r=0.983$)	$0.418 P_{59}^{2.012} T^{-0.0349} F^{-0.0700} G^{-0.292}$ ($r=0.981$)
河曲至头道拐黄土平岗丘陵沟壑区	$0.0403 P_{59}^{2.102} T^{3.459E-12} F^{1.58E-12} G^{9.96E-12}$ ($r=0.994$)	$0.700 P_{59}^{-0.133} T^{0.170} F^{0.298} G^{0.350}$ ($r=0.956$)	$0.129 P_{59}^{2.175} T^{-0.0767} F^{-0.143} G^{-0.157}$ ($r=0.989$)
河曲至吴堡黄土阶状丘陵沟壑区	$0.00426 P_{59}^{2.509} T^{-2E-12} F^{-8.4E-13} G^{-1.0E-12}$ ($r=0.995$)	$0.598 P_{59}^{-0.133} T^{0.174} F^{0.309} G^{0.334}$ ($r=0.956$)	$0.0115 P_{59}^{2.580} T^{-0.0765} F^{-0.136} G^{-0.147}$ ($r=0.991$)
清涧河、无定河和三川河中游黄土阶状丘陵沟壑区	$0.0142 P_{59}^{2.358} T^{-3.4E-11} F^{-2.9E-11} G^{-2.9E-11}$ ($r=0.095$)	$0.498 P_{59}^{-0.130} T^{0.184} F^{0.303} G^{0.328}$ ($r=0.955$)	$0.0354 P_{59}^{2.431} T^{-0.0842} F^{-0.138} G^{-0.150}$ ($r=0.991$)
延河昕水河汾川河黄土梁状丘陵沟壑区	$0.0388 P_{59}^{2.067} T^{7.1E-12} F^{7.1E-11} G^{1.2E-11}$ ($r=0.995$)	$0.566 P_{59}^{-0.140} T^{0.151} F^{0.465} G^{0.214}$ ($r=0.965$)	$0.109 P_{59}^{2.143} T^{-0.0646} F^{-0.198} G^{-0.0916}$ ($r=0.988$)
西北部风沙黄土丘陵沟壑区	$0.00123 P_{59}^{2.141} T^{-1.8E-12} F^{2.7E-12} G^{-1.3E-12}$ ($r=0.993$)	$0.715 P_{59}^{-0.143} T^{0.110} F^{0.145} G^{0.607}$ ($r=0.980$)	$0.0596 P_{59}^{2.230} T^{-0.0492} F^{-0.0649} G^{-0.271}$ ($r=0.986$)
泾河北洛河上游干旱黄土丘陵沟壑区	$0.000221 P_{59}^{2.629} T^{1.8E-11} F^{7.2E-12} G^{9.41E-12}$ ($r=0.996$)	$0.503 P_{59}^{-0.147} T^{0.114} F^{0.286} G^{0.430}$ ($r=0.962$)	$0.00444 P_{59}^{2.713} T^{-0.0515} F^{-0.128} G^{-0.193}$ ($r=0.991$)
泾河中下游黄土高原沟壑区	$0.000193 P_{59}^{2.947} T^{6.8E-12} F^{-1E-11} G^{1.1E-11}$ ($r=0.996$)	$0.386 P_{59}^{-0.126} T^{0.218} F^{0.412} G^{0.191}$ ($r=0.960$)	$0.000376 P_{59}^{3.005} T^{-0.0815} F^{-0.154} G^{-0.0717}$ ($r=0.993$)
祖厉河清水河上游黄土高原沟壑区	$0.178 P_{59}^{1.788} T^{1.3E-11} F^{1.8E-11} G^{1.7E-11}$ ($r=0.994$)	$0.499 P_{59}^{-0.121} T^{0.208} F^{0.120} G^{0.511}$ ($r=0.970$)	$0.626 P_{59}^{1.862} T^{-0.094} F^{-0.0551} G^{-0.232}$ ($r=0.985$)
渭河上游黄土高原沟壑区	$0.0426 P_{59}^{2.026} T^{3.0E-11} F^{3.1E-11} G^{3.1E-11}$ ($r=0.996$)	$0.614 P_{59}^{-0.111} T^{0.292} F^{0.249} G^{0.270}$ ($r=0.953$)	$0.122 P_{59}^{2.082} T^{-0.123} F^{-0.106} G^{-0.114}$ ($r=0.990$)

注: S 为减沙量($10^4 t$); S 为土壤流失量(t/km^2); P_{59} 为汛期(5—9月)雨量(mm); T 为梯田的面积($667 hm^2$); F 为林地面积($667 hm^2$); G 为草地面积($667 hm^2$)

2 系统逻辑结构

系统的逻辑结构是以数据库和模型库为主体,通过水土保持措施减水减沙效益评价决策系统的运行,辅以友好的人机操作界面和人机对话过程,来实现信息查询、水保措施减水减沙效益评价等功能(图1)。

用户通过人机交互界面直接与数据管理与模型管理部分对话。查询或操作数据库时,根据对话管理部分送来的命令,由数据库管理部分进行查询,然后再把结果经由对话管理部分送回用户。运行模型时,或者直接从外界(用户)获得输入参数,或者从数据库中查出数据作为输入,模型运行后产生的结果通过对话管理部分直接送给用户,或先放入数据库以便继续

处理,也可作为其它模型的输入。

3 主要功能

用户可以在 Web 页上选择不同的评价决策子系统,一方面可以对特定区域水保措施现状以及流域基本信息进行快速查询,另一方面用户可以根据当地的资源现状,实现当前数据的录入、查询,并直接启动决策子系统和推理机,对事实和条件进行推理判断,给出有明确针对性的水保措施减水减沙效益,从而指导实际。同时,系统可直接服务于水土保持管理,具备对信息的存贮、索引、查询、修改、更新、统计、绘图、报表生成等功能,使分散的资源信息逐步纳入综合、集中、高效管理的轨道中。

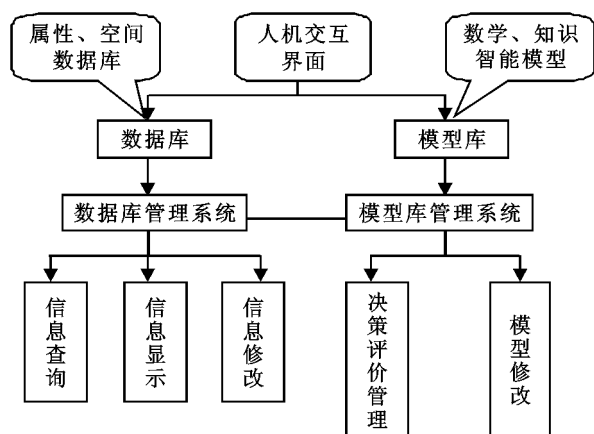


图 1 效益评价系统逻辑结构图

3.1 评价决策功能

水保措施减水减沙效益评价决策功能为系统开发的核心功能,运用知识库中的知识规则,输入实际的水保措施实施方案,通过推理分析后,推荐相应水保措施条件下的减水减沙效益。

3.1.1 单项水保措施减水减沙效益评价决策功能

黄土高原水保措施包括林草措施、修建水平梯田以及修建淤地坝等措施,系统以各单项治理措施下减水减沙效益构建了若干评价子系统,用户通过选择不同的子系统进入决策系统。按照系统给出的提示信息,用户选择具体的流域与区间,系统在数据库中查找对应的基本数据。当数据满足用户要求时,系统通过直接计算推理,求出相应的减水效益、减沙效益、土壤侵蚀模数等数据;当数据库中数据不能满足用户的需求,则系统提示用户将该输入的基本数据输入计算机,系统通过计算推理得出相应的减水效益、减沙效益、土壤侵蚀模数等数据。然后,系统根据知识规则对水保措施进行评价,并提出合理化建议。

3.1.2 不同水保措施配置下的减沙效益评价决策功能 黄土高原多沙区的治理措施往往不是单一的,通常在多沙区采取了综合的治理措施。用户通过点击不同水保措施配置下减水减沙效益评价决策子系统,选择具体评价区域,按照系统信息提示,输入汛期(5—9月)雨量 P_{50} 、梯田的面积、林地面积、草地面积,经模型计算求出流域减沙量以及土壤侵蚀模数,然后依据知识规则进行评估,并提出合理建议。

3.2 信息查询和显示功能

信息查询主要指实现水保措施减水减沙决策过程中所需的各种信息的快速捕获、数据检索等功能,主要包括治理区地形地貌、气候水文资料、土地利用现状、水土流失现状、土地利用规划、水土保持措施现

状等信息文档。运用 ADO 技术和 SQL 语言的灵活配置,设置查询条件,用户可迅速地查询所需的内容。同时,采取适当的输出方式显示给用户。

3.3 信息修改功能

系统数据库、知识库中存放大量关于黄土高原不同治理区基本信息以及水保现状、水保规范等信息。随着时间的推移,知识规则以及基础数据将不断得到完善,可对系统数据库记录以及知识规则进行修订完善。系统将对用户进行用户权限核查,当用户具有管理员身份或具特殊权限,即可对数据库、知识规则进行修订。

4 结论

黄土高原水保措施减水减沙效益评价系统总结了黄土高原水土保持措施的减水减沙效益的数学模型和相关数据信息,采用先进的信息集成处理技术进行信息采集、传送、处理、表现,并采用了关系数据库的设计方案,面向对象的数据库管理技术以及 SQL 数据查询方式,保证了数据的最小冗余、共享性、整体性、灵活性、安全保密等性能。同时,系统采用领域专家与知识专家相结合,运用数据库技术、数据挖掘分析、决策支持系统等技术,构建了一个基于 Internet 的分布式评价系统。系统以决策者为中心,较好地解决了人机交互界面、数据库和模型库之间的信息交互问题。黄土高原水保措施减水减沙效益评价系统的推广应用,可以使流域水土保持规划和管理工作更上一个台阶,为流域的水土保持动态分析和适时监测创造了条件。

[参 考 文 献]

- [1] 蒋定生. 黄土高原水土流失与治理模式[M]. 北京:中国水利水电出版社,1997.
- [2] 唐克丽. 中国水土保持[M]. 北京:科学出版社,2004.
- [3] 吴钦孝,杨文治. 黄土高原植被建设与持续发展[M]. 北京:科学出版社,1998.
- [4] 焦菊英,王万忠. 黄土高原水平梯田质量及水土保持效果的分析[J]. 农业工程学报,1999,15(2):59-63.
- [5] 焦菊英,王万忠. 人工草地在黄土高原水土保持中的减水减沙效益与有效盖度[J]. 草地学报,2001,9(3):176-182.
- [6] Niwat Ruangpanit. 林冠郁闭度对水土流失的影响[J]. 中国水土保持,1984(7):56-58.
- [7] 焦菊英,王万忠,李靖,等. 黄土高原丘陵沟壑区淤地坝的淤地拦沙效益分析[J]. 农业工程学报,2003,19(6):302-306.
- [8] 王万忠,焦菊英. 黄土高原水土保持减沙效益预测[M]. 郑州:黄河水利出版社,2002.