

# 区域水土保持效益评价指标体系及评价方法研究<sup>\*</sup>

王琦<sup>1</sup>, 杨勤科<sup>2,1</sup>

(1. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨陵 712100; 2. 西北大学, 西安 710069)

**摘 要:** 水土保持效益评价是水土保持科学体系中的重要内容。本文讨论了指标体系的选取原则和方法, 分析了“国标”的优劣, 提出了区域水土保持效益评价指标体系, 同时介绍了常用的效益计算和评价方法, 最后对效益评价的未来趋势进行了展望。

**关键词:** 水土保持效益; 指标体系; 效益计算; 效益评价

**中图分类号:** S157

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-3409(2010)02-0032-05

## Parameters and Methods for Benefit Evaluation of Region-scale Soil and Water Conservation

WANG Qi<sup>1</sup>, Yang Qin-ke<sup>2,1</sup>

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Northwest University, Xi'an 710069, China)

**Abstract:** The evaluation of the benefits of soil and water conservation plays an important role in the scientific system of soil and water conservation, and has become one of the most popular topics with both scientists and conservationist. This paper systematically analyzed the present research situation and problems on the benefit evaluation of soil and water conservation. And then, the paper suggested a regional-scale evaluation parameter system. Meanwhile, the prevalent methods of benefit evaluation were introduced. Finally, we looked ahead the trend of the research on benefit evaluation.

**Key words:** benefits of soil and water conservation; parameter system; benefit calculation; benefit evaluation

水土保持效益是指水土保持措施对于减弱和预防水土流失、保护和改良水土资源、促进生态系统良性循环和社会经济系统健康发展的贡献<sup>[1]</sup>。水土保持效益评价, 是对水土保持措施贡献的计算和分析。通过效益评价可查明水土保持措施实施过程中存在的问题, 认识理解水土保持措施对水土流失的影响机理及其区域适宜性, 为制定修编进一步的治理规划方案提供依据。因而水土保持效益评价具有重大的理论和实践意义, 也得到了学术界的广泛关注。孙立达等<sup>[2]</sup>对水土保持效益评价研究进行过详尽评述; 一些教科书和专著, 如水土保持学、中国水土保持<sup>[3]</sup>等, 专门设有章节开展专题讨论介绍。本文以近年来各类学术期刊文献和一些水土保持效益评价计算案例为基础, 注重新理论和新方法的应用探索, 讨论了水土保持效益评价指标和方法, 以期促进该研究的深化。

## 1 水土保持效益评价指标体系

水土保持效益评价指标是指对水土保持效益进行定性描述、定量分析时所用的变量, 指标体系则是相互联系的、具有一定层次结构的指标集。效益评价的首要工作就是建立一套能客观、准确、全面并定量化反映治理效果的评价指标体系<sup>[2]</sup>。

### 1.1 指标选取的原则

水土保持效益评价指标选取原则既是保障指标体系科学性的先决条件, 又是确保评价结果合理的前提。水土保持效益评价指标体系选取的原则包括<sup>[1,4]</sup>: (1) 指标内涵符合土壤侵蚀学和水土保持学等学科的基本原理, 能科学有序地演绎治理前后水土流失及其影响因子的变化。(2) 指标能用具体数值表达, 反映治理效果, 即治理前后水土流失的强度

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2009-12-31

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划项目(2006BAD09B05); 黄河水利委员会项目“黄土丘陵三副区水土流失预测预报的区域模型与水土保持效益评价模型研究”

作者简介: 王琦(1984-), 女, 湖南怀化人, 在读硕士, 主要从事 GIS、RS 在水土保持效益评价中的应用研究。E-mail: wangannqi@163.com

通信作者: 杨勤科(1962-), 男, 陕西陇县人, 教授, 主要从事区域水土流失定量评价和 GIS 应用研究。E-mail: qkyang@126.com

及其影响因子发生发展的规律。(3)符合数据采集与编码要求,各指标必须客观存在,内涵清晰,既无重叠,也不能有所遗漏,指标涉及的资料容易取得。(4)与分析尺度相匹配,不同空间尺度水土保持效益的主导影响因素不同,必须根据研究尺度的水土流失规律,结合研究目的,筛选与研究尺度匹配的指标。(5)避免地方性限制,指标应该能在比较大的区域内、甚至全国范围内统一,与地理坐标系统无关,仅指标的取值随着地理位置发生变化。

1.2 指标选取的方法

建立水土保持效益评价指标体系,是一项严密的科研工作,须用科学而实用的方法做指导。常用选取方法包括<sup>[1,7]</sup>:(1)理论推导法,深入认识理解研究区的自然和人文环境,掌握水土保持科学原理,制定与研究区尺度匹配,定量反映研究区治理效果及发展趋势的指标体系。(2)专家选取法,邀请一组对研究区实际情况比较熟悉、对水土保持相关科学原理深入了解的专家,采用问卷、会议等形式,制定指标体系。(3)文献频数法,分析相关文献采用指标

的频数,选定频数较大的指标;由于文献提供了理论基础和实例说明,信服度增强。(4)主成份分析,对初步拟订的指标做主成份分析,选定累积贡献率 85 % 以上的指标;此法科学客观,但是对参与分析的指标个数有要求。

1.3 指标体系

1.3.1 国内指标体系的研究 我国学者对水土保持效益评价进行了大量研究,提出了各种不同的指标体系<sup>[5-6]</sup>。其中最具代表性的是水利部的有关技术标准。1987 年水利部颁布了涉及效益计算的“水土保持技术规范”(SD238 - 1987);1995 年颁布的“水土保持综合治理效益计算方法”(GB/ T15774 - 1995,简称“95 国标”),推动了水土保持效益计算的规范化。但是随着农村的经济发展和产业结构变化,水土保持工作的方式有所变化,“95 国标”逐渐不适应新形势下的水土保持工作。张信宝<sup>[7]</sup>提出用土地增值评估经济效益;叶延琼等<sup>[8]</sup>提出增加水土资源增值的评价,以及开展生态效益价值化研究。

表 1 水土保持效益评价指标体系

效益分类	计算内容	计算具体项目
调水保土效益	调水(一)	(1)改变微地形增加土壤入渗;(2)增加地面植被增加土壤入渗;3.改良土壤性质增加土壤入渗
	调水(二)	(1)坡面小型蓄水工程拦蓄地表径流;(2)“四旁”小型蓄水工程拦蓄地表径流;
	拦蓄地表径流	(3)沟底、谷坊、坝库工程拦蓄地表径流
	调水(三)坡面排水	改善坡面排水的能力
	调水(四)调节小流域径流	(1)调节年际径流;(2)调节旱季径流;(3)调节雨季径流
	保土(一)减轻土壤面蚀	(1)改变微地形减轻面蚀;(2)增加地面植被减轻面蚀;(3)改良土壤性质减轻面蚀
	保土(二)减轻土壤沟蚀	(1)制止沟头前进减轻沟蚀;(2)制止沟底下切减轻沟蚀;(3)制止沟岸扩张减轻沟蚀
经济效益	保土(三)拦蓄坡沟泥沙	(1)小型蓄水工程拦蓄泥沙;(2)谷坊、坝库工程拦蓄泥沙
	直接经济效益	(1)增产粮食、果品、饲草、枝条、木材带来的增收;(2)投入产出比;(3)投资回收期
	间接经济效益	(1)种基本农田比种坡耕地节约土地和劳工;(2)人工种草养畜比天然牧场节约土地;(3)水土保持工程增加蓄、饮水;(4)土地资源增值
社会效益	减轻自然灾害	(1)保护土地不遭沟蚀破坏与石化沙化;(2)减轻下游洪涝灾害;(3)减轻下游泥沙危害;(4)减轻风蚀与风沙危害;(5)减轻干旱对农业生产的威胁;(6)减轻滑坡泥石流的危害;(7)减轻面源污染
	促进社会进步	(1)土地生产率;(2)劳动生产率;(3)土地利用结构;(4)农村生产结构;(5)环境容量;(6)促进群众脱贫致富奔小康
生态效益	调蓄地表径流	(1)减少洪水流量;(2)增加基流流量
	改良土壤理化性质	(1)改善土壤物理化学性质;(2)提高土壤肥力
	改善近地层气候	(1)改善贴地层的温度湿度;(2)改善贴地层的风力;(3)净化空气
	促进生物繁育	(1)提高地面林草被覆程度;(2)促进生物多样性;(3)增加植被固碳量

2008 年水利部组织修订了“95 国标”,颁布了“水土保持综合治理效益计算方法”<sup>[9]</sup>。“08 国标”改称基础效益为调水保土效益,突出了保护土地资源的重要性,强调了水土保持措施对水资源的调节作用;增加了与生产实践密切相关的“坡面排水”、

“小流域径流调节能力”和“水土保持工程引蓄水效益”的内容;引入环保界普遍关注的“固碳”和“面源污染”等有关条例。

但是,“08 国标”仍有一些问题,亟待进一步研究改进: 根据国标无法获得一个综合效益值,不便

于政府决策;“国标”立足于计算方法的规范化,对计算结果的分析评价略显不足;“促进生物多样性”指标并没有给出具体的计算描述方式;“土地资源增值”和“坡面排水能力”的计算方法没有明确的定义,不利于引导基层水土保持工作者的实地工作;某些基本概念不够准确,如“常水”非水文学专业术语,可用“基流”代替;“水圈”、“土圈”、“气圈”、“生物圈”作为计算内容名称略显不妥。

1.3.2 国外的水土保持效益评价指标体系 国际上对水土保持效益评价也有一系列研究,主要着眼于当地效益和异地效益两个方面,将所有的效益都价值化并计算综合效益。国外的分析在形式上与我国划分为调水保土效益、经济效益、社会效益和生态效益的做法不完全相同,但是两者本质是一致的。

当地效益:主要考虑水土保持对土壤性质的影响或者是对作物产量的影响,除此之外也考虑农业生产成本、牲畜产量、作物营养价值、耕地面积、土地利用价值等。

异地效益:主要考虑水土保持减少水库淤积,从而影响水力发电。Colombo 等<sup>[10]</sup>采用景观变化、地表水和地下水质量、动植物质量、创造的就业机会、项目实施范围、额外税收 6 项指标评价异地效益。

1.3.3 黄土高原水土保持效益评价指标体系 立足于黄土高原,基于效益评价指标选取原则,根据水土保持效益多年研究成果,结合相关研究,最终提出以下科学指标体系(见表 1)。本文建议的方案中,改“常水”为“基流”,舍弃“水圈生态效益”、“土圈生态效益”、“气圈生态效益”和“生物圈生态效益”这些不具体的术语,精确表达为“调蓄地表径流”、“改良土壤理化性质”、“改善近地层气候”和“促进生物繁育”;借鉴“生态系统服务功能”的研究<sup>[11-12]</sup>,在近地层气候效益增加了“净化空气”的计算;考虑到各类产品就地加工转化增值不仅与水土保持相关,还与当地的生产结构、经济政策紧密联系,为了既不与社会效益中的“农村生产结构”重复,又避免区分水土保持间接经济效益的难度,去除了“国标”间接经济效益中计算加工转化增值;同时舍弃了“促进良性循环,制止恶性循环”这种只能定性描述的指标。

## 2 效益计算与评价方法

水土保持效益计算就是衡量水土保持措施贡献的多寡。在效益计算的基础上,对治理期间自然与社会环境各因子的变化特征、变化原因的分析和解释,以及对后续治理的指导,就是水土保持效益评价。

### 2.1 效益计算方法

2.1.1 调水保土效益计算 河流泥沙是黄河的主要问题,因此受到广泛关注,调水保土效益的计算方法取得了大量研究成果,形成了较规范的研究方法<sup>[3]</sup>。

(1)水土保持分析法。简称水保法,通过观测各水土保持措施分别的调水保土作用,考虑流域水沙在汇集过程中的冲淤变化及治理期间人类活动新增的土壤侵蚀量,从而算得水土保持措施的保水保土量,并粗估水土保持对下游的减淤作用。它能直观区分各项措施对水沙变化的作用,预测水沙变化趋势。但是,尚未考虑作物秸秆覆盖等措施的影响<sup>[13]</sup>。

(2)水文分析法:简称水文法,统计分析水文站的径流量、输沙量观测资料,建立水文统计模型,分析区域调水保土量的一种方法。其原理是一个流域,如果下垫面不变,在一定的降雨条件下,将会产生一定的水量和沙量<sup>[14]</sup>。具体有经验公式法、不同时间系列对比法、双累积曲线相关法等计算方法。水文法的突出问题是只反映了综合调水保土作用,很难区分水土保持措施的拦蓄效益和其他人为活动对水沙的影响。另外,当计算期内流域同时存在治理和破坏时,这种方法有可能使实际的拦蓄效益偏小<sup>[15]</sup>。

随着水文模型和土壤侵蚀模型的发展<sup>[16-17]</sup>,不少学者将这两种模型引入调水保土效益计算,估算治理前后即无水土保持措施和有水土保持措施分别产生的水流量和沙量,两者之差就是措施的保水保土量。

2.1.2 经济效益计算 经济效益是开展水土保持的最终目的,也是调动群众积极性的物质基础。直接经济效益计算步骤如下:(1)计算单位面积措施基本建设的投入;(2)计算单位面积措施每年的净增产值;(3)计算各项措施收回基本建设投资所需的时间;(4)计算基本建设投资全部收回以后,若干年内(例如,10 年后,20 年后,30 年后)不同时段净增产值,以研究各项措施长远经济效益。间接经济效益着重把土地和劳力从不合理的利用方式中解放出来,促进整个农村经济的发展,必须严密区分水土保持与其他经济增长因素的贡献。

2.1.3 社会效益计算 社会效益主要考虑减轻自然灾害和促进社会进步,一般采用农业经济统计调查方法<sup>[3]</sup>;选取自然和社会背景条件相近、水土流失治理度不同的同尺度地域对比计算,或者分治理前后不同时期对比。其中减少沟道、河流泥沙的效益,

与调水保土效益相辅相成,往往也采用水保法和水文法计算,只是运用时还要考虑降雨影响的减沙量,并对比验证两种方法计算的结果<sup>[9]</sup>;当然利用水文模型和土壤侵蚀模型计算的也不少,谢红霞<sup>[18]</sup>运用中国土壤侵蚀方程(CSLE)对比计算了1986年和2006年延河流域的减沙量。

**2.1.4 生态效益计算** 生态效益,这里是指除调水保土效益外的其他生态效益,计算地表径流状况、土壤质量状况、近地层气象环境以及生物的变化。一般是通过点的观测结合面上调查取得治理前后不同时段的数据资料进行对比<sup>[3]</sup>。随着生态系统服务功能研究的迅速发展<sup>[11-12]</sup>，“净化空气”、“促进生物多样性”和“增加植被固碳量”这些指标的计算可参照《森林生态系统服务功能评估规范》(LY/T 1721-2008)的规定。

## 2.2 效益的评价

**2.2.1 生态与环境效益评价** 生态与环境效益评价,包括调水保土效益和生态效益的评价,目前国内多用绝对减少量和相对减少量,分析其优劣<sup>[14]</sup>。这种方法简单易行,便于推广。但是过于简单,无法分析各项效益的空间变异。依靠遥感和地理信息系统等技术手段,就可实现生态与环境效益各指标的专题制图,动态分析治理前后各指标的时空变化特征和变异趋势,分析各指标值变化的驱动力,有利于当前水土保持效益评价工作,又为进一步的治理规划方案的修编提供依据。

**2.2.2 社会经济指标对比分析** 经济效益可用价值表示;社会效益的后果是有经济效益的,可说是经济效益的一种特殊形式<sup>[19]</sup>,也用价值表示。因此,“国标”引进经济学原理进行评价分析;投入产出比和投资回收期两个指标,分别从物质质量、时间周期考虑,有利于分析水土保持措施投资的经济可行性,进一步推动水土保持事业的发展。

**2.2.3 综合指标计算与分析** 为了方便决策者和社会公众深入了解水土保持效益,亟需水保工作者和学者提供水土保持效益的综合评价。综合效益值往往根据权重综合各指标获得;加权求和、加权求积最简单,但使用较少;层次分析法、主成分分析等较为常用;此外模糊综合、灰色关联也常被采用。但是这些方法中的一些数学术语没有相应的水土保持学解释;权重的确定也存在很多主观因素,往往使得效益计算的结果各不相同。

随着生态经济学的发展,学者们考虑选择合适的价值化方法,以货币计量各项效益的价值,既易于获得综合效益,又能反映被改善的生态和社会环境

因子的稀缺性,有利于开展水土保持项目的经济核算。目前常用的价值化方法有<sup>[20-21]</sup>:旅游成本法、市场价值法、生产成本法、条件价值法、替代成本法、恢复和保护费用法。但是,迄今国内采用上述方法进行环境效益评价的研究只有个别案例<sup>[22-23]</sup>;另外就是个别的国外科研人员对我国个别地区环境改善的经济价值的评估研究。

## 3 水土保持效益评价中的尺度问题

### 3.1 水土保持的尺度效应

随着国家高速度、大规模水土保持和生态建设的发展,水土流失治理规模已进入了大面积、集中、连片治理阶段<sup>[24]</sup>,需要大量区域尺度的水土流失研究资料及其治理数据为政府对水土保持和生态环境建设等方面的宏观决策提供科学依据。传统研究集中在坡面/径流小区和小流域这两个较小尺度,而如何结合较大的区域尺度研究还有待探索,因此很大程度上限制了水土流失的空间尺度外推和区域过程分析。因此在各种技术的支撑下,将小尺度上的观测数据和模型合理地应用于大空间尺度,实现大空间尺度的土壤侵蚀定量计算,对区域水土保持效益进行分析与评价具有重要的理论与实践意义<sup>[25]</sup>。

目前,对水土流失尺度效应的认识和理解不够深入,国内的相关研究还集中在理论探讨层面<sup>[25-26]</sup>,因而水土保持效益评价尚未全面考虑尺度效应问题。Seybold<sup>[27]</sup>认为有两种途径处理空间尺度问题:(1)选取与研究尺度相适应的指标,因为尺度较小时,评价指标只有与研究尺度匹配才可以提高精度和敏感性;大尺度只有选择恰当的评价指标,数据才可能采集和分析<sup>[26]</sup>。(2)把由点尺度的指标获得的信息向更大尺度上扩展——尺度转换,目前比较成熟的方法是对单因子的探讨,如地形因子的尺度效应与变换研究<sup>[28]</sup>;综合尺度变换代表性的研究是同频率对应法,可把径流小区的调水保土系数扩展到流域<sup>[29]</sup>。

### 3.2 3S技术的运用

3S是解决尺度问题、研究大范围区域性资源、环境和生态问题的关键技术支持,运用其处理时空数据,支持时空决策,已成为大部分学者的共识。

(1)空间数据采集。借助GPS校正各种空间图像数据,提高基础数据调查的精度;利用RS技术,人机交互判读水土保持措施、土地利用类型和植被生长状况,不但迅速获取大范围地域较为准确的基础资料,还节约了人力和财力,而且多时相的遥感影像为水土保持部门动态分析各时期的水土保持效益

提供了可靠的基础资料。

(2) 数据集成与管理。利用 GIS 系统可有效地集成来源于不同渠道、不同投影和比例尺、有着不同存储格式的各种基础图表数据和 RS、GPS 提供的空间数据和属性数据;GIS 系统的空间查询和分析、制图功能,可高效管理和分析上述各种空间数据、属性数据和各类专题数据,建立不同层次、不同类型的水土保持效益数据库。

(3) 模拟计算与可视化显示。GIS 系统结合土壤侵蚀模型,可模拟无法进行室内精确试验观测的区域土壤侵蚀过程,并实现模拟参数、模拟结果可视化显示,更有效的支持水土保持规划和决策。利用 GIS 这一空间尺度转换有力的支持工具,还可以将传统小区观测数据和科学理论应用到流域,并且把流域治理经验推广到更大的区域,以至全球尺度。

## 4 结 语

几十年来,我国水土保持效益研究取得了长足的进步:(1)水土保持效益研究从一开始的计算单项治理措施的保水、保土和增产效益,发展到探索区域综合治理对减少入河泥沙、促进自然和社会环境健康可持续发展的影响,如今已成为水土保持科学体系中一项重要内容。(2)水利部组织制订并不断完善水土保持效益计算的国标,规范了效益计算和评价工作,进一步推动和鼓舞基层水保工作者和广大学者开展效益计算和评价工作。(3)水土保持各项效益的计算方法在不断进步,调水保土效益和减沙效益的计算方法基本实现规范化。

但是,仍有一些问题亟待解决:(1)随着水土保持科学和相邻学科快速发展,不断完善“效益计算和评价的国标”,建立一套适应社会经济发展、学科进步要求的量化指标体系,迫在眉睫;(2)虽然调水保土效益和减沙效益的计算和评价的认识和研究比较透彻,但是其他效益的计算和评价方法还亟待广大学者和水保工作者加大研究深度、扩宽研究广度,逐步完善水土保持效益的定量、定位分析;(3)对水土保持效益评价过程中的尺度问题认识不够深刻,亟待探索区分不同尺度水土保持效益贡献的表达方式,以便根据尺度大小,选择效益评价的指标和方法。

### 参考文献:

- [1] 李智广,李锐,杨勤科,等.小流域治理综合效益评价指标体系研究[J].水土保持通报,1998,18(7):71-75.
- [2] 孙立达,孙保平.小流域综合治理的动态监测与效益评

价研究进展[J].水土保持学报,1993,7(4):84-96.

- [3] 唐克丽.中国水土保持[M].北京:科学出版社,2004.
- [4] Meyer L D. Evolution of the universal soil loss equation[J]. Journal of Soil and Water Conservation,1984,39(2):99-104.
- [5] 杨文治,余存祖.黄土高原区域治理与评价[M].北京:科学出版社,1992.
- [6] 孟庆枚.黄土高原水土保持[M].郑州:黄河水利出版社,1996.
- [7] 张信宝.中国的农业产业化与水土保持产业化[J].中国水土保持,1997(4):6-9.
- [8] 叶延琼,张信宝,冯明义,等.水土保持效益分析与社会进步[J].水土保持学报,2003,17(2):71-73,113.
- [9] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.水土保持综合治理效益计算方法[S].北京:中国标准出版社,2008.
- [10] Colombo S, Calatrava-Requena J, Hanley N. Analysing the social benefits of soil conservation measures using stated preference methods[J]. Ecological Economics,2006,58(4):850-861.
- [11] Costanza R, Arge R, Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital [J]. Nature,1997,387:253-260.
- [12] Ko J Y, Day J W, Lane R R, et al. A comparative evaluation of money-based and energy-based cost-benefit analyses of tertiary municipal wastewater treatment using forested wetlands vs. sand filtration in Louisiana[J]. Ecological Economics,2004,49(3):331-347.
- [13] 刘万铨.黄河流域水土保持减沙效益计算几项基本原则的探讨[J].人民黄河,1996,18(12):41-44.
- [14] 冉大川,柳林旺,赵力仪,等.黄河中游河口镇至龙门区间水土保持与水沙变化[M].郑州:黄河水利出版社,2000.
- [15] 常丹东,刁鸣军,王礼先.黄河流域水土保持减水定额研究[J].中国水土保持科学,2005,3(2):57-64.
- [16] 刘昌明,李道峰,田英,等.基于 DEM 的分布式水文模型在大尺度流域应用研究[J].地理科学进展,2003,22(5):437-445.
- [17] 杨勤科,李锐,曹明明.区域土壤侵蚀定量研究的国内外进展[J].地球科学进展,2006,21(8):849-856.
- [18] 谢红霞.延河流域土壤侵蚀时空变化及水土保持环境效应评价研究[D].西安:陕西师范大学,2008.
- [19] 刘万铨.黄土高原水土保持经济效益计算中几个问题的探讨[M]//刘万铨.半世一得集.郑州:黄河水利出版社,1986.
- [20] 戴星翼,俞厚未,董梅.生态服务的价值实现[M].北京:科学出版社,2005.

(下转第 40 页)

- 治理与可持续发展的关键:四论黄土高原国土整治 28 字方针[J]. 水土保持学报, 2000, 14(1): 1-5.
- [7] 朱显谟. 试论黄土高原的生态环境与“土壤水库”:重塑黄土地的理论论据[J]. 第四纪研究, 2000, 20(6): 514-520.
- [8] 郭廷辅, 段巧甫. 水土保持径流调控理论与实践[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2004.
- [9] 吴普特, 高建恩. 黄土高原水土保持新论:基于降雨地表径流调控利用的水土保持学[M]. 郑州:黄河水利出版社, 2006.
- [10] 张光辉. 国外坡面径流分离土壤过程水动力学研究进展[J]. 水土保持学报, 2000, 14(3): 112-115.
- [11] 丁文峰, 李占斌, 丁登山, 等. 坡面细沟侵蚀产沙时空分布规律试验研究[J]. 水科学进展, 2004, 15(1): 19-23.
- [12] 吴淑芳. 高分子聚合物坡面径流调控功能研究[D]. 陕西 杨陵:西北农林科技大学, 2003.
- [13] 孙盛辉. 鱼鳞坑在治理水土保持中的应用[J]. 水利科技与经济, 2005, 11(9): 570-579.
- [14] 吴淑芳, 冯浩, 吴普特. 坡面喷施高分子化合物集流效率的试验研究[J]. 水土保持学报, 2005, 19(1): 11-17.
- [15] 吴发启, 张玉斌, 王健. 黄土高原水平梯田的蓄水保土效益分析[J]. 水土保持学报, 2004, 2(1): 34-37.
- [16] 梁占岐, 崔巍, 董志宏. 草地小流域治理水平沟适宜间距初探[J]. 水土保持研究, 2007, 14(2): 50-52.
- [17] 李小雁, 张瑞玲. 旱作农田沟垄微型集雨结合覆盖玉米种植试验研究[J]. 水土保持学报, 2005, 19(2): 45-48.
- [18] 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.
- [19] 张胜利, 于一鸣. 水土保持减水减沙效益计算方法[M]. 北京:中国环境科学出版社, 1994.
- [20] 刘立斌, 刘斌, 康玲玲. 水土保持综合措施拦沙的复合效应[J]. 水力发电, 2008, 34(11): 10-18.
- [21] 高建恩. 地表径流调控与模拟试验研究[D]. 陕西 杨陵:西北农林科技大学, 2005.
- [22] 赵鸿雁, 吴钦孝, 刘国彬. 黄土高原森林植被水土保持机理研究[J]. 林业科学, 2001, 12(4): 14-21.
- [23] 刘定辉, 赵燮京, 曹均城, 等. 紫色丘陵区蕨草植物篱的减流减沙效应及其机理[J]. 西南农业学报, 2007, 20(3): 439-443.
- [24] 据彤军, 刘普灵, 徐学选, 等. 不同次降雨条件对黄土区主要地类水沙动态过程的影响及其机理研究[J]. 泥沙研究, 2007(4): 14-24.
- [25] 吴淑芳. 坡面径流调控水沙效应及其机理研究[D]. 陕西 杨陵:西北农林科技大学, 2006.
- [26] 胡振华, 王治国, 焦晓光. 黄土残塬区坡耕地小麦休闲期土壤侵蚀控制研究[J]. 水土保持学报, 2001, 15(6): 29-32.
- [27] Gilley J E, Kittwitz E R, Simanton J R. Hydraulic characteristics of rills [J]. Trans. of the ASAE, 1990. 33:1900-1906.
- [28] Nearing M A. A probabilistic model of soil detachment by shallow turbulent flow [J]. Trans of the ASAE, 1991, 34(1): 81-85.
- [29] 郑粉丽, 唐克丽, 周佩华. 坡耕地细沟侵蚀的发生、发展及其防治途径[J]. 水土保持学报, 1987, 1(1): 36-48.
- [30] 吴普特. 动力水蚀试验研究[M]. 西安:陕西科学技术出版社, 1997.
- [31] 吴普特. 黄土坡地径流冲刷与土壤抗冲动态响应过程研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1998, 4(2): 92-93.
- [32] 张光辉. 坡面薄层流水动力学特性的实验研究[J]. 水科学进展, 2002, 13(3): 159-165.
- [33] 李鹏, 李占斌, 郑良勇, 等. 坡面径流侵蚀产沙动力机制比较研究[J]. 水土保持学报, 2005, 19(3): 66-69.

(上接第 36 页)

- [21] Ko Jae-Young. The Economic Value of Ecosystem Services Provided by the Galveston Bay/ Estuary System Galveston, Texas[Z]. Dept. of Marine Sciences & Center for Texas Beaches and Shores, 2007.
- [22] 肖寒, 欧阳志云, 赵景柱, 等. 海南岛生态系统水土保持空间分布特征及生态经济价值评估[J]. 生态学报, 2000, 20(4): 552-558.
- [23] 张彩霞, 谢高地, 杨勤科, 等. 黄土丘陵区土壤保持服务价值动态变化及评价:以纸坊沟流域为例(英文)[J]. 自然资源学报, 2008, 23, (6): 1035-1043.
- [24] 李锐, 杨勤科, 吴普特, 等. 中国水土保持科技发展战略思考[J]. 中国水土保持科学, 2003, 1(3): 5-9.
- [25] 倪九派, 魏朝富, 谢德体. 土壤侵蚀定量评价的空间尺度效应[J]. 生态学报, 2005, 25(8): 2061-2067.
- [26] 王飞, 李锐, 杨勤科, 等. 水土流失研究中尺度效应及其机理分析[J]. 水土保持学报, 2003, 17(2): 167-169, 180.
- [27] Seybold C A, Mausbach M J, Karlen D L. Quantification of soil quality[C]//Lal R, Kimble J M, Follett R F, et al. Soil Processes and the Carbon Cycle. Washington D C: CRC Press, 1997.
- [28] Yang Q, Jupp D, Li R, et al. Re-scaling lower resolution slope by histogram matching[C]// Zhou Q, Lees B G, Tang G A. Advances in Digital Terrain Analysis (Lecture Notes in Geoinformation and Cartography), 2008.
- [29] 冉大川. 黄河中游水土保持措施的减水减沙作用研究[J]. 资源科学, 2006, 28, (1): 93-100.