

水土保持措施适宜性评价的理论与方法初探

张玉斌^{1,2}, 王昱程², 郭晋²

(1. 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; 2. 吉林大学 植物科学学院, 长春 130062)

摘要:在系统总结国内外水土保持措施适宜性研究成果的基础上,深入分析了水土保持措施适宜性评价的现实需求、理论发展与不足之处;基于水土保持学、土壤学、生态学、土地利用学和经济学等方面的理论与实践,提出了水土保持措施适宜性评价理论内涵、评价体系与方法、评价过程和 workflows;并建议在以小流域为单元的基础上,结合实际加强不同类型区、多尺度水土保持措施适宜性特征、评价指标的研究。

关键词:水土保持措施;适宜性;评价体系

中图分类号:S157

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2014)01-0047-09

DOI:10.13869/j.cnki.rswc.2014.01.010

Primary Investigation on the Theory and Method of the Suitability Assessment on the Soil and Water Conservation Measures

ZHANG Yu-bin^{1,2}, WANG Yu-cheng², GUO Jin²

(1. 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; 2. College of Plant Science, Jilin University, Changchun 130062, China)

Abstract: The practical demands, theory development and shortages in the field of the suitability of soil and water conservation measures were analyzed based on the summary of pertinent literatures. According to the theory and practice of the science of soil and water conservation, soil science, ecology, land use and economics, the intension, assessment system, method and process were put forward in this study. It was suggested that the characteristic and indicator to evaluate the suitability of soil and water conservation measures should be strengthened in the different regionalization and multi-scale by taking small watershed as a unit.

Key words: soil and water conservation measures; suitability; evaluation system

众所周知,水土保持是中国的一项基本国策,以有效防治水土流失、改善农业生产条件和生态环境为主要目的,综合了工程、林草(生物)和农业技术三大措施,统筹了经济、生态和社会三大效益,是山丘区新农村建设的基础工程,是中国生态建设的主要内容。

水土保持措施是实施水土保持的各项技术措施^[1],是指在水土流失区,为防治水土流失,保护、改良和合理利用水土资源而采用的农业技术措施、林草(生物)措施、工程措施的总称^[2]。中国水土保持发端于约 3 000 多年前的西周初期(公元前 16—11 世纪),并对世界水土流失治理与水土保持工作有重要贡献,当今世界上有关水土保持的理论和实践,多为中国历史成就的延续和发展^[3-4]。特别是建国以来,

经过 60 多年的努力,中国水土流失治理和水土保持工作取得了显著成就^[4-14];但与水土流失治理成就相比,在当前水土保持科技事业遇到了前所未有的发展机遇的同时,由于缺乏强有力的理论支持和科学依据,水土保持措施的实施与推广受到了很大限制并体现出了一定的局限性,导致中国土壤侵蚀与水土保持理论研究明显滞后于水土保持实践,水土保持科技发展面临严峻挑战,一些诸如水土保持可持续发展指标体系、水土保持措施效益评价与综合配置、大尺度水土流失与水土保持的格局与规律、水土流失与水土保持环境效应评价理论与调控机理等一系列重大问题与关键技术亟待加强研究^[7,9,15-17]。而水土保持措施适宜性评价是科学和优化实施水土保持措施的

收稿日期:2013-01-21

修回日期:2013-07-08

资助项目:黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室基金项目(10501-1210);公益性行业(气象)科研专项(GYHY201206018-05);十二五农村领域国家科技计划课题(2011BAD16B10-3,2012BAD04B02-3)

作者简介:张玉斌(1977—),男,山东莒南人,讲师,博士,主要研究方向:土壤侵蚀与水土环境效应。E-mail: ybzhang@jlu.edu.cn

基础与核心,关系到水土流失的有效防治及水土保持建设成功与否,但目前进行水土保持措施适宜性评价的研究较少,尚未形成系统的水土保持措施适宜性评价理论与方法。

本文拟在综合分析国内外小流域综合治理、水土保持措施效益评价和适宜性方面研究成果的基础上,借鉴水土保持效益评价、土壤资源调查与评价、土地评价、生态学评价及土壤质量评价等方面的理论与成果,抛砖引玉,提出水土保持措施适宜性评价的理论、评价体系和方法,以期为中国水土流失综合治理的可持续发展提供一定的科学决策依据。

1 研究现状

1.1 现实需求

据水利部统计^[18],截至 2009 年底,中国累计完成水土流失综合治理面积 104.54 万 km²,其中小流域综合治理面积累计达到 41.14 万 km²;据中国第一次、第二次和第三次土壤侵蚀遥感普查数据^[19-20],虽然中国水土流失总面积在减少,但变化不大,其中水蚀面积与强度呈下降趋势,而风蚀面积与强度则呈增加趋势;且中国水土流失依旧呈现出总体格局不变、总体减少但严重地区相对集中、流失超过容流失量、人为新增水土流失增加(开发建设项目与城市水土流失等)、部分地区防治水土流失的措施配置不当、大量水土流失严重的坡耕地未得到有效治理等特点^[12-13,19,21];与此同时,由于中国幅员辽阔、经纬度跨越大、地域分异性大及各地水土保持政策和投入不同及部分地区防治水土流失的措施配置不当等原因^[12-13,22],导致水土保持对生态环境的修复效果存在差异,出现一些不适宜措施,甚至出现了反弹,如南方红壤区由马尾松构成的纯林,由于林下缺少灌木或草本植被覆盖,土壤表面裸露,保持水土能力很弱,林下水土流失严重^[17],黄土高原地区的“小老树”与“土壤干层”问题^[23-24],以及水土保持后期治理缺失,导致小流域治理效益不能正常发挥作用^[25]等问题。因此,正确评价一个小流域或区域等尺度水土流失综合治理的效益,建立科学合理的评价指标体系显得尤为重要,是因地制宜开展水土保持措施进行生态修复的关键。

现实需求要求我们在进行水土流失治理时,应针对小流域、区域、分区等多尺度的生态环境条件进行适宜性分析与评价,制订相应的、具体的水土保持措施,可在进行水土流失防治的同时,以生态效益为核心,建设兼顾社会效益和经济效益的生态系统,最终达到建立水土保持措施与社会、经济可持续发展相协调并良性发展的水土保持措施适宜性理论及评价体

系。同时,开展水土保持措施适宜性评价的理论与方法研究也符合中国水土保持科技发展需求^[26];中国水土保持工作由 1950s 至今,经历了 5 个不同发展阶段,水土保持政策在 21 世纪初,结合社会主义“生态文明建设”建设,对水土流失治理方针由“防治并重”改变为“预防为主”(《中华人民共和国水土保持法》,第 1 章第 3 条,2011)^[4,27];虽然各个水土保持工作的侧重点不同,但均在不同程度上强调以“为建设服务(即生态、经济、社会效益兼顾)、综合防治和因地制宜”为方针。由此可知,水土保持措施的适宜始终贯穿于中国水土保持工作中,进行水土保持措施适宜性评价研究也是现阶段建设社会主义“生态文明”和中国水土保持科技发展的需求。

1.2 评价发展与现状

1.2.1 理论发展 国内首先注意到并付诸于实践的水土保持措施的适宜性研究的是朱显谟院士,他积 60 余年黄土高原土壤侵蚀规律与水土保持、国土整治等科学研究成果并结合群众的实践经验,在 20 世纪 80 年代初所提出的黄土高原国土整治“28 字方略”[(全部降水就地入渗拦蓄(水用之则利,弃之则害),米粮下川上塬(含三田和一切平地),林果下沟上岔(含四旁绿化和名特产品基地建设),草灌上坡下抓(含一切侵蚀劣地)]是一个将科学、技术和工程联系在一起,生态效益、经济效益和社会效益并重的整治黄土高原全域的方略,对方略实施的必要性、可靠性及研究内容进行了全面论证,且得到了实践验证^[28-34]。该方略对黄土高原的水土流失治理和水土保持工作具有重要的指导意义,并对现实效益产生了深远的影响^[27,35]。在具体的实践中总结了长期以来治理水土流失的经验和教训,演绎出黄土高原小流域综合治理经验,即按照水土流失的特点和规律,因地制宜,因害设防,采取工程措施、植物措施和农业技术措施相结合,山水田林路综合治理,合理利用水土资源,优化农、林、牧结构,形成以小流域为单元的综合防治体系^[35];提出水土保持型生态农业建设可以分为生态系统起始恢复、稳定发展和良性循环阶段 3 个阶段^[27];提出“治理与预防并重,除害与兴利结合;工程措施与植物措施并重,乔灌结合,草灌先行;坡沟兼栽,因地制宜;以小流域为单元,统一规划,分期实施,综合治理,集中治理,连续治理”等小流域水土流失综合治理方针和指导思想^[4,27]。

许炯心^[36-37]通过对黄土高原生态环境建设中退耕还林还草治理前景、重点治理区选择问题、林草与沟壑治理相结合等若干问题与研究需求的深入分析,提出了水土保持有效性概念,并对包括水土保持措施

的适宜性、保存率等水土保持有效性影响因素、内涵与评价以及实现途径等各方面进行了较系统的研究和论述。这是国内首先明确提出水土保持措施的适宜性方面的概念,但未对如何进行水土保持措施适宜性的评价进行深入研究与分析。刘刚才等^[38-39]和代富强等^[40-41]基于生态足迹和因子分析等方法针对紫色丘陵区的小流域水土保持措施的适宜性评价进行了初步研究,基于“求一供”和“产一望”分析,提出了“双套对偶评价指标体系”及“双套对偶评价指标差值最小法”等评价方法,为水土保持措施的适宜性评价提供了新的思路和方法。

1.2.2 评价现状 虽然近几十年来对水土保持措施适宜性方面的研究受到了重视,但与此直接相关的研究报道较少,多数是一些间接研究。目前,国内外关于水土保持措施的适宜性评价间接相关的研究主要集中于水土保持措施效应的单个因素(如坡度等)适宜性分析^[42-43]、措施间的比较^[44-45]、保护性耕作^[46]、综合效益估算与评价方法^[47-53]、水土保持措施的采纳程度^[54-56]和保存率^[57-58]、水土保持措施的优化配置^[59-67]、以及利用生态自然修复的适宜性^[21,68],来间接探讨水土保持措施的适应性;而与其直接相关的研究报道主要集中在近 5 a 时间内,如刘刚才等^[38-39]和代富强等^[40-41]基于“求一供”和“产一望”分析,利用生态足迹和因子分析等方法针对紫色丘陵区的小流域水土保持措施的适宜性评价进行了初步研究。

2 评价理论

2.1 基本内涵

2.1.1 水土保持措施的适宜性特性分析 许炯心^[37]于 2001 年将水土保持措施的适宜性定义为:水土保持措施的适宜性,是指某种水土保持措施是否适宜于当地的地理条件。是水土保持措施规划布局遵循因地制宜的基本原则之一,也是影响水土保持有效性的因素之一。

根据《土壤资源调查与评价》^[69]及《土壤调查与制图》^[70]中关于土壤适宜性的定义:是指一定土壤类型与规定用途(利用方式)的和谐度(适宜程度);其适宜性高低,既受土壤自然属性的影响,也受社会经济条件的制约。其将土地适宜性定义为一定土地类型对某种指定用途的适合程度。

《土地资源学》^[71]与《土地资源调查与评价》^[72]将土地适宜性规定为土壤适宜类,是指在土地潜力区的范围内依据土地对农、林、牧业生产的适宜性划分,其核心为反映土地适宜程度和生产潜力高低的土地质量,在土地质量指标体系中土壤质量是其重要组成部分。

由此可知,水土保持措施的适宜性既具有土壤适宜性特征,也含有土地适宜性特征;因水土保持措施的多样性和综合性,其适宜性应较土壤适宜性和土地适宜性的内涵更广。综上,水土保持的适宜性是以生态效益(对地理条件的适宜与否)为核心,因水土保持措施的实施同时应具备生态、经济和社会功能,故其适宜性还应兼具经济和社会适宜性方面的性质。因此,水土保持措施的适宜性可定义为:某种(单一)或某些(综合)水土保持措施是否适宜于当地地理条件(生态效益)和满足当地人民需求(经济和社会效益),以水土保持措施的生态效益适宜性(土壤/土地质量)为核心,比较土壤/土地质量与需求、投产效益,为评价决策提供依据。

2.1.2 水土保持措施适宜性评价分析 代富强和刘刚才^[40]于 2011 年将水土保持措施适宜性评价的概念解释为:是指为了选择适宜性的水土保持措施,实现防治水土流失和促进农村社会经济的目的,通过建立科学合理的评价指标体系,用科学的方法对不同措施在某一特定区域的适宜程度进行的综合评价的过程。其包括水土保持措施对区域各种条件的要求和区域内人们对水土保持措施产出效益的期望两个方面。

《土壤资源调查与评价》^[69]及《土壤调查与制图》^[70]认为土壤适宜性的评价是属于土壤资源评价的范畴,其实质是分析土壤质量与土壤用途之间的关系;具体是指根据其评价目的和土壤利用要求,包括土壤适宜性评价(含土壤自然特性和社会经济条件分析)和土壤自然适宜性评价(着重考虑土壤质量)。通常情况下,土壤适宜性评价侧重于土壤自然适宜性评价,即土壤自然特性或土壤质量与土地利用要求的匹配程度。故土壤适宜性评价的定义为:是以特定土壤利用为目的,评价土壤适宜性的过程。以土壤适宜程度和限制性强度为主要的的评价依据。土壤质量评价是土壤适宜性评价的基础,土壤用途与土壤质量的匹配是土壤适宜性评价的核心。其关于土宜的定义为:是指土壤剖面性状及其理化性质和局部生态环境条件对某些作物、果树和经济植物经济性状的适宜程度;亦即土壤在生产上表现出对某些栽培作物的经济性状的适宜状况。土宜不同于土壤适宜性,土壤适宜性范围较广,包括了土宜的内容。土宜是从作物的角度出发,以作物的经济性状为主体,讨论对土壤及其环境的要求;而土壤适宜性则是从土壤资源的角度,以土壤资源的特定用途为主体,包括宜农、宜林、宜灌溉等不同用途,讨论对某种利用方式或作物的适宜程度。

据《土地资源学》^[71]与《土地资源调查与评价》^[72]中对土地评价的概念:是指针对利用目的,对土地的

改善进行质量鉴定和数量统计。包括适宜性(有利)和限制性(不利)正反两个方面。因评价目标不同,可分为多目的评价和单目的评价;依据评价成果,又分为定性评价、定量自然评价和经济评价;而依评价时间,分为当前适宜性评价和潜在适宜性评价;若依目的进行分类,则包括土地自然适宜性评价、生产潜力评价和经济评价等。以上评价都要重点考虑土地质量评价,土地质量评价是其他土地评价的重要组成部分。

水土保持措施的适宜性评价实质是土地利用方式(不同水土保持措施)的适宜性评价,兼顾土壤适宜性的评价和土地适宜性评价,建立系统科学的评价体系,以土壤适宜性评价(土壤质量)为核心,开展自然性适宜性评价、生产潜力评价和经济及社会评价,用科学的方法对不同措施在某一特定区域的适宜程度进行的综合评价的过程,以促进水土保持措施的发挥和持续作用。

3 评价体系与方法

水土保持措施的适宜与否不仅仅是生态效益问题,同时也是经济和社会问题,但也不应过于强调经济效益^[53],应将经济效益、社会效益同生态效益结合起来,把水土保持与社会经济发展作为一个整体,以区域生态经济为指导,服从生态规律,以生态效益为主,实行全面规划,实现生态经济协调持续发展^[4,26]。因此,水土保持措施的适宜性评价体系至少应由生态效益评价、经济效益评价、社会效益评价 3 个方面组成。

3.1 评价目的与原则

根据水土保持措施适宜性评价的内涵,该评价的目的是为水土流失区水土流失治理开发顺利进展、可持续发展和科学管理服务的,为水土流失分区防治、水土保持总体布局、水土保持措施优化配置与布局调整、实施生态修复战略和生态环境建设规划等提供科学依据。

水土保持措施适宜性评价同样应遵循土壤质量评价原则、土壤适宜性评价原则、土地评价原则、土地质量评价以及土地适宜性评价原则,对适宜性做出客观评价,增强评价成果的科学性和实用性。总体包括一般性原则和具体原则两类,即:针对性原则、差异性原则、限制性原则、比较原则、区域性原则、持续利用原则、因地制宜原则、综合性与系统性原则、主导性原则、科学性与可操作性原则、典型性原则、生产性原则和利益共享原则等。

3.2 评价依据

土壤调查成果与土地利用现状调查成果是进行水土保持措施适宜性评价的重要依据;土壤质量,特

别是土壤肥力状况,是一项重要的综合指标;诸自然因素及其综合状态将影响到水土保持措施的适宜性,是不可缺少的内容;社会经济统计资料及其他有关资料,是不可缺少的重要数据。

3.3 评价分类体系

借鉴并参考 FAO《土壤评价纲要》、土地适宜性评价体系及其土地质量指标体系、美国农业部土壤保持局的土地潜力分类系统、世界银行的土地质量指标体系、《中国 1:100 000 0 土地资源图》土地评价体系、流域综合治理评价等^[69-75]评价方法和指标,在研究区选择具有代表性的典型小流域、典型措施、典型农户和典型地块进行研究,可将水土保持措施的适宜性评价按三级分类法表示,即适宜性纲、适宜性类和适宜性等三级系统。

适宜性纲:包括适宜纲和不适宜纲。适宜纲,表示预期考虑的水土保持措施能够减水减沙、蓄水积土,持续利用所产生的效益可补偿投入,而对土壤资源不产生不合适的破坏危险;不适宜纲,表示预期考虑的水土保持措施不能够减水减沙、蓄水保土,且不能够持续利用,或该措施不能产生足以补偿投入的收益,甚至有破坏土壤资源的危险。

适宜性类:以土壤质量为核心,包括土壤肥力质量、环境质量和健康质量 3 个方面^[69-70,74],重点关注土壤肥力质量,反映现阶段土壤对各种水土保持措施的类型适宜程度和土壤质量,根据适宜性和限制性因素及各因素评级,按水土保持措施类型,分为宜工程措施类、宜农业技术措施类、宜生物(林草)措施类 3 类。

适宜性等:以社会经济统计资料及其他有关资料为评价依据,通过一系列经济指标和经济度量进行评价,即对水土保持措施进行投入和产出分析,比较不同水土保持措施的投入和收益,决定其适宜性等级。其实质在于土地经济评价,在评价过程中,从土地经济属性出发,通过一系列的经济指标和经济度量,比较不同水土保持措施对同一土地的适宜性,或比较不同土地利用类型对同一水土保持措施的适宜性;并分析水土保持措施的经济可行性、生态合理性。以水土保持措施的经济效果为标准,划分为优(高度适宜类)、良(中等适宜类)、中(临界或勉强适宜类)、差(当前不适宜类)、劣(永久不适宜类)五等。

3.4 评价指标体系与方法

依据水土保持措施的适宜性评价目的与原则,建议采用多层次续分的评价体系。该体系是大范围评价中常用的方法,其特点是地域范围从大到小、效应从宏观到微观、指标从综合到单一,逐步深入的分级评价方法。鉴于中国水土流失治理是以小流域治理为核心单元,所以水土保持措施适宜性评价亦应以小

流域为核心评价单元,在此基础上应用于其他尺度评价;评价指标体系总体上应具有一定的国家标准性,应尽可能与现有的国家相关标准(GB/T 15774-2008)^[76]吻合,构建的评价指标体系和采用的评价方法应能较为全面地反映水土保持的综合效益,具有一定的区域适宜性与借鉴意义^[77]。其中,适宜性纲的评价指标应含水土保持措施的调水保土效益(GB/T

15774-2008)^[76],调水保土效益是水土保持生态效益、经济效益和社会效益的基础。具体指标为侵蚀模数 $[t/(km^2 \cdot a)]$ 、减水减沙效益(%),其监测与计算方法有点位监测、核素示踪法、小区法、水文法和水保法等^[4,77],可通过比较侵蚀模数、减水减沙效益对不同水土保持措施的调水保土效益进行评价,确定水土保持措施的适宜性纲,具体如表 1 所示。

表 1 水土保持措施适宜性评价适宜性纲评价指标与方法

等级	指标	监测、计算方法	评价方法
适宜性纲	适宜纲(S)	点位监测、核素示踪法、小区法、典型措施、典型小流域 ^[4,73-74] ;GB/T 15774-2008 ^[74] ,水文法和水保法 ^[73-75] 等	对比法 ^[75-78] 水土保持分析法 ^[75,79] 水文分析法 ^[75,79]
	不适宜纲(N)		
	侵蚀模数 $[t \cdot km^{-2} \cdot a^{-1}]$		
	减水减沙效益/%		

适宜性类的评价以土壤质量为核心,评价水土保持措施的生态效益,重点评价土壤肥力质量,兼顾土壤环境质量和土壤健康质量。具体指标如表 2 所示,包括土壤肥力质量指标(土壤物理、化学和生物学性质)、土壤环境质量指标、土壤健康质量指标及相关要素^[74]。土壤质量在不同时间和空间尺度下具有不同的表现,评价土壤质量必须确定合适的时间和空间尺度,若进行大尺度评价还应包括气候(降水量、湿润度、年均温度、积温、无霜期、日照时间、灾害性天气等)、地质地貌(地貌类型、岩石组成、母岩裸露状况、海拔高度、地形部位、坡度、地表形态特征等)、水文(水源保证率、地下

水埋深、排水能力、沼泽化程度、洪涝灾害等)和植被(植被组成或类型、面积、覆盖率、产草量、草质等)等要素。在进行土壤质量评价时,可根据时空要求将土壤质量区分为“短期的、动态的”和“长期的、静态的”,通过点位尺度和小区尺度理解土壤质量,在地块或坡面尺度、流域尺度、区域和分区尺度上监测土壤质量,比较并评价不同水土保持措施的生态效益。评价方法有田间描述评价(USDA-NRCS)^[74]、分等定级评价^[73,79]、环境指数评价模型(Nemero 公式)^[81]、系统评价方法—土壤质量指数^[82-83]、区域土壤质量空间变异的地理统计学评价^[84]等。

表 2 水土保持措施适宜性评价适宜性类评价指标与方法

等级	指标	计算、分析方法	评价方法
适宜性类	土壤物理指标:质地(以黏粒含量为代表)、土层厚度、根系深度、容重、渗透率、团聚体稳定性、田间持水量、土壤持水特征、土壤含水量、土壤温度、土壤通气性等	GB/T 15774-2008 ^[76] 土壤农化分析 ^[85] 土壤调查实验室分析方法 ^[86] 土壤理化分析与剖面描述 ^[87] 土壤与环境微生物研究法 ^[88] 环境监测 ^[89] 陆地生态系统土壤观测规范 ^[90] 土壤物理研究法 ^[91] 典型措施 ^[4] 典型小流域 ^[4]	田间描述评价(USDA-NRCS) ^[74] 、分等定级评价 ^[73,80] 、环境指数评价模型(Nemero 公式) ^[81] 、系统评价方法—土壤质量指数 ^[82-83] 、区域土壤质量空间变异的地理统计学评价 ^[87] 等
	土壤肥力质量指标		
	土壤化学指标:有机质、全氮、pH、CEC、电导率、离子饱和度和可提取的 N、P、K 以及必需微量元素如 Zn、B 等		
	土壤生物指标:微生物量碳和氮、潜在可矿化氮、土壤呼吸量、总有机碳、土壤呼吸碳、土壤动物的丰富度和多样性指数		
	土壤环境质量指标		
	土壤环境和氮的储量及向大气的释放、土壤磷和氮的储量及向水体的释放等		
	土壤健康质量指标		
	重金属元素全量和有效性、有机污染物包括农药的残留量、人和动物所需大量元素(如 Ca)和微量元素(如 F、I、Se 等)		
	其他要素		
	气候、地质地貌、水文和植被等要素		

适宜性等的评价从土地经济属性出发,以人类需求为目的,通过一系列的经济指标和经济度量,对水土保持措施的经济效益和社会效益进行评价。经济效益有直接经济效益指标和间接经济效益指标两类,其中,直接经济效益是指实施水土保持措施土地上新增的植物产品(未经任何加工转化)产量与产值;间接经济效益是指在直接经济效益的基础上,经过加工转

化,进一步产生的经济效益^[4,76,92-93]。获取上述效益值需选择具有代表性的小流域、地块、农户进行监测;较大尺度的效益监测则需选择优、中、差三类小流域,并在各类小流域中选择优、中、差三类地块和农户,以求得样本的合理代表性。在监测的基础上,还应通过地方政府统计部门的有关资料加以验证。社会效益包括减轻自然灾害、促进社会进步两个方面^[4,76,92-93]。经

经济效益和社会效益的具体指标如表 3 所示。经济效益指标的计算。评价方法有比较分析法、回归分析法、专家打分法、加权平均法和经济计量模型等^[75-76, 92-93]。

表 3 水土保持措施适宜性评价适宜性等评价指标与方法

等级	指标	计算方法	评价方法
适宜性等 优(高度适宜) 良(中等适宜) 中(临界或勉强适宜) 差(当前不适宜) 劣(永久不适宜)	直接经济效益	单位面积年增产量、年毛增产值、年净增产值、有效面积、累计有效面积、累计增产量、累计增产值、人均收入增长率、产投比、回收年限(投资回收期)、土地利用率、土地生产率、劳动生产率、单位投资综合效益额、单位投资效益年平均额、单位投资减少土壤侵蚀量、流域治理程度、年治理率、林草覆盖面积增长率等	GB/T 15774—2008 ^[76] 中国水土保持 ^[4] 水土保持经济学 ^[92] 水土保持措施减水减沙效益计算方法 ^[78] 典型措施 ^[4] 典型小流域 ^[4]
	间接经济效益	节约的土地面积、节约的劳工、工程的水资源增值、土地资源增值等	
	社会效益	减轻自然灾害的指标:保护土地免遭水土流失破坏的年均面积、减轻洪水危害的经济损失、减少沟道和河流泥沙、保护现有不被沙化的面积、改造原有沙地为农林牧生产用地的效益、保护生产与交通等效益、抗旱增产作用、减轻滑坡和泥石流危害的效益、减轻面源污染的效益	
	促进社会进步的指标:提高土地生产率、提高劳动生产率、改善土地利用结构与农村生产结构、促进群众脱贫致富奔小康、提高环境容量及其他反映群众生活水平变化的情况等		

3.5 评价过程和工作流程

结合土壤资源调查与评价过程^[69-70]、土地资源评价工作流程^[71-72],水土保持措施的适宜性评价应分为 3 个主要阶段,即准备阶段、调查和分析阶段、成果整理阶段,可通过分阶段法和平等法等途径完成。具体为综合分析待评区域的自然条件、人类需要和社会经济条件,提出水土保持措施的主要类型;在研究区选

择具有代表性的典型小流域、典型措施、典型农户和典型地块;分析水土保持措施类型对土壤、土地和环境条件的要求及其响应;通过综合调查,得到土壤/土地质量与特征并进行比较分析;进行经济效益和投入产出分析以及社会效益核算,确定水土保持措施的适宜性程度和等级,提出水土流失治理与管理措施,对水土保持措施优化配置给出建议(图 1)。

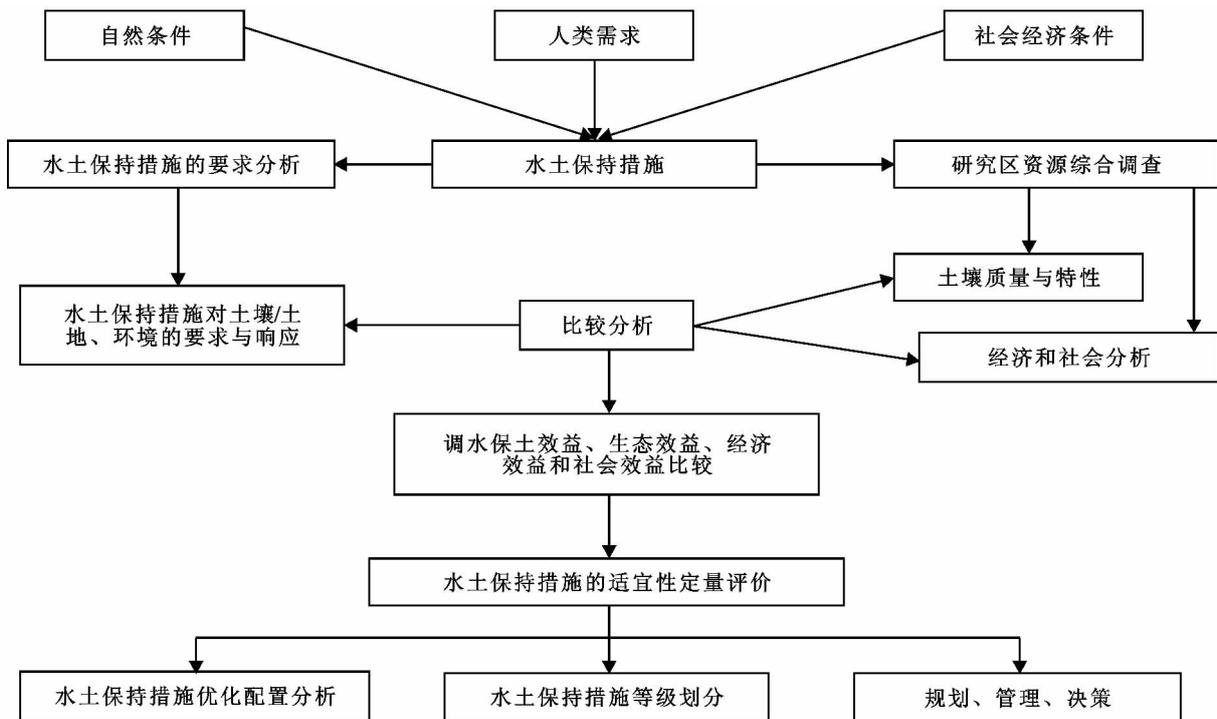


图 1 水土保持措施适宜性评价过程

3.5.1 确定评价范围,准备工作 确定评价的范围 影像等图件资料,组织评价队伍,进行实地考察,制定评价计划,确定分析项目与分析方法、评价方法,这一

阶段的工作质量是决定评价的基础。

3.5.2 选择典型小流域,指定水土保持措施,开展野外工作 这是整个评价工作的前提,全部评价工作将在指定的水土保持措施下进行。在这一阶段,在较小尺度范围内选择具有代表性的小流域、地块、农户进行监测;在较大尺度的范围选择优、中、差三类典型小流域进行监测;并开展土壤、地形、植被和气候等自然要素的基础调查,同时搜集确定水土保持措施适宜性时可能用到的一切信息,包括环境资源、经济资源、社会资源等信息,采集并组织化验分析样品,对分析结果进行统计分析。

3.5.3 成果整理阶段,确定水土保持措施的适宜性分类 这一阶段主要通过对前阶段的结果进行分析与评价,确定评价因子和指标,对土壤质量进行分等定级,比较土壤质量与可能适合的各类水土保持措施的要求和限制,统计分析、核算并评价水土保持措施的生态效益、经济效益和社会效益,确定水土保持措施的适宜性分类,为多尺度水土保持措施的调整利用提供可能性选择,然后提交包括报告和图件等成果,为坡面、小流域、分区等尺度水土流失治理提供规划、管理和决策依据。

4 结论与建议

水土保持措施是实施水土流失治理的根本,水土保持措施在以小流域为水土流失基本治理单元的过程中,逐步发展并完善,为中国水土流失综合治理发挥了不可替代的重要作用。但在新时期,为能顺利实施保护优先、分区防治、项目带动、生态修复和科技支撑五大战略的水土保持工作,并针对当前水土保持工作中面临的诸如中国土壤侵蚀与水土保持理论研究明显滞后于水土保持实践等一系列问题与挑战,本文根据水土保持工作的特点,在总结前人研究的基础上,结合水土保持学、土壤学、生态学、土地利用学 and 经济学等方面的理论和实践,进一步提出了水土保持措施适宜性评价的框架,系统总结了水土保持措施适宜性评价分类体系、评价体系与方法及评价流程,以期充分发挥水土流失综合治理中的水土保持措施的功能,且对全面评价估算水土保持措施在多尺度生态系统中的服务功能价值方面的进一步研究起到抛砖引玉的作用。

与水土流失治理成就相比,中国水土保持理论研究明显滞后于水土保持实践,建议今后应与中国水土保持监测网络有机结合,系统研究中长期、多尺度水土保持措施的相互作用和影响,阐明小流域生态系统中水土保持措施的作用机理;重点关注不同类型区水

土保持措施特征及其土壤适宜性和区域适宜性、小流域水土保持措施集成配置方式对生态环境、社会效益和经济效益的影响,提出并建立水土保持措施适宜性评价理论与指标体系,为水土流失调控措施的科学选择与配置提供理论依据。

水土保持措施的适宜性评价中涉及到大量的指标与参数,如调水保土效益参数、土壤质量指标与因子、经济指标和社会指标等,这些指标与参数中有些尚不成熟且获取较为困难,会影响评价结果的可信性;因此,今后除需要对水土保持措施适宜性评价的理论进行进一步研究外,还应结合实际加强对有关指标和参数的研究;在评价结果的基础上,对水土保持措施的优化配置给出建议,多方面加大其应用与推广力度,使水土流失从源头上得到根治,更好地推动生态文明建设。

参考文献:

- [1] 土壤学名词审定委员会. 土壤学名词[M]. 北京:科学出版社,1999:102.
- [2] 王礼先. 中国水利百科全书:水土保持分册[M]. 北京:中国水利水电出版社,2004:101.
- [3] 王越. 我国水土保持的历史沿革与发展对策[J]. 中国水土保持,2001(11):5-7.
- [4] 唐克丽. 中国水土保持[M]. 北京:科学出版社,2004:387-409.
- [5] 陈雷. 中国的水土保持[J]. 中国水土保持,2002(7):4-6.
- [6] 郭廷辅. 我国水土保持工作现状、问题和对策[J]. 地理研究,1995,14(4):1-7.
- [7] 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.
- [8] 刘震. 我国水土保持的目的与任务[J]. 中国水土保持科学,2003,1(4):1-5.
- [9] 王礼先,张有实,李锐,等. 关于我国水土保持科学技术的重点研究领域[J]. 中国水土保持科学,2005,3(1):1-6.
- [10] 刘震. 水土保持 60 年:成就·经验·发展对策[J]. 中国水土保持科学,2009,7(4):1-6.
- [11] 李锐,上官周平,刘宝元. 近 60 年我国土壤侵蚀科学研究进展[J]. 中国水土保持科学,2009,7(5):1-6.
- [12] 孙鸿烈. 我国水土流失问题与防治对策:十一届全国人大常委会专题讲座第十八讲讲稿[EB/OL]. 北京:中国人大网,2010 年 10 月 29 日[2012 年 9 月 6 日]. http://www.npc.gov.cn/npc/xinwen/2010-10/29/content_1602975.htm.
- [13] 孙鸿烈. 我国水土流失问题与防治对策[J]. 中国水利,2011(6):16.
- [14] 孙莉英,蔡强国,陈生永,等. 东北典型黑土区小流域水土流失综合防治体系[J]. 2012,19(3):36-41,57.
- [15] 王礼先. 关于我国水土保持科学的内涵与研究领域问

- 题[J]. 中国水土保持科学, 2003, 1(2): 108-110.
- [16] 李锐. 中国水土流失基础研究的机遇与挑战[J]. 自然杂志, 2008, 30(1): 6-11.
- [17] 郑粉莉, 王占礼, 杨勤科. 我国土壤侵蚀科学研究回顾和展望[J]. 自然杂志, 2008, 30(1): 12-16.
- [18] 中华人民共和国水利部. 2009 年中国水土保持公报[Z]. 北京: 中华人民共和国水利部, 2009.
- [19] 李智广, 曹炜, 刘秉正, 等. 我国水土流失状况与发展趋势[J]. 中国水土保持科学, 2008, 6(1): 57-62.
- [20] 水利部、中国科学院、中国工程院. 中国水土流失防治与生态安全·水土流失数据卷[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [21] 水利部、中国科学院、中国工程院. 中国水土流失防治与生态安全·总卷(上)[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [22] 聂斌斌, 蔡强国, 慕俊谕, 等. 水土保持生态自然修复适宜性研究综述[J]. 中国水土保持科学, 2010, 8(4): 114-120.
- [23] 唐克丽. 黄土高原生态环境建设关键性问题的研讨[J]. 水土保持通报, 1998, 18(1): 1-7, 25.
- [24] 张文辉, 刘国彬. 黄土高原地区植被生态修复策略与对策[J]. 中国水土保持科学, 2009, 7(3): 114-118.
- [25] 杨亚娟, 徐云伟. 试论水土保持后期治理的必要性[J]. 水土保持科技情报, 2005(4): 46-47.
- [26] 中华人民共和国水利部. 全国水土保持科技发展规划纲要(2008—2020 年), 水保[2008]361 号[Z]. 北京: 中华人民共和国水利部, 2008.
- [27] 王飞, 李锐, 杨勤科, 等. 黄土高原水土保持政策演变[J]. 中国水土保持科学, 2009, 7(1): 103-109.
- [28] 朱显谟. 黄土高原的形成与整治对策[J]. 水土保持通报, 1991, 11(1): 1-8, 17.
- [29] 朱显谟. 再论黄土高原国土整治“28 字方略”[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1995, 1(1): 4-11.
- [30] 朱显谟. 黄土高原国土整治“28 字方略”的理论与实践[J]. 中国科学院院刊, 1998, 3: 232-236.
- [31] 朱显谟. 黄土高原脱贫致富之道: 三论黄土高原国土整治[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1998, 4(3): 1-5, 18.
- [32] 朱显谟. 抢救“土壤水库”实为黄土高原生态环境综合治理与可持续发展的关键: 四论黄土高原国土整治 28 字方略[J]. 水土保持学报, 2000, 14(1): 1-6.
- [33] 朱显谟. 抢救“土壤水库”治理黄土高原生态环境[J]. 中国科学院院刊, 2000, 4: 293-295.
- [34] 朱显谟. 重建土壤水库是黄土高原治本之道[J]. 中国科学院院刊, 2006, 21(4): 320-324.
- [35] 刘国彬, 杨勤科, 郑粉莉. 黄土高原小流域治理与生态建设[J]. 中国水土保持科学, 2004, 2(1): 11-15.
- [36] 许炯心. 黄土高原生态环境建设的若干问题与研究需求[J]. 水土保持研究, 2000, 7(2): 10-13, 79.
- [37] 许炯心. 黄土高原水土保持有效性研究[J]. 水土保持学报, 2001, 15(1): 105-109.
- [38] 刘刚才, 李兰, 周忠浩, 等. 紫色丘陵区坡耕地退耕对水土流失的影响及其效益评价[J]. 中国水土保持科学, 2005, 3(4): 32-36.
- [39] 刘刚才, 张建辉, 杜树汉, 等. 关于水土保持措施适宜性的评价方法[J]. 中国水土保持科学, 2009, 7(1): 108-111.
- [40] 代富强, 刘刚才. 紫色丘陵区典型水土保持措施的适宜性评价[J]. 中国水土保持科学, 2011, 9(4): 23-30.
- [41] Dai F Q, Ling N, Liu G C. Assessment of regional ecological security based on ecological footprint and influential factors analysis: a case study of Chongqing Municipality, China [J]. International Journal of Sustainable Development & World Ecology, 2010, 17(5): 390-400.
- [42] 陈雪, 蔡强国, 王学强. 典型黑土区坡耕地水土保持措施适宜性分析[J]. 中国水土保持科学, 2008, 6(5): 44-49.
- [43] 李秋艳, 蔡强国, 方海燕, 等. 长江上游紫色土地区不同坡度坡耕地水保措施的适宜性分析[J]. 资源科学, 2009, 21(12): 2157-2163.
- [44] 张贤明, 董文达, 李德荣, 等. 江西红壤坡地果园水土保持措施效益之研究[J]. 水土保持学报, 2001, 15(2): 102-104.
- [45] 刘刚才, 游翔, 张建辉, 等. 紫色丘陵区陡坡荒地水土保持措施的适宜性初探[J]. 山地学报, 2008, 26(6): 714-720.
- [46] Peigne J, Ball B C, Roger-Estrade J, et al. Is conservation tillage suitable for organic farming? A review [J]. Soil Use and Management, 2007, 23(2): 129-144.
- [47] 包为民. 水土保持措施减水减沙效果分离评估研究[J]. 人民黄河, 1994, 17(1): 23-26.
- [48] 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.
- [49] 陈江南, 曾茂林, 康玲玲, 等. 孤山川流域已有水土保持措施蓄水减沙效益计算成果分析[J]. 水土保持学报, 2003, 17(4): 135-138.
- [50] 穆兴民, 王飞, 李靖, 等. 水土保持措施对河川径流影响的评价方法研究进展[J]. 水土保持通报, 2004, 24(3): 77-82.
- [51] 仇亚琴, 王水生, 贾仰文, 等. 汾河流域水土保持措施水文水资源效应初析[J]. 自然资源学报, 2006, 21(1): 26-32.
- [52] 康玲玲, 董飞飞, 王云璋, 等. 黄土丘陵区沟壑区水土保持措施蓄水拦沙指标体系探讨[J]. 水利水电科技进展, 2006, 26(2): 34-37.
- [53] 姚文波, 刘文兆, 赵安成, 等. 水土保持效益评价指标研究[J]. 中国水土保持科学, 2009, 7(1): 112-127.
- [54] Bewket W. Soil and water conservation intervention with conventional technologies in northwestern highlands of Ethiopia: Acceptance and adoption by farmers [J]. Land Use Policy, 2007, 24(2): 404-416.
- [55] Amsalu A, Graaff J. Determinants of adoption and continued use of stone terraces for soil and water conservation in an Ethiopian highland watershed [J]. Ecological

- Economics, 2007, 61(2/3):294-302.
- [56] Graaff J, Kessler A, Olsen P. Farm-level adoption of soil and water conservation measures and policy implications in Europe [J]. *Land Use Policy*, 2010, 27(1):1-3.
- [57] 喻权刚. 黄河流域四大水土保持重点治理区治理措施保存率的分析评价[J]. *水土保持通报*, 1995, 15(1):1-7.
- [58] 马勇, 王宏, 赵俊侠, 等. 渭河流域水土保持措施保存率及质量状况调查[J]. *人民黄河*, 2002, 24(8):21-22.
- [59] 姜万勤. 四川丘陵区水土保持措施配置优化模型及其效益[J]. *成都科技大学学报*, 1995(4):19-27.
- [60] 康玲玲, 吴卿, 王昌高, 等. 黄土丘陵沟壑区水土保持综合治理关键措施及其组合的研究[J]. *中国水土保持科学*, 2003, 1(2):74-79.
- [61] 姚文艺, 茹玉英, 康玲玲. 水土保持措施不同配置体系的滞洪减沙效应[J]. *水土保持学报*, 2004, 18(2):28-31.
- [62] 康玲玲, 王云璋, 陈江南, 等. 水土保持坡面措施蓄水拦沙指标体系的回顾与评价[J]. *中国水土保持科学*, 2004, 2(1):85-90.
- [63] 王学强, 蔡强国, 和继军. 红壤丘陵区水土保持措施在不同坡度坡耕地上优化配置的探讨[J]. *资源科学*, 2007, 29(6):68-74.
- [64] 卢玉东, 张树恒, 宋光煜, 等. 低山丘陵区土壤侵蚀生态工程治理模式及优化配置:以四川省宣汉县拱桥河流域为例[J]. *地球科学与环境学报*, 2007, 29(3):304-307.
- [65] Sharma K D, Joshi N L, Singh H P, et al. Study on the performance of contour vegetative barriers in an arid region using numerical models [J]. *Agricultural Water Management*, 1999, 41(1):41-56.
- [66] Morin J, Rawitz E, Hoogmoed W B, et al. Tillage practices for soil and water conservation in the semi-arid zone III. Runoff modeling as a tool for conservation tillage design [J]. *Soil and Tillage Research*, 1984, 4(3):215-224.
- [67] 焦峰, 温仲明, 李锐. 黄土丘陵区(安塞)县域尺度土地类型结构评价[J]. *水土保持研究*, 2005, 12(1):30-31, 131.
- [68] 刘震. 尊重自然充分发挥生态的自我修复能力加快水土流失防治步伐[J]. *中国水利*, 2001(10):50-52.
- [69] 潘剑君. 土壤资源调查与评价[M]. 北京:中国农业出版社, 2004:273-280.
- [70] 潘剑君. 土壤调查与制图[M]. 3版. 北京:中国农业出版社, 2010:225-231.
- [71] 陈百明. 土地资源学[M]. 北京:北京师范大学出版社, 2008:87-128.
- [72] 刘黎明. 土地资源调查与评价[M]. 北京:中国农业大学出版社, 2005:168-171.
- [73] FAO. A framework for land evaluation [R]. FAO soils Bulletin 32. FAO, Rome, Italy, 1976.
- [74] 曹志洪. 中国土壤质量[M]. 北京:科学出版社, 2008:30-159.
- [75] 吴发启. 水土保持学概论[M]. 北京:中国农业出版社, 2003:178-200.
- [76] 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. GB/T15774-2008, 水土保持综合治理效益计算方法[S]. 2009-02-01.
- [77] 孙昕, 李德成, 梁音. 南方红壤区小流域水土保持综合效益定量评价方法探讨:以江西兴国县为例[J]. 2009, 46(9):373-380.
- [78] 张胜利, 于一鸣, 姚文艺. 水土保持措施减水减沙效益计算方法[M]. 北京:中国环境科学出版社, 1994.
- [79] 王琦, 杨勤科. 区域水土保持效益评价指标体系及评价方法研究[J]. 2010, 17(2):32-36, 40.
- [80] 张学雷, 张甘霖, 龚子同. 海南岛土壤质量的指标与量化表达研究[J]. *应用生态学报*, 2001, 12(4):549-552.
- [81] 秦明周, 赵杰. 城乡结合部土壤质量变化特点与可持续性利用对策:以开封市为例[J]. *地理学报*, 2000, 55(5):545-554.
- [82] Doran J W, Parkin T B. Defining and assessing soil quality [C]// Doran J W et al., (ed.) *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. 1994. SSSA Spec. Publ. No. 35, Soil Sci. Soc. Am., Inc. and Am. Soc. Agron., Inc., Madison, WI:3-21.
- [83] Karlen D, Mausbach L, Doran J W et al. Soil quality: A concept, definition, and framework for evaluation [J]. *Soil Sci. Soc. Am. J*, 1997, 61(1):4-10.
- [84] Smith J L, Halvorson J J, Papendick R I. Using multiple-variable indicator kriging for evaluating soil quality [J]. *Soil Sci. Soc. Am. J*, 1993, 57(3):743-749.
- [85] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京:中国农业出版社, 2000.
- [86] 张甘霖, 龚子同. 土壤调查实验室分析方法[M]. 北京:科学出版社, 2012.
- [87] 刘光崧. 土壤理化分析与剖面描述[M]. 北京:中国标准出版社, 1996.
- [88] 李振高, 骆永明, 滕应. 土壤与环境微生物研究法[M]. 北京:科学出版社, 2008.
- [89] 奚旦立, 孙裕生. 环境监测[M]. 4版. 北京:高等教育出版社, 2010.
- [90] 中国生态系统研究网络科学委员会. 陆地生态系统土壤观测规范[M]. 北京:中国环境科学出版社, 2007.
- [91] 依艳丽. 土壤物理研究法[M]. 北京:北京大学出版社, 2009.
- [92] 黎锁平. 水土保持经济学[M]. 兰州:兰州大学出版社, 1997.
- [93] 蔡守华, 詹万林, 胡金杰, 等. 小流域生态系统服务功能价值估算方法[J]. *中国水土保持科学*, 2008, 6(1):87-92.