

代富强. 水土保持技术的适宜性评价[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(12): 8-12.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2014.12.003

# 水土保持技术的适宜性评价

代富强

(重庆工商大学旅游与国土资源学院, 重庆 400067)

**摘要:**水土保持技术适宜性评价是对水土保持基础理论研究的深化,也是制定水土保持规划的重要依据。在理清水土保持技术适宜性相关概念的基础上,结合文献发现,除了针对特定技术的土壤适宜性以及单个因素的适宜性分析外,主要还是从技术的采用、世界水土保持方法与技术纵览项目、保存率、效益评价和优化配置 5 个方面间接探讨技术的适宜性问题。关于水土保持技术适宜性评价,从理论体系到评价指标体系与评价方法、空间评价、空间优化配置都缺乏系统研究。因此,初步提出水土保持技术适宜性评价指标体系以及指标评价标准与权重的确定方法和评价模型,以及今后的研究重点。

**关键词:**水土流失;水土保持技术;适宜性评价;研究进展

**中图分类号:** S157.2    **文献标志码:** A    **文章编号:** 1002-1302(2014)12-0008-05

水土流失是全球共同面临的重大环境问题之一,可造成土地退化、土壤肥力降低、生物多样性减少、江河淤积、水体污染、洪涝灾害加剧等,这严重威胁到全球的粮食和生态安全<sup>[1]</sup>。由于我国特殊的自然地理环境和社会经济条件,加之对土地资源的不合理利用,致使我国成为世界上水土流失最为严重的国家之一<sup>[2]</sup>。根据《第一次全国水利普查公报》,全国土壤侵蚀面积 2 949 100 km<sup>2</sup>,占普查范围总面积的 31.12%,其中水力侵蚀 1 293 200 km<sup>2</sup>、风力侵蚀 1 655 900 km<sup>2</sup>,这表明我国的水土流失状况仍然比较严重。

收稿日期:2014-03-07

基金项目:国家自然科学基金(编号:41301351);重庆市教育委员会科技项目(编号:KJ130724);重庆工商大学科研启动项目(编号:2013-56-05)。

作者简介:代富强(1980—),男,四川都江堰人,博士,副教授,从事生态评价、土壤侵蚀与水土保持研究。E-mail:daifq@ctbu.edu.cn。

因此,系统分析不同水土保持技术的适宜条件有助于明确各种技术的产出效益,建立系统的水土保持技术适宜性评价理论,丰富水土保持基础理论研究,为水土保持规划和农村土地利用规划提供科学依据,具有十分重要的理论意义和实践意义<sup>[3]</sup>。

自 20 世纪中期以来,国内外学者在系统认识水土流失的成因、过程和机理基础上开展了大量水土保持技术的理论和实践研究,形成了以生物技术、工程技术和耕作技术为主的水土保持技术分类体系<sup>[4]</sup>。但是,一方面水土保持技术还存在“水土不服”的现象,即不能顺利实施或者实施后不能正常发挥水土保持功效;另一方面,水土保持项目通常都是由政府主导投资并组织实施的,当地农民很少自愿采用水土保持技术<sup>[5]</sup>。水土保持技术在满足当地水土流失防治和区域发展需要的同时,也要适应当地的土壤条件、自然条件和社会经济条件,这就是水土保持技术的适宜性问题。目前,水土保持技术适宜性评价研究仍然处于刚刚起步的探索阶段,而且大多分散在水土保持科学各个研究领域中,缺乏系统总结和梳理。

[24] Chen H D, Xie W B, He H, et al. A high-density SNP genotyping array for rice biology and molecular breeding[J]. Molecular Plant, 2014, 7(3): 541-553.

[25] Li S C, Wang S Q, Deng Q M, et al. Identification of genome-wide variations among three elite restorer lines for hybrid-rice[J]. PLoS One, 2012, 7(2): e30952.

[26] Kump K L, Bradbury P J, Wissner R J, et al. Genome-wide association study of quantitative resistance to southern leaf blight in the maize nested association mapping population[J]. Nature Genetics, 2011, 43(2): 163-168.

[27] Famoso A N, Zhao K Y, Clark R T, et al. Genetic architecture of aluminum tolerance in rice (*Oryza sativa*) determined through genome-wide association analysis and QTL mapping[J]. PLoS Genetics, 2011, 7(8): 1002221.

[28] Huang X H, Wei X H, Sang T, et al. Genome-wide association studies of 14 agronomic traits in rice landraces[J]. Nature Genetics, 2010, 42(11): 961-967.

[29] NY/T 1433—2007 水稻品种鉴定:DNA 指纹方法[S].

[30] NY/T 1433—2014 水稻品种鉴定技术规程:SSR 标记法[S].

[31] 程本义, 吴伟, 夏俊辉, 等. 浙江省水稻品种 DNA 指纹数据库的初步构建及其应用[J]. 浙江农业学报, 2009, 21(6): 555-560.

[32] 陈英华, 侯昱铭, 李宏宇, 等. 东北地区水稻区试新品种的 DNA 指纹图谱构建及遗传多样性分析[J]. 种子, 2009(3): 28-35.

[33] 杨旭, 谭学林. 溟型杂交梗稻主要亲本的 SSR 指纹图谱及其遗传差异分析[J]. 杂交水稻, 2009, 24(6): 54-58.

[34] 颜静爽, 田大刚, 许彦, 等. 杂交稻主要亲本的 SSR 分子身份证数据库的构建[J]. 福建农业学报, 2011, 26(2): 148-152.

[35] 田大刚, 林艳, 刘华清, 等. 123 份水稻重要品种的 SSR 核心标记指纹分析[J]. 分子植物育种, 2013, 11(1): 20-29.

[36] 陈红. 促进我国水稻育种创新的新品种保护政策研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2011: 1-187.

[37] 王建康, 李慧慧, 张学才, 等. 中国作物分子设计育种[J]. 作物学报, 2011, 37(2): 191-201.

因此,本研究在理清水土保持技术适宜性相关概念的基础上,总结国内外水土保持技术适宜性评价相关研究的进展情况,分析现有研究存在的不足,并初步提出水土保持技术适宜性评价的基本框架以及今后的研究重点。

## 1 水土保持技术适宜性评价概念解析

水土保持技术适宜性评价,就是针对水土保持技术的适宜程度所作的评价,是编制水土保持规划时的预测性评价。但是,目前水土保持技术适宜性的概念与内涵、评价方法和评价内容还未形成统一观点,不同学者从不同角度对水土保持技术适宜性的理解存在明显差异。水土保持技术适宜性思想的提出源于对水土保持作用机理和效应评价的深入研究,其本质是要求不同地区建立适合当地自然、经济和社会条件的水土保持技术及其配置模式。国外水土保持技术相关文献中经常提及的术语有“adoption”“applicability”“sustainability”等<sup>[6]</sup>,而国内出现较多的名词是“适宜性”和“适应性”。虽然这些认识从不同角度对水土保持技术适宜性进行了表述,具有一定的科学意义,但是由于这些概念只是涉及水土保持技术适宜性的某一方面,对其内涵还没有形成统一认识,这使得人们在评价技术适宜性程度时难以确定指标及其标准,评价结果具有不确定性。因此,有必要对水土保持技术适宜性评价的相关概念、评价目标与评价标准等进行科学界定。总体来看,国外的研究比较注重分析当地农民对水土保持技术采用的决策过程以及采用的可持续性,认为能够长期发挥水土保持效应和被当地农民持续采用的技术才是最适宜的。国内学者则侧重于研究水土保持技术产生的各种效益,并将保水保土效益、社会效益和经济效益作为技术适宜性的综合影响因素考虑。可见,水土保持技术在一个区域内是否适宜,包含技术对当地各种条件的要求和当地农民对技术产出效益的期望 2 个方面,即技术实施地的土壤条件、自然环境条件和社会经济条件满足技术要求的程度和技术的保水保土效益、自然环境效益和社会经济效益达到当地农民期望的程度<sup>[3]</sup>。具体而言,水土保持技术适宜性评价就是指为了选择适宜的水土保持技术,实现防治水土流失和促进农村社会经济发展的目的,通过建立科学合理的评价指标体系,采用科学的方法对不同水土保持技术在某一特定区域的适宜程度进行综合评价的过程<sup>[3]</sup>。

## 2 国内外水土保持技术适宜性评价研究进展

近年来,关于水土保持技术适宜性评价方面的研究逐步受到重视,主要是针对特定水土保持技术的土壤适宜性以及单个因素(如坡度)的适宜性分析<sup>[7]</sup>,而直接进行适宜性评价的报道还很少。现有研究大都只是通过分析水土保持技术的采用率和保存率,评价技术的综合效益以及优化配置来间接地探讨水土保持技术的适宜性问题。国外偏重于研究人们对水土保持技术的感知和采用意愿,国内倾向于研究水土保持技术的保存率、效益评价以及优化配置。

### 2.1 水土保持技术的采用

研究表明,各国水土保持技术的采用率普遍较低<sup>[8]</sup>。在这种情况下,当地农民是否有兴趣或者有能力采用这些水土保持技术就成为水土流失防治的关键<sup>[1]</sup>。水土保持技术的采用率由当地的各种自然、社会和经济因素共同决定,而这些

因素对当地农民的抉择具有正向或负向影响。(1)农民的水土保持意识和态度。de Graaff 等把水土保持技术的采用过程分为 3 个阶段,即接受阶段、实际采用阶段和持续使用阶段<sup>[6]</sup>。采用过程的前 2 个阶段是当地农民认识水土流失问题,获得对水土保持技术的积极态度。农民对当地水土流失问题和已有水土保持技术效益的了解很大程度上决定了他们的决策行为。(2)水土保持技术的经济收益和风险。水土保持技术产出的收益率及其可持续性为农民评价水土保持技术的重要标准,风险的最小化和收入的稳定性同样受到他们的重视,而潜在的经济风险会导致较低的技术采用率<sup>[9]</sup>。不同学者采用多元统计分析、财务成本效益分析、持续期分析的结果显示<sup>[10]</sup>,收入、土地规模和农民对风险的态度是影响采用改进技术的重要因素,而职业、农产品价格和利率是影响采用传统技术的主要因素。(3)当地的土壤、自然环境和社会经济条件。土壤和自然环境条件对水土保持技术采用程度的影响较小,农民的决策行为更多的是受社会经济条件的制约。由于大多数农民只具有土地使用权,虽然他们能够意识到水土保持技术带来的效益,但是土地所有制成为技术被当地农民广泛采用的制约因素,土地租用者不太可能采用经过长时间才能产生效益的技术<sup>[11]</sup>。研究发现,劳动力缺乏以及满足农民需求和技术对当地农业生态环境的适宜性问题也是导致农民不愿采用水土保持技术的因素<sup>[12]</sup>。此外,我国保护性耕作技术采用的研究表明,农田和休耕地的坡度起关键作用,农民的年龄、对土壤侵蚀问题的态度、家庭规模对这种技术的采用也有积极作用<sup>[13]</sup>。(4)政府的水土保持推广服务和激励政策。在发展中国家,政府开展水土保持推广服务使农民逐渐意识到水土流失的严重性以及对农业生产的影响,并且了解到水土保持技术带来的各种效益。参与推广服务以及适当的经济激励对农民采用水土保持技术有积极影响<sup>[14]</sup>。但是,也有研究发现一些农民采用这种技术不是因为它产生的各种效益,而是把它作为获得土地或者贷款的一种途径,通过补贴或者其他形式的刺激政策鼓励农民采用一些水土保持技术不能从根本上解决农民所关心的问题,以致技术不能得到持续的采用<sup>[8]</sup>。

水土保持技术采用的研究中很少能够确定一些共同的影响因素,这主要归因于不同的分析方法、不同的水土保持技术以及研究区域的环境和社会经济条件差异。总之,国际上在水土保持技术采用方面已经开展了大量研究,而国内在这方面的研究相对滞后,成果也比较少。国外学者主要是从农民的角度去研究水土保持技术采用过程,偏重于农民的基本特征、认知、态度以及社会经济影响因素方面,这主要归结于人的主观意志和社会属性。但是,水土保持技术研究从社会经济角度间接探讨了水土保持技术的适宜性问题,为以后的深入研究奠定了基础。

### 2.2 世界水土保持方法与技术纵览

世界各地分布着各种各样的水土保持技术,但是这些技术并没有得到土地使用者、技术人员、研究者和决策者的充分认可、评价和共享,并且研究者和实施者之间往往缺乏联系。世界水土保持方法与技术纵览(World Overview of Conservation Approaches and Technologies, WOCAT)项目是一个全球性水土保持信息化产物,它是 1992 年由世界水土保持学会立项,由瑞士泊尔尼大学环境与发展中心(CDE)、联合国粮农

组织 (FAO)、国际土壤咨询信息中心 (ISRIC) 等组织组成管理委员会, 至今已有非洲大部分国家, 拉丁美洲、中美洲部分国家, 亚洲的泰国、中国、菲律宾参与了该项目。WOCAT 项目通过收集、分析、介绍世界各地的水土保持技术和方法, 为水土保持研究人员、土地利用规划人员以及决策者提供借鉴, 帮助不同地区的农民通过采取适宜的水土保持技术提高土地生产率, 促进全球水土保持和自然资源可持续利用的发展<sup>[15]</sup>。该项目提出了评价和选择水土保持技术的方法体系, 以及利用最佳水土保持技术的集体学习方法和决策支持系统<sup>[16]</sup>。该方法具体包括以下 3 个步骤: (1) 识别。确定当地农民已经采用的水土保持技术。在设计新的技术方法防治水土流失和土地退化之前, 以水土保持技术人员与当地农民集体讨论的形式汇集不同群体的观点, 并结合实地考察确定当地已经存在的水土保持技术。(2) 评价。鉴于当地水土保持技术不一定是适宜的, 因此需要对当地的技术进行更详细且科学的评价。在问卷调查的基础上, 采用标准化方法进行水土保持效益评价, 并考虑到结果与其他研究区域的共享。(3) 选择和决策。在 WOCAT 数据库的一系列水土保持技术中, 由技术人员与当地农民通过集体讨论进行比较分析, 在决策支持系统的帮助下共同选择最适宜在研究区域实施的技术。总之, WOCAT 项目提供的方法体系有利于规范地、统一地对已有水土保持技术的经验和教训进行交流、总结和评价, 促进最佳水土保持技术在世界各个国家或地区的推广<sup>[17]</sup>。在地块尺度, 水土保持专家根据不同的自然、社会经济和制度条件, 寻求适应具体条件、满足具体要求的水土保持技术和方法; 在国家和区域尺度, WOCAT 的方法体系、数据库和地图帮助规划者、协调者和决策者利用现有成功经验, 避免错误和重复<sup>[18]</sup>。但是, WOCAT 在应用过程中特别是在发展中国家的应用也存在缺乏专项资金、专业人员和组织协调等问题, 经过几年的实施也没能完全达到预期效果<sup>[19]</sup>。

### 2.3 水土保持技术保存率

水土保持技术保水保土效益的研究逐渐由径流小区转向中尺度、大尺度区域, 面临的首要问题就是需要确定区域内各项水土保持技术的数量和质量。过去在进行区域水土保持技术减水减沙效益计算时, 将上报面积简单累加, 直接作为技术治理面积进行计算, 导致计算结果与实际情况大不相同, 缺乏可信度和说服力<sup>[20]</sup>。因此, 为了得到相对准确的技术数量和治理面积, 必须对各项水土保持技术的实施情况进行核实。核实区域水土保持技术治理面积一般有 3 种方法: 一是应用遥感技术; 二是大面积开展以小流域或以县 (市、区) 为单元的全面普查; 三是抽样调查。由此可以看出, 水土保持技术治理面积的核实实质上是技术的保存率问题。

目前, 水土保持技术保存率的概念及其内涵还不是十分明确。喻权刚认为, 保存率是水土保持技术治理验收保存面积与实施面积的比值, 它的高低直接反映技术质量的好坏<sup>[21]</sup>。从定性的角度看, 水土保持技术的保存率主要受自然因素 (气候、水文、植被等) 和社会经济因素 (管理方式、政策等) 的影响, 反映的是在社会经济因素相对稳定的情况下, 以自然因素为主导, 技术的保存状况。从保存率的定量方法来看, 有学者将通过一定技术手段调查核实的各项技术面积与上报面积的比值确定为技术保存率, 然后再引入有效利用的

概念, 并将二者综合称为核实现率 (或修正系数)。赵有恩认为, 水土保持技术保存面积中只有剔除长久失修、自然退化、新修 (植) 未达标及人为损毁等丧失水土保持功能的部分, 技术保存率才能通过核实现面积与上报面积的比值来表示<sup>[22]</sup>。

水土保持技术的保存率存在明显的地域差异, 而且普遍存在保存率较低的现象。研究发现, 质量标准偏低和忽视后期管理是水土保持技术保存率较低的主要原因之一<sup>[23]</sup>。此外, 由于降水较少、光照少等立地条件因素造成林草存活率低、幼林数量多, 影响了水土保持技术的整体水平和质量<sup>[24]</sup>。由此可以看出, 水土保持技术保存率在一定程度上反映了技术对实施地社会经济条件和自然条件的适宜程度。

### 2.4 水土保持技术效益评价

水土保持技术效益的科学评价是筛选和确定最佳水土保持技术的基础, 也是水土保持技术适宜性评价的重要组成部分<sup>[25]</sup>。水土保持技术效益评价总体上从过去以定性为主、单因素、单目标评价逐渐发展到多目标、多层次和多因素的定量综合评价。从评价方法来看通常可以分为对比分析、模拟分析和综合评价 3 类, 从评价内容来看通常包括保水保土效益、生态效益、经济效益和社会效益 4 个方面。

在水土流失防治过程中, 保水保土效益是水土保持技术其他效益的前提和基础, 以前的水土保持技术效益评价主要是针对保水保土效益的单指标评价。经过不断发展, 水土保持效益的单项指标评价已经逐渐完善, 我国于 2008 年颁布了修订的 GB/T 15774—2008《水土保持综合治理效益计算方法》, 该标准详细地介绍了水土保持效益各类指标的计算方法。水土保持效益的综合评价一般采用对比分析法<sup>[26]</sup>、主成分分析法<sup>[27]</sup>、DPSIR 模型<sup>[28]</sup>等常用数学方法。此外, Topsis 决策方法<sup>[29]</sup>、神经网络方法<sup>[30]</sup>、灰色投影法<sup>[31]</sup>、熵值理论与模糊物元<sup>[32]</sup>等复杂的数学方法也被引入到水土保持效益评价中。减水减沙效益<sup>[33]</sup>、土壤改良效益<sup>[26]</sup>、土壤抗蚀性能<sup>[34]</sup>等成为水土保持技术效益评价的重要指标。但从近年研究成果来看, 同时包含保水保土效益、生态效益、经济效益和社会效益的综合评价逐渐成为水土保持技术效益评价的发展趋势, 通过构建评价指标体系, 采用综合定量方法, 对不同区域的水土保持效益进行综合评价和比较<sup>[35]</sup>。

### 2.5 水土保持技术优化配置

水土保持技术优化配置是实现土地资源合理利用和提高水土保持综合效益的重要途径和手段, 近年来分别从定性和定量 2 个方面取得了一些研究成果。

从定性研究看, 许多学者在分析水土保持技术的影响因素以及水土保持技术的综合效益基础上进行了技术优化配置研究。鲁子瑜等指出, 小流域林草是否合理配置不仅仅与林草的生态适宜性相关, 而且还与社会、经济、地形、交通、水土保持等因子相关联, 受多重制约, 须综合考虑<sup>[36]</sup>。蒋定生等针对研究区地形特点提出平面三区结构配置模式和坡面梯层结构配置模式<sup>[37]</sup>。朱金兆等根据降水、地形与小流域侵蚀泥沙的来源及水土流失发生发展规律, 提出水土保持体系高效空间配置原理与技术<sup>[38]</sup>。姚文艺等提出“技术配置比”和“流域治理效应与水土保持治理技术类型配置方案”有关的概念, 并研究了不同技术配置体系的滞洪减沙效应<sup>[39]</sup>。王学强等提出耕作技术、梯田技术、植物篱技术根据坡耕地不同坡

度进行优化配置<sup>[40]</sup>。李子君建立了粮食保障方案、生态优先方案、综合水保方案 3 种水土保持技术配置方案,分析了不同技术配置方案下流域年径流量的变化<sup>[41]</sup>。

从定量研究看,线性规划方法作为一种有效解决最优配置问题的数学工具被广泛应用到水土保持技术优化配置的实践中。李成杰等提出采用多目标规划方法进行水土保持技术优化配置<sup>[42-43]</sup>。此外,有学者尝试将数学方法和 GIS 技术相结合进行水土保持技术空间优化配置。郑海峰等在多因素决策分析的基础上,应用 GIS 聚类分析与统计分析方法对所划分的乔灌草植物优化配置模式进行空间布局<sup>[44]</sup>。何长高等建立了基于水资源优化配置的水土保持技术优化配置多目标耦合模型,利用遗传算法对模型进行优化求解,得出最优水土保持技术配置及水资源优化配置结果<sup>[45-46]</sup>。

总的来说,近年来水土保持技术的优化配置逐渐受到水土保持机构和研究人员的重视,并积累了一些成功经验,但是对水土保持技术优化配置的原则和方法研究较少。长期以来,传统的水土保持技术优化配置研究主要关注水土保持技术配置比例的优化,而忽略了水土保持技术空间布局优化,限制了水土保持综合效益的提高,影响了水土保持技术的可持续利用。

### 3 水土保持技术适宜性评价研究的不足

关于水土保持技术适宜性评价研究,近年来国内外已取得一些研究成果,并提出了一些新的思路和方法<sup>[25]</sup>,但对于具体的评价指标体系和评价方法还处于探索阶段,而应用于区域的实证研究较少。目前水土保持技术适宜性评价研究仍存在一些不足和问题,主要表现在以下几方面:(1)缺乏系统的理论体系研究。目前,相关研究仅对不同坡度条件下的水土保持技术适宜性进行了定性分析,大多数研究还只是涉及采纳程度、保存率、效益评价中的一个方面,还没有形成比较系统的水土保持技术适宜性评价理论体系。(2)缺乏切实可行的评价指标体系与评价方法。建立评价指标体系和评价方法是水土保持技术适宜性评价的关键,如何将不同角度对水土保持技术的研究综合到一个指标体系以及针对这个指标体系提出科学合理的评价方法是急需解决的主要问题。(3)对技术适宜性空间评价的重视不够。目前,水土保持技术适宜性的研究还是主要集中在径流小区、坡面和小流域的“点”“线”尺度的研究,在“面”这个尺度上的研究相对较少,致使研究成果不能推广到较大尺度的区域。(4)水土保持技术空间优化配置研究明显不足。目前,单项水土保持技术对水土资源影响的研究已比较深入,也进行了水土保持技术在数量上的优化配置和通过定性分析确定了空间配置模式。但是,水土保持技术空间优化配置的原则和方法还有待更深入的研究。

### 4 结论与展望

水土保持技术适宜性评价作为制定水土保持规划的基础,在保证科学和优化实施水土保持技术过程中起重要作用。目前,关于水土保持技术适宜性评价的研究还比较分散,对其概念和内涵的认识还存在不同角度的理解差异,评价体系与评价方法尚未统一,实证研究还较少。但是,由于我国水土流失防治面临的现实问题,仍然需要这样一个评价来对水

土保持技术进行合理规划和布局。随着相关研究的不断深入,水土保持技术适宜性评价作为水土保持规划与项目实施的重要依据,以后还应加强以下几方面的研究:(1)现有研究多侧重于水土保持技术适宜性的某一方面,缺乏从系统的角度进行综合研究,导致水土保持技术适宜性的内涵不清晰、评价方法不统一、评价标准以及临界值不确定等问题。随着研究的不断深入,应在理清水土保持技术适宜性的相关概念及其内涵的基础上,加强对水土保持技术适宜性评价相关内容的综合研究,逐步形成系统的水土保持技术适宜性评价理论体系。(2)评价指标体系和评价标准仍然是水土保持技术适宜性评价的关键,应针对不同技术或不同区域开展更加细化的研究。除了考虑我国各土壤类型区的水土流失特征,还应充分考虑各地区在自然、社会以及经济条件方面的巨大差异性,因地制宜地构建水土保持技术适宜性评价指标体系,进而研究确定相应指标的评价标准以及临界值。(3)除了针对特定区域不同水土保持技术适宜性的比较评价外,还应利用 3S (RS、GIS、GPS) 技术建立技术适宜性的空间定量评价模型,分析不同技术适宜性的空间分布特征以及技术适宜性分级的可视化表达,为水土保持技术空间优化配置提供科学依据和数据基础。(4)水土保持技术优化配置研究虽然起步较早,但空间布局优化研究明显滞后于数量结构优化的研究。从以往的研究来看,水土保持技术优化配置以建立数学模型进行数量结构优化研究为主,对技术空间优化配置研究较少,而且以定性分析为主。因此,应借助 GIS 技术和人工智能方法的快速发展并加强对水土保持技术空间优化配置模型和方法的研究。

### 参考文献:

- [1] de 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.
- [2] 王礼先, 朱金兆, 王冬梅. 水土保持学[M]. 2 版. 北京: 中国林业出版社, 2005: 9 - 10.
- [3] 代富强, 刘刚才. 紫色土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.
- [4] 刘宝元, 刘瑛娜, 张科利, 等. 中国水土保持措施分类[J]. 水土保持学报, 2013, 27(2): 80 - 84.
- [5] Wauters E, Bielders C, Poesen J, et al. Adoption of soil conservation practices in Belgium: an examination of the theory of planned behaviour in the agri - environmental domain[J]. Land Use Policy, 2010, 27(1): 86 - 94.
- [6] de Graaff J, Amsalu A, Bodnar F, et al. Factors influencing adoption and continued use of long - term soil and water conservation measures in five developing countries[J]. Applied Geography, 2008, 28(4): 271 - 280.
- [7] 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, 31(12): 2157 - 2163.
- [8] Jara - Rojas R, Bravo - Ureta B E, Engler A A. An analysis of the joint adoption of water conservation and soil conservation in central Chile[J]. Land Use Policy, 2013, 32: 292 - 301.
- [9] Morris N L, Miller P, Orson J H, et al. The adoption of non - inversion tillage systems in the United Kingdom and the agronomic impact on soil, crops and the environment[J]. Soil & Tillage Research,

- 2010, 108(1/2): 1–15.
- [10] D'Emden F H, Llewellyn R S, Burton M P. Adoption of conservation tillage in Australian cropping regions: an application of duration analysis[J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2006, 73(6): 630–647.
- [11] Oostendorp R H, Zaai F. Land acquisition and the adoption of soil and water conservation techniques: a duration analysis for Kenya and the Philippines[J]. *World Development*, 2012, 40(6): 1240–1254.
- [12] 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.
- [13] Wang J, Huang J, Zhang L, et al. Why is China's blue revolution so "Blue"? The determinants of conservation tillage in China[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2010, 65(2): 113–129.
- [14] Udayakumara E, Shrestha R P, Samarakoon L. Mitigating soil erosion through farm-level adoption of soil and water conservation measures in Samanalawewa Watershed, Sri Lanka[J]. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B – Soil and Plant Science*, 2012, 62(3): 273–285.
- [15] Liniger H, Schwilch G. Enhanced decision-making based on local knowledge—the WOCAT method of sustainable soil and water management[J]. *Mountain Research and Development*, 2002, 22(1): 14–18.
- [16] Schwilch G, Bachmann F, Liniger H P. Appraising and selecting conservation measures to mitigate desertification and land degradation based on stakeholder participation and global best practices[J]. *Land Degradation & Development*, 2009, 20(3): 308–326.
- [17] 杨学震, 聂碧娟. WOCAT 项目简介及我国开展项目建设的建议[J]. *水土保持研究*, 2000, 7(3): 181–183.
- [18] Reed M S, Buenemann M, Athlopheng J, et al. Cross-scale monitoring and assessment of land degradation and sustainable land management: a methodological framework for knowledge management[J]. *Land Degradation & Development*, 2011, 22(2): 261–271.
- [19] Schwilch G, Bestelmeyer B, Bunning S, et al. Experiences in monitoring and assessment of sustainable land management[J]. *Land Degradation & Development*, 2011, 22(2): 214–225.
- [20] 刘勇, 冉大川, 吴永红. 黄河中游水土保持措施保存面积的核实初探[J]. *水土保持通报*, 1994, 14(4): 39–42, 58.
- [21] 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.
- [22] 赵有恩. 黄河中游水土保持措施保存率分析及措施状况评述——以黄河河龙区间南片为例[J]. *干旱区资源与环境*, 1996, 10(2): 46–52.
- [23] 陈浩, 方海燕, 蔡强国, 等. 黄河中游的侵蚀环境与植被恢复前景[J]. *地理研究*, 2007, 26(4): 735–744, 图版 2.
- [24] 王斌, 张绒君, 闵德安, 等. 黄土高原沟壑区主要造林树种生长适应性研究[J]. *人民黄河*, 2010, 32(2): 87–88.
- [25] 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.
- [26] Nyamangara J, Masvaya E N, Tirivavi R, et al. Effect of hand-hoe based conservation agriculture on soil fertility and maize yield in selected smallholder areas in Zimbabwe[J]. *Soil & Tillage Research*, 2013, 126: 19–25.
- [27] Guo W, Li Z W, Shen W P, et al. Effects of soil and water conservation and its interactions with soil properties on soil productivity[J]. *Journal of Central South University*, 2012, 19(8): 2279–2285.
- [28] 王兵, 张光辉, 刘国彬, 等. 黄土高原丘陵区水土流失综合治理生态环境效应评价[J]. *农业工程学报*, 2012, 28(20): 150–161.
- [29] 张霞, 刘晓清, 王亚萍, 等. 秦岭生态功能区水土保持治理效益评价[J]. *水土保持研究*, 2012, 19(2): 86–90.
- [30] 桂凌, 张征, 闫国振, 等. 基于遗传神经网络的鄂尔多斯沙棘水土保持功能评价[J]. *干旱区资源与环境*, 2012, 26(7): 136–140.
- [31] 张传珂. 多目标决策灰色投影法在水土保持综合效益评价中的应用[J]. *中国农学通报*, 2013, 29(11): 164–167.
- [32] 魏永霞, 宋族鑫, 严昌荣, 等. 基于熵权的模糊物元模型在坡耕地水土保持耕作技术模式评价中的应用[J]. *水土保持研究*, 2008, 15(6): 194–196.
- [33] Monar C, Saavedra A K, Escudero L, et al. Positive impacts in soil and water conservation in an Andean region of south America: Case scenarios from a US agency for international development multidisciplinary cooperative project[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2013, 68(1): 25A–30A.
- [34] 鄧岳阳, 严力蛟, 樊吉, 等. 植物篱对红壤坡耕地的水土保持效应及其机理研究[J]. *生态与农村环境学报*, 2012, 28(6): 609–615.
- [35] Xu X Z, Li M J, Liu B, et al. Quantifying the effects of conservation practices on soil, water, and nutrients in the loess Mesa ravine region of the loess plateau, China[J]. *Environmental Management*, 2012, 49(5): 1092–1101.
- [36] 鲁子瑜, 邹厚远, 马志仁. 摘牛沟小流域林草配置模式试验研究[J]. *水土保持通报*, 1991, 11(2): 51–54.
- [37] 蒋定生, 江忠善, 侯喜禄, 等. 黄土高原丘陵区水土流失规律与水土保持措施优化配置研究[J]. *水土保持学报*, 1992, 6(3): 14–17.
- [38] 朱金兆, 魏天兴, 张学培. 基于水分平衡的黄土区小流域防护林体系高效空间配置[J]. *北京林业大学学报*, 2002, 24(5): 5–13.
- [39] 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.
- [40] 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.
- [41] 李子君. 潮河流域不同水土保持措施配置方案对年径流量的影响[J]. *水土保持通报*, 2010, 30(1): 108–112.
- [42] 李成杰, 许靖华, 焦宝明. 试论水土保持措施优化配置及方法[J]. *水土保持科技情报*, 2004(6): 11–12.
- [43] 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, 315.
- [44] 郑海峰, 陈利顶, 于洪波. 黄土丘陵沟壑区乔灌木植物空间优化配置——以甘肃省定西地区为例[J]. *地理研究*, 2007, 26(1): 101–109, 图版 3.
- [45] 何长高, 董增川, 陈卫宾, 等. 基于水资源合理配置的流域水土保持结构优化模型研究[J]. *岩土工程学报*, 2008, 33(11): 1738–1742.
- [46] 陈卫宾, 刘生云, 董增川. 基于径流调控的水土保持措施优化配置[J]. *人民黄河*, 2010(3): 81–82, 85.