

# 水土保持及土壤侵蚀动态机制研究现状及存在问题<sup>\*</sup>

吴淑芳, 吴普特

(西北农林科技大学 水利与建筑工程学院, 陕西 杨陵 712100)

**摘 要:** 简要回顾了目前我国水土保持研究存在的问题, 提出了以“地表径流调控”为主的水土保持技术措施和基于水动力学特性的侵蚀产沙机理研究方向和研究意义。系统总结了以“地表径流调控”为主的水土保持措施和减流减沙效应指标以及土壤侵蚀过程机理研究现状, 探讨了径流调控及坡面流侵蚀动力过程中存在的主要问题以及亟待开展的研究。

**关键词:** 径流调控; 水土保持; 土壤侵蚀; 水动力学特性

中图分类号: S157.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2010)02-0037-04

## Research Status and Existing Problems on Dynamic Mechanism of Soil and Water Conservation and Soil Erosion

WU Shufang, WU Pu te

(College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** In this paper, problems currently existing in soil and water conservation researches in China were briefly reviewed, and meanwhile, soil and water conservation technical measures with ‘runoff regulation’ as a main method and erosion sediment yield mechanism based on hydrodynamic characteristics and also research direction and significance were proposed. A systematic summary of soil and water conservation measures with ‘runoff regulation’ as a main method, indexes for runoff and sediment reduction effects and mechanism of soil erosion process as well as a discussion of main problems existing in dynamic process of runoff regulation and overland flow erosion and research of urgent need were made.

**Key words:** runoff regulation; soil and water conservation; soil erosion; hydrodynamic characteristics

### 1 问题提出及研究意义

黄土高原长期并存着严重的干旱缺水 and 水土流失, 这不仅使该区土地退化、植被破坏、土地生产力下降, 而且导致生态环境恶化, 给当地经济发展和人民生活带来巨大危害<sup>[1]</sup>。建国至今, 针对该区水土保持科学研究和水土流失防治工作的努力从未停止过。黄土高原的水土流失治理和生态环境建设进行了几十年, 发展并提出了多种多样的治理技术和措施, 取得了世人瞩目的成绩。然而, 不容忽视的是总体治理效果以及投入产出效益方面尚未尽人意, 一个重要原因就是长期以来过分关注土壤不被冲刷及流入黄河泥沙量的问题, 而忽视了水土流失中径流

冲刷土壤的作用<sup>[1-2]</sup>。本质上, 径流是导致地表土壤产生位移、搬运即侵蚀的主要动力, 土壤的流失是伴随水的流失而产生的, 土壤资源的保护必须以水资源的保护与利用为支撑与前提<sup>[3-5]</sup>。因此, 降雨径流调控应成为水土保持科学研究的首要对象。

早在 20 世纪 80 年代, 中科院院士朱显谟<sup>[6-7]</sup>先生就提出: “全部降水就地入渗拦蓄, 米粮下川上塬, 林果下沟上岔, 草灌上坡下抓”的黄土高原国土整治 28 字方针, 论述了黄土高原区域治理模式和水土保持措施优化配置与优化设计。其核心思想是: 强调降水的有效调控和拦截, 减少地表径流, 并指出: 黄土高原有着深厚的黄土层, 且其独特的点、棱接触支架式结构, 有着疏松多孔、透水性强, 及较强的储水

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2009-10-20

基金项目: 教育部重点项目“黄土区基于 CA 模型的坡面径流动态模拟与水沙效应研究(109149)”

作者简介: 吴淑芳(1977-), 女, (回族), 宁夏吴忠人, 博士, 助理研究员, 主要从事水土保持及坡面径流水动力学研究。E-mail: wsfjs@163.com

功能,被形象的称为“土壤水库”,这为发展以降雨径流调控为核心的水土保持研究提供了有利的条件。无疑,在黄土高原地区开展径流调控研究是水土保持学科发展的必然,在生产中实践这种理论成果也有着得天独厚的优势。国内学者郭廷辅<sup>[8]</sup>、吴普特<sup>[9]</sup>等人率先提出径流调控学说,阐明了水土流失的本质、指明了水土流失治理的关键,从认识、实践上使水土保持理论上升到一个新的阶段。近些年,不少学者作了许多有关径流调控技术以及调控机理等方面的探索,取得不少科学成果<sup>[10-11]</sup>。但总体上,能够有效发挥作用的径流调控新技术还尚需要开发,以径流调控为核心的水土保持措施水沙效应以及从水动力学角度分析土壤侵蚀动态过程和侵蚀机理还需更加系统、深入的研究,才能不断完善径流调控理论和实践技术体系。

基于此,笔者认为:黄土高原地区开展坡地径流调控技术,削弱导致水土流失的原动力,有序拦截坡面径流,增加土壤储水量,同时澄清复杂坡面侵蚀产沙动态机理,不仅是改善黄土高原地区生态环境、保障该区经济社会持续发展的根本举措,而且为黄土高原坡面或流域水土保持措施规划与设计以及同步实现控制土壤侵蚀和提高降水资源的利用效率提供重要的理论依据与实践指导。

## 2 国内外研究现状及问题分析

### 2.1 以“径流调控”为主的水土保持措施

针对水土流失与干旱缺水并存的共性特征,如何把除害与兴利巧妙结合,是水土保持领域多年来探索的一个重要课题,已积累较为丰富的经验。郭廷辅<sup>[8]</sup>、吴普特<sup>[9]</sup>等人提出径流调控理论,即科学调控利用坡面径流,消除导致水土流失的原动力,因地制宜地建设降雨径流调控与利用技术体系,使降雨径流得到科学聚集与分散,即可达到控制水土流失和缓解干旱缺水的双重目标。吴淑芳<sup>[12]</sup>提出,地表径流调控的途径一是改变下垫面状况,阻止雨滴直接打击裸露的地面,分散地表径流;二是通过提高土体稳定性来抵抗径流对地表土壤的搬运和输移能力,减少土壤侵蚀量。当前,诸多水土保持界的研究学者在黄土高原地区开展了工程措施、生物措施、农业措施、化学措施以及各种组合措施来减少地表径流与侵蚀量,达到雨水高效利用的目的。如:坡面修成梯田、水平沟垄、鱼鳞坑和入渗孔种植技术的工程措施,不仅增加地表粗糙率,切断径流流线,使降雨就地入渗,可有效拦蓄地表径流,增加土壤含水率,且大大减少了土壤侵蚀量<sup>[13-16]</sup>。高分子聚合物调控

坡面径流时<sup>[12]</sup>,一方面通过改良土壤,增加土壤水稳性团粒数及改善土壤渗透性,减少径流量,进而减少侵蚀发生;另一方面通过拍光坡面,在坡面上喷涂高分子材料使其在地表形成一层致密防水膜,防止雨水下渗及土壤蒸发,增加集流量,改善林地土壤及林木水分状况,此项研究得到了室内外试验的验证,具有显著的径流调控功能。田间沟垄微型集雨结合覆盖技术及残茬和秸秆覆盖技术,对于调控降雨径流,可有效地利用了膜垄的集水、沟覆盖以及残茬的蓄水保墒功能,改变了降雨的时空分布,使降雨集中富集在种植沟中,显著地提高了降水的利用效率<sup>[17]</sup>。另外,坡地林草植被建设<sup>[18]</sup>,通过林草枝叶、枯落物组成的地被物层以及根系的复合作用,可有效拦截降雨,改变雨滴直接降落地面的方式,并表现出很强的蓄水保土功能。综上所述,水土保持拦蓄径流措施多种多样,在生产实践中也得到了很好的应用和较好的效果。目前上述技术大多还是较为传统的水土保持措施,为提高黄土高原地区水土资源的高效利用和解决水土流失与干旱缺水的双重矛盾,当务之急需要开展以消除或降低坡面径流为出发点的地表径流调控新方法、新技术研究,诸如点、线、面有机结合的径流调控理论以及地表径流生态调控的技术方法等等,还需深入研究与开发。

### 2.2 水土保持效应指标分析方面

关于黄土区不同流域和各地开展的水土保持措施效益研究方面,包括效益计算方法和蓄水拦沙指标,目前也成为水土保持学科备受关注的问题。国内外有关研究机构的专家学者,在黄土高原水土保持蓄水拦沙效益方面进行了长期探索,取得了许多有价值的研究成果。黄委会天水、绥德、西峰水土保持科学试验站,中央及省属的主要水保科研院所,从 20 世纪 50 年代起就陆续在黄土高原几个主要侵蚀类型区建立了径流小区及小流域径流泥沙观测站,对水土保持措施的拦沙效益进行了研究。诸多学者如唐克丽<sup>[5]</sup>、张胜利<sup>[19]</sup>、刘立斌<sup>[20]</sup>、高建恩<sup>[21]</sup>等人,在分析与总结水土保持减水减沙效益中提出了不同的指标,指标中拦沙效应大多是以侵蚀模数、拦沙量、保土率、输沙率、输移比、拦沙效益等为主要指标,减流效应常以某一流域或坡面减少径流量,以及径流系数、蓄水量、调控度等为主要指标。总体看来,这些指标大多都以减少侵蚀量或径流量的幅度或大小来反应某种措施的好坏,缺乏诸如“侵蚀水当量、用水减沙比”等同时反映坡面或流域拦截径流与泥沙多寡的综合性指标<sup>[25]</sup>。这些综合性指标对于分析水土保持效应或评价各种径流调控措施尤为重

要,但相关指标初步提出,尚有许多问题需要进一步探讨。

### 2.3 土壤侵蚀过程机理方面

关于黄土区开展的水土保持措施如何发挥其减流减沙效应,也即控制水土流失机理方面,国内学者作了大量研究。赵鸿雁<sup>[22]</sup>、刘定辉<sup>[23]</sup>、琚彤军<sup>[24]</sup>分别对黄土高原森林植被的水土保持机理、紫色丘陵区蓁草植物篱的根系固土、地表生物量保护土壤的减流减沙机理以及黄土主要类型区植被抗侵蚀能力方面做了大量研究。吴淑芳<sup>[25]</sup>对坡面水土保持工程措施、生物措施、化学措施的水沙效应进行了研究,初探了各项措施基于坡面流体力学特征性的减流减沙机理。胡振华<sup>[26]</sup>研究了小麦休闲期坡耕地采取高茬、低茬、低茬覆盖等不同耕作措施的减流减沙机理。另外,为合理布设水土保持措施,诸多学者开展了土壤水蚀过程方面的侵蚀机理研究。Gile<sup>[27]</sup>、Nearing<sup>[28]</sup>通过分析缓坡地细沟水流水力学特性,得出只有坡面径流侵蚀力大于土壤颗粒分散临界切应力时,径流才会对土壤分散侵蚀。郑粉莉<sup>[29]</sup>等人发现,黄土坡面侵蚀产沙具有明显的分带性,坡面侵蚀产沙强度变化的本质为侵蚀方式的演变,据此认为水土保持措施中采用分段拦蓄是控制坡面水土流失的关键。吴普特<sup>[30-31]</sup>从径流冲刷动力角度出发,分析了径流冲刷及侵蚀产沙作用实质,提出了表征径流冲刷与土壤抗冲作用效果的土壤抗冲性动态指标。张光辉<sup>[32]</sup>在分析国内外坡面径流分离土壤过程水动力学研究进展中总结得出:影响径流分离、泥沙输移的因素总体可分为水力参数、土壤参数和细沟特征3大类。水力参数包括水流形态、水深、流速、流量层流厚度、切应力、温度、水流比重。土壤参数包括土壤类型、土壤可蚀性因子、土壤比重、土壤粘聚力、土壤阻力、土壤颗粒构成及沉降速度等。细沟特征包括细沟长度、坡度、宽度、边壁坡度、细沟数量和密度等。李鹏<sup>[33]</sup>等人分别利用坡面径流剪切力、坡面径流能耗和坡面径流单位水流功率理论对坡面土壤侵蚀发生过程进行了研究。发现坡面径流平均输沙率与坡面径流平均剪切力之间、径流单宽输沙率和单宽径流能耗之间、坡面径流功率与径流平均输沙率之间均存在比较明显的线性关系,3种理论在土壤侵蚀研究中的应用各有优势,但坡面径流能耗理论相对简便并且误差较小,更利于对坡面土壤侵蚀过程进行描述。

综上所述,对于坡面侵蚀产沙过程及其减流减沙机理仍缺乏深入了解,没有完善的坡面薄层水流侵蚀与泥沙搬运理论,对细沟侵蚀机理及成因仍未

彻底搞清;另外由于缺乏合适的地貌,尤其微地形变化指标来说明其对坡面产沙影响,也没有完善的土壤抗蚀理论,更加上人为作用难以定量分析,从而使土壤侵蚀动态演变过程的机理分析很难澄清。

## 3 亟待开展的研究内容

地表径流调控应成为防治水土流失的核心思想,深入开展径流调控技术方法、调控效应的研究工作,从复杂地表的水动力学出发研究不同水土保持措施的蓄水拦沙机理应成为水土保持学科的研究重点之一。纵观文献,笔者认为水土保持工作中径流调控技术、效益以及侵蚀动态机理等尚有很多科学问题需要解决,具体归纳为如下3大方面:

(1) 针对目前零散的水土保持措施,以消除或降低坡面径流造成水土流失的主要动力为出发点,通过改变地下或地表状况,发展以“地表径流调控”为核心的水土保持技术措施,丰富径流调控方法与技术的理论知识是目前水土保持发展的主要方向;

(2) 对于复杂地表的侵蚀产生机理,水流运动动态过程以及能够同时反映径流与泥沙多寡水土保持效应的综合性指标等问题仍需要深入研究。如何选择复杂地表的微地形变化指标来说明其对坡面产沙影响,目前还没有完善的土壤抗蚀理论;复杂地表的坡面流水动力学特性计算及流速测定方法也是国内外研究的热点,也是目前亟待解决的问题,目前的实验手段和观测仪器设备仍需要突破与提高。

(3) 土壤侵蚀是水流和土壤相互作用的复杂物理过程,在水土保持与土壤侵蚀研究中,径流冲刷动力是土壤侵蚀的主要动力,如何将水力学、土力学、生物力学及泥沙运动力学较好的结合起来,分析坡面径流的冲刷、分离土壤的过程,解释坡面侵蚀产沙产流过程的本质,揭示径流调控措施对坡面径流、泥沙调控的作用机理是今后研究的方向。

### 参考文献:

- [1] 唐克丽.黄河泥沙与黄土高原水土流失综合治理问题[J].中国水土保持,1985(12):12-14.
- [2] 郭廷辅,段巧甫.径流调控理论是水土保持的精髓:四论水土保持地特殊性[J].中国水土保持,2001(11):1-6.
- [3] 杨文治,吴钦孝.黄土高原水土保持目标及对策[J].水土保持研究,1999,6(2):76-80.
- [4] 吴普特,汪有科,冯浩,等.21世纪中国水土保持科学的创新与发展[J].中国水土保持科学,2001,1(2):84-87.
- [5] 唐克丽.中国水土保持[M].北京:科学出版社,2004.
- [6] 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, 崔崑, 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. 海南岛生态系统土壤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. Rescaling lower resolution slope by histogram matching[ C ]// Zhou Q, Lees BG, 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.