

DOI: 10.5846/stxb201909021821

李宗善, 杨磊, 王国梁, 侯建, 信忠保, 刘国华, 傅伯杰. 黄土高原水土流失治理现状、问题及对策. 生态学报, 2019, 39(20): - .

Li Z S, Yang L, Wang G L, Hou J, Xin Z B, Liu G H, Fu B J. The management of soil and water conservation in the Loess Plateau of China: Present situations, problems, and counter-solutions. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(20): - .

黄土高原水土流失治理现状、问题及对策

李宗善¹, 杨磊^{1,*}, 王国梁², 侯建³, 信忠保³, 刘国华¹, 傅伯杰¹

1 中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085

2 中国科学院水利部水土保持研究所, 杨陵 712100

3 北京林业大学水土保持学院, 北京 100083

摘要:黄土高原位于黄河中游地区,是世界上水土流失最为严重的区域之一;黄土高原水土流失治理问题历来受到国家高度关注,涌现了种类多样的水土流失治理模式,目前还缺乏对黄土高原区域尺度水土流失治理模式的总结和整理。本文总结和整理了建国以来黄土高原主要的四类水土流失治理模式,生物措施模式主要由退耕还林、荒山造林和封山育林工程组成,工程措施模式包括修建梯田和淤地坝,以及近期涌现的沟道治理工程;小流域综合治理模式主要体现在坡面、沟道系统整治,生物和工程措施相结合的特点,区域综合治理模式则强调对生态系统进行整体保护、系统修复和综合治理,达到生态、社会、经济可持续发展。最后,本文基于黄土高原水土流失治理模式存在的问题,提出了黄土高原水土流失治理模式调整和优化建议,以期对黄土高原生态恢复建设和水土流失科学治理提供科学依据。

关键词:水土流失;治理措施;黄土高原

The management of soil and water conservation in the Loess Plateau of China: Present situations, problems, and counter-solutions

LI Zongshan¹, YANG Lei^{1,*}, WANG Guoliang², HOU Jian³, XIN Zhongbao³, LIU Guohua¹, FU Bojie¹

1 State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Science, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

2 Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Science & Ministry of Water Resources, Yangling 712100, China

3 School of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

Abstract: The Loess Plateau, located in the upper and middle reaches of China's Yellow River, is both the largest and deepest loess deposit in the world. Over 60% of this land is a gully-hill dominated region owing to massive soil erosion during the extensive cultivation activities over the past thousands of years. Issues regarding soil and water conservation in the Loess Plateau have always attracted great attention from the state government, and various types of models have emerged for soil and water conservation in this land area. However, there is no systematic summary of models for soil and water conservation at the regional scale in the Loess Plateau. In the present study, four dominant models of soil and water conservation were identified in the Loess Plateau since 1949, after the founding of the People's Republic of China. The biological model is mainly the Grain to Green Project, comprising afforestation for barren hills and plantation for enclosed hills. The engineering model mainly comprised the construction of terraces and check-dams, as well as the recently adopted gully control and land reclamation projects. The comprehensive management model of small watersheds is mainly embodied by the regulation of slope and gully areas through the combination of biological and engineering models. A comprehensive

基金项目:中国科学院科技网络服务计划(STS)项目(KFJ-STZ-ZDTP-036);国家十三五重大研发计划项目(2016YFC0501602);国家自然科学基金项目(41571503)

收稿日期:2019-09-02; 修订日期:2019-10-09

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: leiyang@rcees.ac.cn

model at the regional scale emphasized the integrated protection, systematic restoration, and comprehensive management, to achieve sustainable development in the elements of ecology, society, and economy systems. Based on the existing problems with the models for soil and water conservation in the Loess Plateau, we have presented a strategy for the adjustment and optimization of models for soil and water conservation in this region to provide a scientific basis for ecological restoration and soil erosion management in the Loess Plateau.

Key Words: soil and water conservation; management models; the Loess Plateau

黄土高原位于黄河中游,总面积约 64 万 km^2 ,属于温带大陆性气候,年均降雨量为 250—600 mm;黄土高原是世界上面积最大的黄土堆积区,具有连续的第四纪黄土堆积,区内高塬沟壑区和丘陵沟壑区黄土厚度大多在 100—300 m 左右^[1-2]。黄土高原大多数区域存在严重的土壤侵蚀问题,是世界上水土流失最为严重的区域之一^[3];黄土高原又是中华民族的重要发祥地,在古代历史上相当长时间,植被覆盖度高、生态环境条件优越,所谓“山林川谷美,天才之力多”描述了黄河流域一带自然风物,《资治通鉴》记载了盛唐时期陕甘地区“间阎相望、桑麻翳野,天下富庶者无如陇右”。古代文献、花粉与古环境研究均表明黄土高原森林分布范围比目前要广泛得多^[4-5]。

经过人类社会长期的农耕开垦利用,特别是明、清以来,滥垦、滥牧、战乱使黄土高原自然森林和草原植被几乎破坏殆尽,生态环境遭到严重破坏,陕、甘等西北地区出现严重的土壤侵蚀,土地出现严重的沙化和荒漠化问题,成了目前黄土高原沟壑纵横、秃岭荒山的地貌特征^[5-6]。黄土高原大部分地区土壤侵蚀模数高于 $1000 \text{ t km}^{-2} \text{ a}^{-1}$,丘陵沟壑区土壤侵蚀十分剧烈,土壤侵蚀模数大部分高于 $5000 \text{ t km}^{-2} \text{ a}^{-1}$,其中黄普川流域土壤侵蚀模数最高,接近 $25000 \text{ t km}^{-2} \text{ a}^{-1}$ ^[7-8]。20 世纪 70 年代前,三门峡水文站观测的黄河输沙量约为每年 16 亿 t,其中 90%来自黄土高原^[9]。据估计,每吨土壤流失中,包含 0.8—1.5 kg 铵态氮、1.5 kg 全磷和 20 kg 全钾。以每年 16 亿 t 土壤流失计算,共约有 3800 t 铵态氮、全磷和全钾流失^[10]。黄土高原的土地资源由于水土流失变得十分贫瘠,粮食产量低,产生了“越垦越穷、越穷越垦”的恶性循环,水土流失问题成为制约黄土高原区域经济健康发展的重要限制因素^[11-12]。

黄土高原水土流失控制和治理历来受到人们的关注,民国时期李仪祉、张含英等人主持的黄委会就十分重视黄河上中游的水土保持工作,在黄土高原多处成立水土保持试验区^[13];20 世纪 50 年代至 70 年代,国家主要开展了植树造林、梯田和淤地坝建设工程;80 至 90 年代后主要开展小流域治理和三北防护林建设,2000 年以来重点开展退耕还林(草)工程、坡耕地整治和治沟造地工程^[8,14-17];2016 年黄土高原作为国家第一批山水林田湖生态保护修复工程试点,统筹山水林田湖草系统治理工作,并结合乡村振兴和生态文明建设,黄土高原水土流失治理工作进入了新的阶段^[18-20](表 1)。

从总体上看,黄土高原目前实施的水土流失治理措施和工程均取得了显著的生态效益,区域生态系统服务整体向健康方向发展;然而黄土高原整体生态环境脆弱特点没有改变,在新时代背景下黄土高原高原水土流失治理也进入了新的时期,面临新的问题^[21-22]。本文系统总结了黄土高原水土流失治理的主要措施和经验,并对其生态效益和存在的问题进行讨论,提出了黄土高原水土流失治理的调整优化建议,为黄土高原地区更加科学治理水土流失、防治土壤退化和维护生态平衡与可持续发展提供科学依据。

1 黄土高原水土流失治理重要措施及成效

黄土高原水土流失治理模式针对治理对象不同大致可以分为两类,一类以治理坡面土壤侵蚀为目的的生物措施模式,主要包括植树造林、植被自然恢复以及修建梯田,一类是以治理沟道土壤侵蚀为目的的工程措施模式,主要包括修建淤地坝以及最近开展的治沟造地工程。植树造林和植被自然恢复主要通过增加植被覆盖度来降低水土流失,梯田主要通过平整土地和减少坡长来控制坡耕地水土流失,而淤地坝和治沟造地则能够

拦截沟谷泥沙,淤地造田^[6, 8]。随着科学技术的进步和区域经济社会的发展,人民更加注重沟坡兼治的小流域综合治理模式,十八大以来,结合生态文明、乡村振兴、山水林田湖草新理念,黄土高原土流失治理模式逐渐强调治理的整体性和系统性^[18-19]。

表 1 黄土高原过去 60 年生态治理分析^[6]

Table 1 Historical analysis of ecosystem management during the past 60 years on the Loess Plateau ^[6]						
时间段 Time periods	1950—1960 年代中期 1950s—middle 1960s	1960—1970 年代末期 1960s—end 1970s	1980—1990 年代末期 1980s—end 1990s	2000—2010 年 2000—2010	2011—2016 年 2011—2016	2017—至今 2017—present
治理模式 Management models	坡面治理	沟坡联合治理	小流域综合治理	退耕还林还草	退耕还林还草 治沟造地	退耕还林还草 治沟造地 山水林田湖草治理 乡村振兴工程建设
主要目的 Major purposes	控制坡面侵蚀 增加粮食产量	控制坡-沟侵蚀 拦截泥沙 增加粮食产量	控制坡-沟侵蚀 拦截泥沙 增加粮食产量 改善生态环境	改善生态环境 降低土壤侵蚀 提高粮食产量 增加农民收入	改善生态环境 降低土壤侵蚀 提高粮食产量 增加农民收入	景观格局优化 产业结构调整 生产生活方式转变
主要措施 Main methods	梯田 植树造林	梯田 淤地坝 植树造林	梯田 淤地坝 植树造林 自然修复	自然修复 骨干坝 植树造林 梯田	取土填沟 自然修复 骨干坝	重点流域综合整治 生态循环经济建设 宜居美丽乡村建设
发展规律 Changing trends	工程治理为主	工程治理为主	工程治理开始向生物治理转变	生物治理为主	工程治理与生物治理相结合	工程治理为主

1.1 生物措施模式

生物措施模式是通过增加植被覆盖度来控制水土流失的方法,主要控制坡面尺度的土壤侵蚀,主要体现在 1999 年以来国家大规模实施的退耕还林还草工程实施上。在 2000—2015 年期间,黄土高原共完成退耕还林工程建设任务 581.12 万 hm²,其中退耕还林 215.07 万 hm²、荒山造林 328.65 万 hm²、封山育林 37.5 万 hm²^[23]。退耕还林还草工程的大规模实施已使得黄土高原生态环境条件明显改善,一个突出特征是区域植被覆盖度显著增加,从植被覆盖指数来看,1980 年代以来黄土高原植被覆盖指数上升了 11.5%,2000—2015 年期间,黄土高原植被指数增长率远高于全国平均水平^[24]。退耕还林还草工程也显著提升了区域生态系统服务功能,在土壤保持方面,从 2000 年到 2015 年,平均土壤侵蚀由 47.37 t/hm²下降到 18.77 t/hm²,年减少土壤侵蚀量 34.4 亿 t^[25];黄河黄土高原段输沙量呈现显著下降趋势,黄河年平均输沙量从 20 世纪 70 年代 13 亿 t/a 下降到不足 3 亿 t/a^[26]。在固碳方面,黄土高原净生态系统生产力显著增加,且主要集中在黄土丘陵沟壑区等退耕还林还草工程实施区域;黄土高原在退耕还林还草工程实施以来,实现了从碳源向碳汇的转变,区域累计固碳量约为 960 万 t^[27-28]。

黄土高原以延安地区的植被覆盖度增加最为明显,退耕还林工程实施以来,延安共完成退耕还林面积 71.83 万 hm²,占国土总面积的 19.4%,占全省的 27%,延安市植被覆盖率由 46% 上升到 81.35%。从遥感影像图上看(图 1),延安地区植被覆被情况显著改善,大地基

调已实现从黄到绿的转变。延安地区土壤侵蚀模数从 9000t/km²下降为 1077 t/km²,入黄泥沙量由每年 2.58 亿吨下降为 0.31 亿 t,基本实现了土不下山、泥不出沟;城区空气优良天数从 238 d 增加到 313 d,大风扬尘天气从 19 次/a 下降为 5 次/a,年降雨量从约 500 mm/a 上升到 600 mm/a 以上^[29-30]。由此可见,延安通过长期退耕还林工程的实施,区域生态环境条件得到了明显的改善,森林植被涵养水源、土壤保持、调节气候等生态系统服务功能已经初步显现。

退耕还林工程也是惠民利民的生态建设项目,延安地区 80% 以上的农民受益,截至 2018 年,退耕户户均获得补助 3.9 万元,人均 9038 元。在实施退耕还林工程同时,延安市采取封山禁牧、舍饲养畜、生态移民、建设基本口粮田、发展现代农业产业等多种措施,从而农民群众生产生活水平得到巩固和提高,农民人均纯收入由退耕前的 1313 元增加到 10856 元,退耕还林成果得到进一步巩固和加强^[30]。

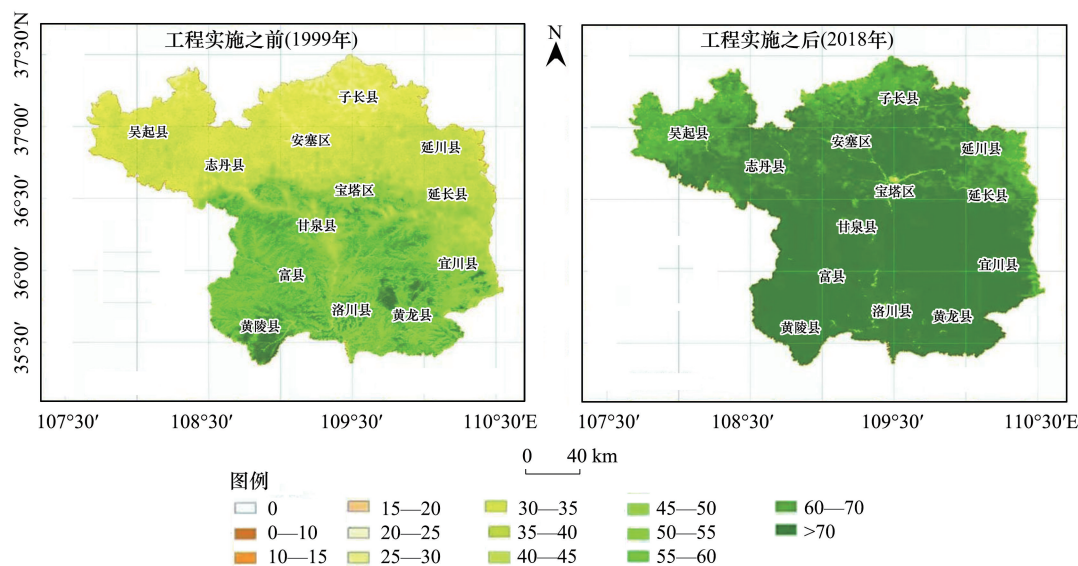


图1 延安市退耕还林工程实施 20 年遥感植被覆盖度对比(延安气象局制)

Fig.1 The comparison of vegetation cover after the Grain to Green Program initiated during past two decades in Yanan region of Shaanxi Province of China (provided by Yanan Meteorological station)

(a) 工程实施之前(1999 年), (b) 工程实施以后(2018 年)

1.2 工程措施模式

1.2.1 梯田

修建梯田一直是黄土高原坡面水土流失治理的核心工程措施,而且梯田占总耕地面积的比例也在逐年增加,截止 2017 年,黄土高原梯田面积占总耕地面积达到 60%左右,梯田建设和相应的植被恢复措施可有效减少坡地水土流失,改善区域生态环境,并使得景观要素配置趋于优化(图 2)。梯田也使得耕地质量得到明显改善,梯田粮食平均单产可以达到坡耕地的 2—3 倍,由于梯田建设的高效农田,黄土高原在大规模退耕还林还草工程实施背景下,粮食总产量仍有波动性上升的趋势^[31]。另外,梯田苹果是黄土丘陵沟壑区经济发展的支柱产业,仅延安地区梯田苹果面积近 16.67 万 hm^2 ,值超过百亿,是“绿水青山就是金山银山”在黄土高原生态产业发展的重要体现形式。黄土高原大规模的梯田建设,形成了保障这一地区粮食和生态安全、推进乡村振兴战略实施的重要资产储备^[32]。

黄土高原梯田建设、使用和维护,也应当综合考虑当地经济发展状况、农业发展需求、农业人口数量等,科学统筹和规划梯田的建设和整理,以利于农产品产业化经营、多样化经营和农业经济的持续、稳定增长^[33]。另外,对于梯田的新建和扩建则要严格控制,需因地制宜根据农业经济发展和当地居民需求进行科学规划和统筹,合理配置农业用地和生态用地,避免大规模新建、扩建梯田,以维护退耕还林还草成果和区域生态安全^[34]。

1.2.2 淤地坝

在生态脆弱的陕北黄土高原地区,淤地坝既能拦截泥沙、保持水土,又能淤地造田、增产粮食,是黄土高原分布最为广泛和行之有效的水土流失保持措施(图 3)。在淤地坝发展过程中,历经了由小型到大型,从蓄水拦泥到淤地生产,从单坝建设到坝系建设的过程,大体分为 4 个阶段:20 世纪 50 年代的试验示范阶段;60 年代的推广普及阶段;70 年代的发展建设阶段;80 年代以来以治沟骨干工程为骨架、完善提高坝系建设的规范化建设阶段^[35]。

淤地坝是黄土高原分布最广的水土流失保持措施,主要防治沟道水土流失,具有较好的生态效益和粮食



图 2 定西安家沟梯田建设景观

Fig.2 The terrace landscape of the Anjia watershed of Dingxi country in the Gansu Province

供给作用。淤地坝作为控制水土流失的重要措施,经过 50 年的建设,黄土高原的淤地坝数量已经超过了 10 万座以上,主要分布于陕西(36816 座)、山西(37820 座)和内蒙古地区(17819 座)。淤地坝有效的控制了黄土高原的水土流失,每年减少入黄泥沙

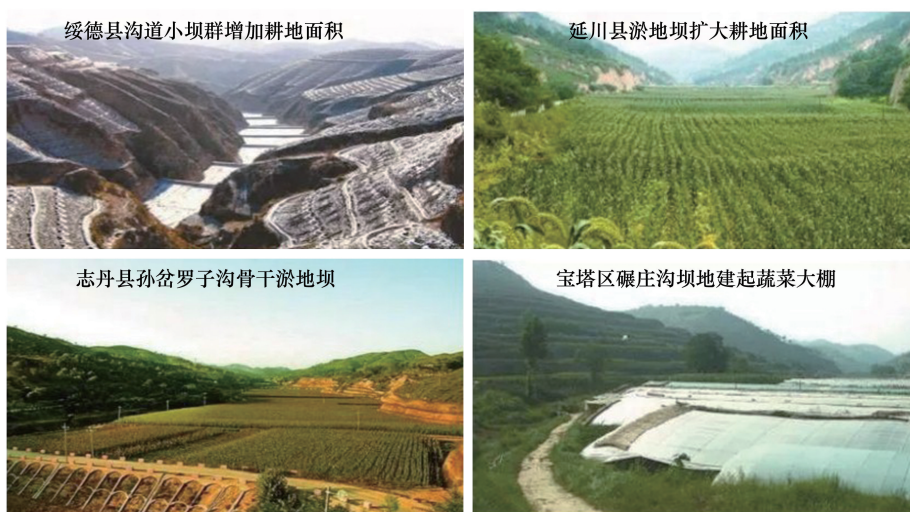


图 3 陕北地区淤地坝建设及利用情况

Fig.3 The construction and use type of the check dams in the northern Shaanxi Provinces of China

约为 3—5 百万 t,目前已经截留了 280 亿 t 水土流失总量。淤地坝中的土壤有机质含量较高,达到了 3.4g/kg,黄土高原淤地坝的碳蓄积量可达到 9.52 亿 t,相当于中国森林植被的碳蓄积量的 18%—24%,是黄土高原 1998—2004 时段退耕还林植被碳储量的 400 倍^[36]。当淤地坝淤满以后,因为具有良好的土壤养分和水分条件,可以转化为优质农田,在 2002 年,淤地坝农田规模达到了 3200 km²。通过遥感数据分析可以推算出,淤地坝农田的土壤水分含量是坡耕地农田的 1.86 倍,粮食产生是梯田的 2—3 倍,是坡耕地农田的 6—10 倍,淤地坝农田平均单产可以达到 4.5 t/hm²,有些地段淤地坝产量可以达到 10.5 t/hm²,黄土高原淤地坝农田只

占总农田面积的 9%,粮食产生占总粮食产量的 20.5%^[37-38]。

高产稳产的淤地坝农田建设,实现了少种多收,劳动强度也大幅度降低,使农民退出坡地的自觉性大大提高,为退耕还林还草创造了条件,每公顷坝地可促进 6—10 公顷坡地退耕,将加快区域植被的快速有效恢复,充分保障退耕还林还草工程顺利实施。淤地坝建设还具有优化产业结构,促进当地经济社会发展的作用,在淤地坝农田,优质品种的引进,现代农机具和地膜覆盖、温室大棚技术的使用和推广,大大提高了农业集约化经营程度和土地生产利用率及产出率;同时在退耕坡地上栽植经济林、药材,发展高效牧草,促进了林果业和畜牧业的发展^[39]。

淤地坝坝系工程,不仅水土保持作用巨大,应对极端气候事件的防灾减灾能力也十分明显,2017 年榆林无定河流域发生“7·26”特大暴雨洪水,具备完整沟道坝系建设的韭园沟流域的洪峰流量相对对照流域削减达到 8 倍,洪水最大含沙量也仅为对照流域的三分之一;尽管本次暴雨历时长、雨强大,但韭园沟流域经过淤地坝的层层拦截,沟口洪水流量和含沙量均已大大降低,进一步证明淤地坝在拦沙淤泥、防洪减灾等方面的重要作用^[40]。

1.2.3 治沟造地

治沟造地是集坝系建设、旧坝修复、盐碱地改造、荒沟闲置土地开发利用和生态建设为一体的一种沟道治理新模式,通过闸沟造地、打坝修渠、垫沟覆土等主要措施,实现小流域坝系工程提前利用受益,是增良田、保生态、惠民生的系统工程^[41]。在延安市大规模退耕还林还草工程实施以后,坡耕地农田面积急剧减少,农村基本农田保障和区域粮食安全受到很大影响;就此延安市在 2011—2012 年首先开展治沟造地工程建设(图 4),共完成治沟造地面积 0.84 万 hm^2 ,并于 2013 年被列入全国土地整治重大工程而在全市迅速推广,截止目前共完成治沟造地面积 3.38 万 hm^2 ,累计投资 51.72 亿元,新增耕地 0.31 万 hm^2 ,取得了显著成效^[42]。

沟造地工程是根据陕北黄土丘陵沟壑纵横的地貌特点,在继承几十年来淤地坝建设的成功模式基础上,改坝库天然淤沙为人工填土,快速造地、变荒沟为良田,是行之有效的正确途径^[43];治沟造地工程的全面实施不仅增加了黄土高原地区基本农田耕地面积,保障了区域粮食安全,而且对保护生态环境、促进社会主义新农村建设都具有积极意义。另外,治沟造地工程要着眼长远、科学规划,坚持增加耕地和保护环境并重,坚持造田不毁林,尽量增加造地成本投入建设高质量农田,精耕细作,提高生产效率,以促进黄土高原地区农业可持续发展,使治沟造地成为黄土高原利国利民的民生工程、生态工程^[44]。

1.3 小流域综合治理模式

小流域综合治理模式就是按照优化治理目标,把水土保持诸项技术措施按一定的结构进行科学配置,从而形成综合系统,使小流域的资源得到有效的保护,积极培育和科学开发利用,促进流域内农、林、牧、副等各个行业持续协调发展,发挥最大的综合效益^[45]。黄土高原以小流域为单元开展水土保持综合治理试验最早始于 1950 年代,直到 1980 年才正式开始试点、推广和全面发展,截至目前黄土高原已先后开展 3000 多条小流域的治理开发,小流域内植被覆被度明显增加,土地利用类型发生根本转变,取得了显著生态成效^[46-47](图 5)。黄土高原小流域治理开发过程中,大致可以化为 3 个阶段,首先是从 1980 代初期到中期,小流域治理尚属积累经验阶段,水土保持是小流域治理的主要目标,根据小流域地貌特点和水土流失规律,布设适宜的治理措施,从而达到层层设防、节节拦蓄控制水土流失;1980 年代后期,为了适应整个国家以经济建设为中心的形势,黄土高原水土保持小流域治理也逐步突出了经济效益,通过治理与开发相结合,寓经济效益于治理措施之中,出现了一些效益型治理的小流域,为水土保持治理注入了新的理念;1990 年代开始,水土保持小流域治理

开始以市场为导向,对小流域不同部位实施综合治理与开发,建立适度规模的商品生产基地,建立小流域的支柱性主导产业,增强了水土保持的内在活力,有利于促进治理和巩固治理成果,并且助力乡村振兴和农民致富,从而推动水土保持小流域治理开发迈上了一个新的台阶。

陕北典型丘陵沟壑区主要存在 5 种类型的小流域治理模式:混农林业模式、经济林(作物)模式、生态农



图4 陕北延安地区治沟造地工程

Fig.4 The gully control and land reclamation projects in Yanan city of the northern Shaanxi Province, China

业模式、林草模式生和传统农业模式。结合小流域综合治理的基础资料(生物措施、工程措施及生态恢复措施等),并结合社会经济方面数据,可以构建能够相关的指标体系(反映生态、社会和经济效果)对全面评价小流域治理效果;研究表明在陕北地区,采用混农林业模式、经济林(作物)模式、生态农业模式和林草模式生态、社会、经济效益都比较好,传统农业模式各类效益均较差^[46]。在黄土高原水土流失问题比较严重的区域,应因地制宜采用混农林业模式、经济林(作物)模式、生态农业模式进行治理,从而加快治理速度,减少治理投资,提高治理水平和效益^[46]。

陇东高原沟壑区水土流失治理主要以“固沟保塬”为主,是指在“固沟-护坡-保塬”理念下的“塬面径流调控、坡面植被恢复、沟道水沙集蓄”三道防线治理模式。一是在塬面和沟头形成以水系、道路为骨架的田、路、林、村、防护林等相配套的塬面、沟头综合防护体系,防止塬面侵蚀沟的发育;二是在坡面形成以植被恢复为主,工程措施与林草植物措施相结合的沟坡防护体系,减轻沟坡水力侵蚀;三是营沟道防冲林,形成以沟道工程与林草植物措施相结合的沟道防护体系,防治崩塌、滑坡、沟岸扩张等重力侵蚀^[48]。2018年正式实施的《黄土高原沟壑区固沟保塬综合治理规划》,规划治理流域面积为2.83万 km^2 ,保护塬面面积0.13万 km^2 ,治理侵蚀沟8968条,规划以“固沟保塬”为目的,结合当地乡村建设、生态及人居环境建设,提出了建立立体防控和塬面径流调控两大综合治理体系,在治理水土流失的同时,促进农业增效和农民增收,取得显著生态效益、经济效益和社会效益^[48]。

黄土高原西北部的水蚀风蚀交错区,由于风蚀水蚀交互影响,再加上人为不合理的开垦和放牧等,生态环境条件极为脆弱,在这一地区应以发展生态防护林带为主,乔灌草结合,造林与营林并提,防护林和经济林并举,走生态经济林业道路,以生态防护林为主体,农林牧副协调发展的绿色生态系统,最终达到改善生态环境,促进社会经济的全面发展的目的,实现生态效益、经济效益和社会效益的有机结合^[49]。

1.4 区域综合整治模式

早在民国时期,李仪祉就已经认识到“黄河之患,在于泥沙。欲减黄河之泥沙,自须防西北黄土坡岭之冲刷”,并引入了西方的水土保持理论,在黄土高原进行了水土流失治理实践^[13]。以根治泥沙为治黄之本,提出

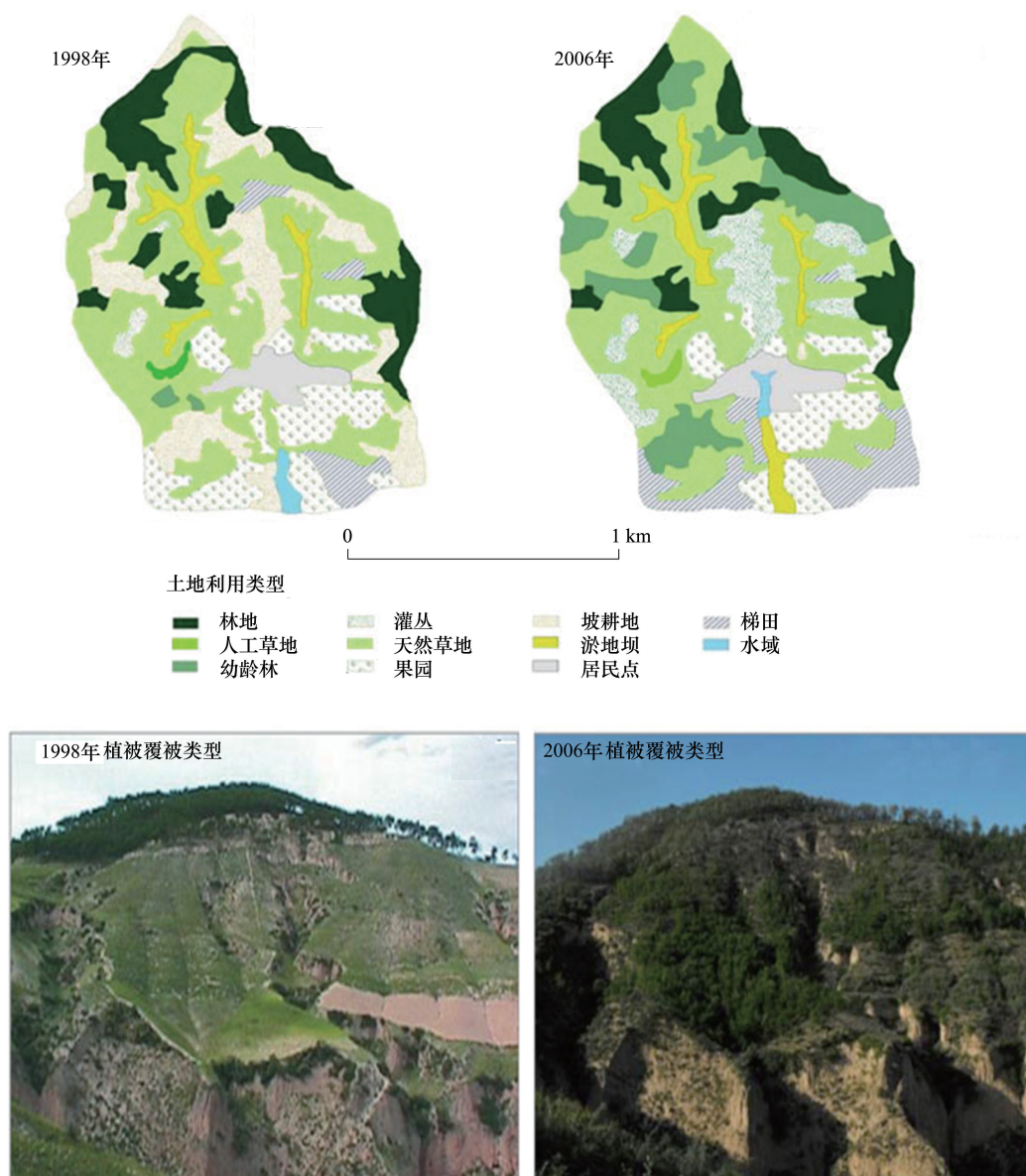


图5 延安羊圈沟小流域治理前后土地利用(a)和植被覆被(b)类型变化^[47]

Fig.5 The comparison of land use type (a) and vegetation cover (b) before and after the integrated management in the Yangjuangou watershed of Yanan city, Shaanxi Province of China^[47]

了精辟的水土保持观点、措施和方法。一是他认识了土壤侵蚀的三种主要方式,即风力、水力、重力侵蚀,因害设防;二是从土地利用上,提出治理坡耕地、培植森林、广种苜蓿、改良盐碱荒沟荒滩;三是在治理方式上,层层设防,从坡、沟、川、滩分层治理;四是在泥沙利用上,提出了保(就地蓄水保土)、拦(坎库拦淤)、排(排洪排沙)、淤(引洪淤灌)^[13],从而奠定了我国水土保持理论基础,成为我国近代水土保持工作的先驱。

新中国成立后,毛主席就认识到林业对防治水土流失的重要性,“在垦荒的时候,必须同保持水土的规划相结合,避免水土流失的风险”;毛主席非常强调植树造林、保护生态环境对社会主义建设的重要性,并发出了“绿化祖国”的号召,并提出全国 1.2 亿 hm^2 耕地实行“三三制”,即三分之一农业生产,三分之一种草,三分之一种树,实现农、林、牧业协调发展^[2]。1980—1990 年代,我国政府根据黄土高原恶劣的生态环境提出了“植树造林、绿化沙漠、建设生态农业,再造一个山川秀美的西北地区”以及“退田还林,封山绿化,个体承包,以粮代赈”十六字方针,指明了黄土高原治理水土流失治理的总体方向和目标^[6]。

中科院院士朱显谟于 20 世纪 80 年代初提出了黄土高原国土整治“28 字”方略,即:“全部降水就地入渗拦蓄,米粮下川上塬,林果下沟上岔,草灌上坡下坵”,主要是在重建黄土高原土壤水库的基础上,对旱地农业和植被恢复进行科学布局^[50]。根据新时代黄土高原生态治理的新特点,中科院院士周卫健和安芷生院士提出了《新时代黄土高原生态环境综合治理“26 字”建议》,即:“塬区固沟保塬,坡面退耕林还林草,沟道拦蓄整地,沙区固沙还灌草”,对黄土高原生态环境综合治理起到重要的指导作用^[21]。

虽然我国开展的各项生态工程对生态环境的保护和修复起到了积极的作用,然而由于对生态系统各要素流动性、区域内社会经济与生态环境协调性、流域上下游关联性问题考虑不足,规范缺乏统一性、系统性和整体性,生态保护和恢复工程总体效果还不够理想,部分生态问题还较突出^[50]。在此背景下,基于整体生态系统观,国家十九大提出“山水林田湖草生命共同体”的概念,重视生态系统完整、稳定、健康等特征,统筹兼顾生态系统各要素及各部门,对生态系统进行整体保护、系统修复和综合治理,成为我国当前生态保护与修复的重点任务,黄土高原丘陵沟壑区也于 2017 年列入我国首批五个国家重点生态功能区山水林田湖草系统保护修复试点之一^[51-52]。

2 黄土高原水土流失治理措施存在的问题

(1) 现存的水土流失治理模式急需经营维护

经过长期生态建设,黄土高原人工生态林面积已有较大规模(约 7.47 万 km²),部分人工生态林由于营建不合理,出现了林分结构单一、植株密度过大、生物多样性低、土壤环境干旱化和大面积衰退等问题,影响着植被稳定性和生态服务功能的发挥,难以满足新时代生态文明建设的需求,急需进行结构改造和功能提升^[29];有研究表明,黄土高原现有的人工植被覆盖度已经接近了该地区水分承载力阈值,不合理的人工林建设可能对区域水文循环和社会用水需求造成影响^[28]。

另外,黄土高原经历了长期持续水土流失治理工作,现有水土保持工程是多批次水土保持建设累积,存在经营维护不足现象。水土保持低功能林面较大,梯田淤地坝缺乏维修和管护,低效粗放经营经济林较为普遍。梯田、淤地坝等工程日常经营维护不足,存在不同程度年久失修,水土保持功能发挥不充分的问题。如何将黄土高原现有水土保持工程开展有效经营维护,改造提升水土保持功能,是今后黄土高原水土流失治理重要工作方向^[4, 8]。

(2) 水土流失治理理念亟待更新

十九大以来,生态文明建设进入新时代。黄土高原水土流失治理理念需要紧跟时代步伐,用最新生态文明建设理念指导黄土高原水土流失治理工作。目前,黄土高原水土流失治理仍以减缓水土流失和增加耕地面积为主要目标,这与国家生态文明建设理念要求还存在距离。践行绿水青山也是金山银山的绿色发展理念,统筹山水林田湖草系统治理,以水土流失治理为抓手建设美丽中国,形成绿色发展方式和生活方式,赋予新时代黄土高原水土流失治理更多目标和使命^[6]。

(3) 水土保持治理目标不够系统综合

当前黄土高原水土流失治理目标与社会需求存在一定脱节现象。新时代背景下,黄土高原需求已从过去减少水土流失,增加粮食供给能力,转为提升生态环境质量,改善人居环境,增加经济收入,促进城乡社会经济繁荣。传统水土流失治理目标过于单一,与新时代对水土保持要求不匹配。今后,水土流失治理目标需要更多考量区域社会经济发展,统筹山水林田湖草多要素,实现生态建设与社会经济发展高度融合,赋予水土保持更加系统综合治理目标^[22]。

(4) 水土流失治理对农民增收贡献不大

黄土高原水土流失治理增强了粮食供应能力,改善了当地生态环境,但对农民收入增加贡献比重不高。长期以来,黄土高原水土流失治理以政府投资和补助为主,农民对水土流失治理投入积极性不高。如何更好地治理黄土高原水土流失,优化产业结构,并与增加农民收入相结合,让农民从中得到更多实惠,形成生态系

统健康可持续和农民增收脱贫不返贫的水土流失治理新模式,是当前亟待解决的问题^[51]。

3 黄土高原水土流失治理前景及展望

(1) 践行新时代水土流失治理新理念

黄土高原水土流失治理应该走出传统水土流失治理理念,赋予水土流失治理更多使命,建立新时代大水土保持理念。水土流失治理不仅是减少土壤侵蚀,增加耕地面积,更重要是提升景观品质,改善人居环境,优化经济产业结构,助推区域社会经济增长^[51]。以山水林田湖草作为一个生命共同体理念为指导,践行绿水青山就是金山银山的绿色发展观,通过区域水土流失治理与社会经济发展深度耦合,构建新型水土流失治理模式,提升区域社会经济持续发展能力,助力稳定脱贫机制形成与构建,促进乡村振兴。

(2) 加强水土保持工程经营维护与功能提升

黄土高原水土流失治理工程保有量巨大,对减缓黄土高原水土流失起到控制性作用,当前须从水土流失治理数量上增长转到质量上巩固、提高和改善。迫切需要开展黄土高原水土流失治理工程现状普查,摸清水土保持工程存在问题,开展水土保持效益评估。开展梯田淤地坝等水土保持工程措施保存情况及其抵御暴雨能力评估,摸清低效水土保持林和经济林的规模与空间分布,进而为水土保持工程措施经营维护和功能提升提供基础,也为新型水土流失治理模式构建提供科学依据^[33-34]。

(3) 智能化构建黄土高原水土流失治理新模式

黄土高原水土流失治理具有漫长的历史,积累了丰富的、系统的水土流失治理宝贵经验。黄土高原不同区域现已形成的水土流失治理模式,是当地人民长期开展水土流失治理实践结晶,是长期经受实践筛选和考验的结果,对当前和今后黄土高原水土流失治理具有重要指导作用。借助大数据挖掘、地理空间分析、地学信息图谱等现代信息技术,对黄土高原水土流失治理宝贵经验进行深度挖掘并形成新知识和新规则,以此为基础,研发黄土高原水土流失治理模式构建平台。平台以山水林田湖草统筹系统治理为科学原则,统筹水土流失治理、增加经济收入、改善人居环境、提升景观、休闲旅游、山地灾害防治等多目标,加强水土流失治理与区域社会经济发展的融合,实现黄土高原水土流失治理模式智能化构建^[50]。

(4) 黄土高原水土流失治理新模式研发与示范

经过近半个世纪水土流失实践工作,每个区域已积累了较为成熟有效的水土流失治理模式。除此之外,近年来黄土高原经济开发过程中,已逐步形成若干新型水土流失治理模式。这些水土流失治理模式大多面向市场以企业为主导,通过区域生态环境修复和经济开发而逐步形成,例如美丽乡村休闲旅游、生态经济驱动乡村振兴、高科技含量经果林、山地灾害治理、矿山修复等水土流失治理模式。根据生态文明建设和区域社会经济发展需求,筛选对区域水土流失治理具有示范作用的水土流失治理新模式,通过对新型水土流失治理模式优化,开展多目标新型水土流失治理模式国家示范园区建设,实现水土流失治理技术集成、治理理念集中展示、治理新模式的示范推广。

(5) 水土流失治理支撑乡村振兴战略

遵循山水林田湖草统筹系统治理原则,通过水土流失治理支撑美丽乡村建设,促进区域经济发展,实现乡村振兴战略。通过土地、产业、税费等相关政策供给,提高农民、企业参与水土流失治理积极性,鼓励民间资本参与水土流失治理工作,提高水土保持治理多方参与度。通过对现有水土流失治理工程进行提升增效,盘活现有水土保持工程存量,释放生态经济潜能,优化区域生态资源配置和区域经济发展结构。以水土流失治理为依托,通过培育提升农业、旅游等产业,实现区域产业结构优化,形成具有鲜明地域特色的稳定脱贫机制。

参考文献 (References):

- [1] 傅伯杰. 黄土高原生态平衡的探讨. 生态科学, 1983, (1): 44-48.
- [2] 唐克丽. 中国水土保持. 北京, 科学出版社, 2004.
- [3] Laflen J M, Tian J L, Huang C H. Soil Erosion and Dryland Farming. Boca Raton: CRC Press, 2000.

- [4] Fu B J, Wang S, Liu Y, Liu J B, Liang W, Miao C Y. Hydrogeomorphic ecosystem responses to natural and anthropogenic changes in the Loess Plateau of China. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 2017, 45: 223-243.
- [5] 甘枝茂. 黄土地貌·土壤侵蚀·水土保持-甘枝茂论文选集. 北京: 科学出版社, 2013.
- [6] 李相儒, 金钊, 张信宝, 周卫健. 黄土高原近 60 年生态治理分析及未来发展建议. *地球环境学报*, 2015, 6(4): 248-254.
- [7] 陈永忠, 景可, 蔡强国. 黄土高原现代侵蚀与治理. 北京: 科学出版社, 1988.
- [8] 刘国彬, 上官周平, 姚文艺, 杨勤科, 赵敏娟, 党小虎, 郭明航, 王国梁, 王兵. 黄土高原生态工程的生态成效. *中国科学院院刊*, 2017, 32(1): 11-19.
- [9] 姚文艺, 冉大川, 陈江南. 黄河流域近期水沙变化及其趋势预测. *水科学进展*, 2013, 24(5): 607-616.
- [10] Cai Q G. Soil erosion and management on the Loess Plateau. *Journal of Geographical Sciences*, 2001, 11(1): 53-72.
- [11] 任美镠. 黄河的输沙量: 过去、现在和将来——距今 15 万年以来的黄河泥沙收支表. *地球科学进展*, 2006, 21(6): 551-563.
- [12] 李敏. 水土保持对黄河输沙量的影响. *中国水土保持科学*, 2014, 12(6): 23-29.
- [13] 冯尕才. 民国时期西北地区森林变迁及林业建设研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2012.
- [14] Liu G B. Soil conservation and sustainable agriculture on the Loess Plateau: challenges and prospects. *Ambio*, 1999, 28(8): 663-668.
- [15] Zhou P, Wen A B, Zhang X B, He X B. Soil conservation and sustainable eco-environment in the Loess Plateau of China. *Environmental Earth Sciences*, 2013, 68(3): 633-639.
- [16] 陈怡平, 张义. 黄土高原丘陵沟壑区乡村可持续振兴模式. *中国科学院院刊*, 2019, 34(6): 708-716.
- [17] Fu B J. Soil-erosion and its control in the Loess Plateau of China. *Soil Use and Management*, 1989, 5(2): 76-82.
- [18] 吕小永. 陕西省黄土高原地区山水林田湖生态保护修复工程实践. *中国资源综合利用*, 2018, 36(10): 157-159.
- [19] 李敏, 张长印, 王海燕. 黄土高原水土保持治理阶段研究. *中国水土保持*, 2019, (2): 1-4.
- [20] 邵明安, 贾小旭, 王云强, 朱元骏. 黄土高原土壤干层研究进展与展望. *地球科学进展*, 2016, 31(1): 14-22.
- [21] 金钊. 走进新时代的黄土高原生态恢复与生态治理. *地球环境学报*, 2019, 10(3): 316-322.
- [22] 张秋菊, 傅伯杰, 陈利顶, 赵文武. 黄土丘陵沟壑区退耕还林还草工程与区域可持续发展//中国地理学会 2004 年土地变化科学与生态建设学术研讨会. 西宁: 中国地理学会, 中国青藏高原研究会, 2004: 359-365.
- [23] 度阳. 黄土高原地区退耕还林(草)工程效果研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2018.
- [24] Wang H J, Yang Z S, Saito Y, Liu J P, Sun X X, Wang Y. Stepwise decreases of the Huanghe (Yellow River) sediment load (1950-2005): impacts of climate change and human activities. *Global and Planetary Change*, 2007, 57(3/4): 331-354.
- [25] Lü Y H, Zhang L W, Feng X M, Zeng Y, Fu B J, Yao X L, Li J R, Wu B F. Recent ecological transitions in China: greening, browning, and influential factors. *Scientific Reports*, 2015, 5: 8732.
- [26] Wang S, Fu B J, Piao S L, Lü Y H, Ciais P, Feng X M, Wang Y F. Reduced sediment transport in the Yellow River due to anthropogenic changes. *Nature Geoscience*, 2015, 9(1): 38-41.
- [27] Wang T M, Wu J G, Kou X J, Oliver C, Mou P, Ge J P. Ecologically asynchronous agricultural practice erodes sustainability of the Loess Plateau of China. *Ecological Applications*, 2010, 20(4): 1126-1135.
- [28] Feng X M, Fu B J, Lu N, Zeng Y, Wu B F. How ecological restoration alters ecosystem services: an analysis of carbon sequestration in China's Loess Plateau. *Scientific Reports*, 2013, 3: 2846.
- [29] 黄志霖, 傅伯杰, 陈利顶. 恢复生态学黄土高原生态系统的恢复与重建问题. *水土保持学报*, 2002, 16(3): 122-125.
- [30] Su C H, Fu B J. Evolution of ecosystem services in the Chinese Loess Plateau under climatic and land use changes. *Global and Planetary Change*, 2013, 101: 119-128.
- [31] 林廷武. 黄土丘陵沟壑区梯田果园对极端暴雨侵蚀调控的效应研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2019.
- [32] Chen D, Wei W, Chen L D. Effects of terracing practices on water erosion control in China: a meta-analysis. *Earth-Science Reviews*, 2017, 173: 109-121.
- [33] 贾立志, 高建恩, 张元星, 张梦杰, 王显文, 李兴华. 黄土丘陵沟壑区梯田暴雨侵蚀状况及规律分析. *水土保持研究*, 2014, 21(4): 7-11.
- [34] 白先发, 高建恩, 贾立志, 张梦杰, 马润年, 张英英. 极端暴雨条件下黄土区典型梯田防蚀效果研究. *水土保持研究*, 2015, 22(3): 10-15.
- [35] Wang Y F, Fu B J, Chen L D, Lü Y H, Gao Y. Check dam in the Loess Plateau of China: engineering for environmental services and food security. *Environmental Science & Technology*, 2011, 45(24): 10298-10299.
- [36] Zhao M, Zhou G S. Carbon storage of forest vegetation in China and its relationship with climatic factors. *Climatic Change*, 2006, 74(1/3): 175-189.
- [37] Jin Z, Cui B L, Song Y, Shi W Y, Wang K B, Wang Y, Liang J. How many check dams do we need to build on the Loess Plateau? *Environmental Science & Technology*, 2012, 46(16): 8527-8528.

- [38] Wang Y F, Chen L D, Fu B J, Lü Y H. Check dam sediments: an important indicator of the effects of environmental changes on soil erosion in the Loess Plateau in China. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2014, 186(7): 4275-4287.
- [39] Zhao G J, Kondolf G M, Mu X M, Han M W, He Z, Rubin Z, Wang F, Gao P, Sun W Y. Sediment yield reduction associated with land use changes and check dams in a catchment of the Loess Plateau, China. *Catena*, 2017, 148: 126-137.
- [40] 徐建华, 金双彦, 高亚军, 高文永. 水保措施对"7·26"暴雨洪水减水减沙的作用. *人民黄河*, 2017, 39(12): 22-26.
- [41] Jin Z. The creation of farmland by gully filling on the Loess Plateau: a double-edged sword. *Environmental Science & Technology*, 2014, 48(2): 883-884.
- [42] Liu Q, Wang Y Q, Zhang J, Chen Y P. Filling gullies to create farmland on the Loess Plateau. *Environmental Science & Technology*, 2013, 47(14): 7589-7590.
- [43] 刘彦随, 陈宗峰, 李裕瑞, 冯巍仑, 曹智. 黄土丘陵沟壑区饲料油菜种植试验及其产业化前景——以延安治沟造地典型项目区为例. *自然资源学报*, 2017, 32(12): 2065-2074.
- [44] 王晓晨, 许强, 赵宽耀, 叶震, 郭鹏, 郭晨. 延安市宝塔区治沟造地工程的分布规律. *水土保持通报*, 2019, 39(2): 141-148.
- [45] 李智广, 李锐. 小流域治理综合效益评价方法刍议. *水土保持通报*, 1998, 18(5): 19-23.
- [46] 王军强. 陕北黄土高原小流域治理及其效益评价[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2001.
- [47] Wang Y F, Fu B J, Lu Y H, Chen L D. Effects of vegetation restoration on soil organic carbon sequestration at multiple scales in semi-arid Loess Plateau, China. *Catena*, 2011, 85(1): 58-66.
- [48] 惠波, 刘立峰, 宋雪峰, 王凯, 侯芳, 赵俊侠. 黄土高塬沟壑区“固沟保塬”综合治理浅析. *山西水土保持科技*, 2018, 163(4): 7-9.
- [49] 唐克丽, 侯庆春, 王斌科, 张平仓. 黄土高原水蚀风蚀交错带和神木试区的环境背景及整治方向. *中国科学院水利部西北水土保持研究所集刊*, 1993, (2): 2-15.
- [50] 朱显谟. 黄土高原国土整治“28字方略”的理论与实践. *中国科学院院刊*, 1998, 13(3): 232-236.
- [51] 张惠远, 郝海广, 舒昶, 王一超. 科学实施生态系统保护修复切实维护生命共同体. *环境保护*, 2017, 45(6): 31-34.
- [52] 邹长新, 王燕, 王文林, 徐德琳, 林乃峰, 李文静. 山水林田湖草系统原理与生态保护修复研究. *生态与农村环境学报*, 2018, 34(11): 961-967.