

黄土高原退耕还林工程对生态环境的影响及对策建议

邓景成¹, 高鹏^{1,2}, 穆兴民^{1,2}, 赵广举^{1,2}, 孙文义^{1,2}, 田鹏^{1,3}, 宋小燕^{1,4}

(1. 西北农林科技大学 土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100;

2. 中国科学院 水利部 水土保持研究所 土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100;

3. 西北农林科技大学 资环学院, 陕西 杨凌 712100; 4. 西北农林科技大学 水建学院, 陕西 杨凌 712100))

摘要:基于西北地区水土流失和生态环境问题日益严重,为了再造一个山川秀美的西北地区,1999年我国实施了浩大的退耕还林工程。文章分析了黄土高原自新石器时代以来气候变迁和农耕文明前后人类活动对生态环境的影响,造成气候和植被带的南移以及农业和畜牧业发展带来的破坏,指出退耕还林工程实施以来对植被恢复、土地资源的合理利用和区域气候改善都起到了显著的成效,但仍存在水资源需求增加,承载力不足、耕地面积减少,短期内粮食产量下降、政策可持续性问题,提出因地制宜,选择合适树种,利用节水措施以缓解水资源问题,基于生态、经济、社会价值最大化进一步优化土地配置,从工程后续的管理和维护上入手,提供合理的经济补偿,巩固已有的成果等建议,为以后更好推进退耕还林工程实施起到指导作用。

关键词:黄土高原; 退耕还林; 生态环境; 水资源; 粮食安全

中图分类号:X171.1

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2017)05-0063-06

Impacts and Advice of the Grain for Green Project to Ecological Environment on the Loess Plateau

DENG Jingcheng¹, GAO Peng^{1,2}, MU Xingmin^{1,2},
ZHAO Guangju^{1,2}, SUN Wenyi^{1,2}, TIAN Peng^{1,3}, SONG Xiaoyan^{1,4}

(1. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Northwest A&F

University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation,

Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China;

3. Resources and Environmental Science College, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

4. Water Resources and Architectural College, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China))

Abstract: China has implemented the Grain for Green Project since 1999 for reconstructing a graceful north-west region based on serious water and soil loss as well as deteriorative ecological environment of this area. We analyze the impacts on what climate and vegetation zone moved toward south and the damage of the agriculture and animal husbandry development from climate change of the neolithic age and the human activities before and after the agricultural civilization to ecological environment on the Loess Plateau, and point out vegetation cover, the optimization of land resources and region climate have gained remarkable benefits since implementation of the Grain for Green. Meanwhile, it indicates some problems about the increase in water resources demand, the fall in crop production due to decrease of farmland and policy sustainability, and proposes adjusting measures to local conditions, selecting the appropriate tree species and utilizing water-saving measures to alleviate water resources problems, further optimizing the distribution of land based on ecological, economic and social maximization, providing the reasonable economic compensation and consolidating the results with respect to follow-up engineering management and maintenance in order to provide some guiding functions to further boost the implementation of the Grain for Green Project.

Keywords: Loess Plateau; Grain for Green; ecological environment; carrying capacity of water resources; food security

长期以来,我国许多地区由于毁林开荒,对陡坡地、沙化地过度开垦,造成了严重的水土流失和生态环境破坏,许多自然灾害如洪涝、干旱、泥石流、沙尘暴等频繁发生,尤其是西北地区,国家的生态安全 and 人民群众的生产生活受到了严重威胁和影响。针对这些问题,1997年,中央政府提出:“再造一个山川秀美的西北地区”,这为西北地区的生态建设和开发利用翻开了新的一页,之后又指出“改善生态环境,是西部地区的开发建设必须首先研究和解决的一个重大课题”。1999年8月,朱镕基总理视察陕西时,提出黄土高原生态建设和经济发展的十六字方针“退田还林(草),封山绿化,个体承包,以粮代赈”。这为黄土高原的生态环境改善和开发建设提供了实质性措施^[1]。

黄土高原位于中国中部偏北,西起日月山、东至太行山、南靠秦岭、北抵阴山,涉及内蒙古、青海、山西、陕西、甘肃、宁夏和河南七省区,总面积达 $6.42 \times 10^5 \text{ km}^2$, 是世界上最大的黄土堆积区,又称乌金高原^[2]。黄土高原因其蕴藏着丰富的煤炭、石油、铝土矿等资源和其独特的地理位置,在我国的经济建设和发展格局中具有重要的战略地位^[3]。但随着气候的变化和人类活动的影响,黄土高原植被破坏严重,地表侵蚀增大,使得水土流失面积急剧扩大,水土流失量也持续增多。其中侵蚀模数大于 $1\,000 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 的水土流失面积达 $4.54 \times 10^5 \text{ km}^2$, 占黄土高原总面积的 69.99%, 年均输入黄河的泥沙达 16 亿 t。近几年,中国每年因人为因素新增的水土流失面积超过了 1.5 万 km^2 , 增加的水土流失量超过了 3 亿 t。严重的水土流失以及干旱的气候环境使得黄土高原的生态环境遭受了严重破坏,植被覆盖面积仅为 $1.2 \times 10^7 \text{ hm}^2$, 覆盖率也远低于全国的 18.83%, 植被草场退化面积加大,生态环境十分脆弱^[4]。1999 年退耕还林工程实施以来,虽在水土流失治理与生态环境建设上取得了一定成果,但黄土高原仍存在水资源承载力、地区粮食供应、工程后续管护等一系列问题,因此对黄土高原生态环境建设的研究越来越受到广大学者的重视。文章阐述黄土高原生态环境的历史变迁以及退耕还林工程实施十几年以来对黄土高原生态环境产生的影响和作用,指出工程实施后在水资源和粮食安全上的一些问题以及对这些问题的思考。

1 黄土高原生态环境的演变

1.1 气候变化对黄土高原生态环境的影响

新石器时代,全球进入“气候最适宜时期”。当时黄土高原的年平均气温和年平均降水量都比现今高。龚高法等^[5]指出当时关中渭河平原年均气温在 15°C 以上,

年降雨量达 800 mm 左右;陕北榆林年均气温也在 10°C 以上,年均降雨量为 500~600 mm。地带性植被分布情况:关中、晋南与豫西北河谷平原为北亚热带落叶阔叶与常绿阔叶混交林;晋中、晋北、陕北、内蒙古鄂尔多斯高原东南角、陇东、宁南东部黄土丘陵沟壑与高原沟壑区,分布着暖温带落叶阔叶林;宁南西部、陇西南部与青东丘陵沟壑区是暖温带针阔叶混交林;内蒙古河套地区与鄂尔多斯高原大部分、宁夏北部与中部、陇西北部则为暖温带草原^[6]。植被的分布规律说明这时期西北地区温度、光照、水分等因子都处于相对较适宜阶段,此时的生态环境也相对较好。到距今 3 000 年前后,黄土高原地区气候变冷,出现了一次新的小冰期。相应的气候带与植被带南移,亚热带气候南移至秦岭淮河一线以南,黄土高原形成了主要以温带季风气候为主的气候格局,南北地跨亚热带、暖温带、温带三个气候带,东西跨半湿、半干旱和干旱三个干湿带,这种新的气候格局一直延续到现在^[7]。

1.2 人类活动对黄土高原生态环境的影响

黄土高原的开发建设史就是农业和畜牧业交替发展、相互消长的历史。农牧业出现之前,古人类主要从气候、生物资源、土壤等方面开发利用黄土高原^[8]。到了春秋、战国时期,封建制国家政权建立,社会经济发展速度加快,对自然资源和生产力的需求增加。此时人类活动规模范围不断扩大,对黄土高原生态环境的影响也随之增大。秦汉时期,建立起大一统的中央王朝,通过商鞅变法和一些奖励措施鼓励农业生产和土地开垦,吸引了大量的“土狭民众”入垦,农耕范围逐步扩大。之后的东汉、三国、西晋、南北朝时期,匈奴、鲜卑等游牧民族进驻黄土高原地区,使得许多新开辟的农业区域又变为牧区,基本变为以畜牧为主或半农半牧的产业模式,植被面积有所恢复,生态环境也有所好转^[7-8],但持续不断的战争,还是给这一地区的生态环境带来了一定的破坏。隋唐时期,第二次大规模的农业开垦局面出现。此时期,随着人口数量的增加,农业发展被高度重视。为解决人口增加带来的食物供给问题,垦荒乱伐现象不断增加,给黄土高原生态环境带来了又一次大的破坏^[9]。明清以后,人口持续增加,对耕地需求也与日俱增,垦殖规模扩大,清代曾推行奖励垦荒制度,垦荒范围由陕北、晋北到内蒙古南部,黄土高原北部和鄂尔多斯高原数以百万亩计的草原被开垦为农田,农业耕作区进一步扩大,林草植被遭受严重破坏,使大面积的土地沙化,水土流失等灾害频繁发生^[10]。民国以后,由于抗日战争和解放战争的爆发,使得全国各地处于战火之下,军队燃料消耗、各类用材消耗、毁林开荒、战争破坏等

一系列行为,导致了生态环境恶化、水土流失加剧。新中国成立以来,虽采取了一些积极策略应对生态环境的问题,但大跃进、全民炼钢与人民公社化的开展,进一步加大对自然资源的开发利用程度。“人有多大胆,地有多大产”“倾家荡产大搞钢铁”等口号反映了这一时期的冒进做法,完全忽视了自然资源的利用限度,使得植被、土地等资源过度开发,造成了严重的

后果。这一时期,人口数量也急剧扩增,仅建国以来到 80 年代,人口就增加了 3 881.76 万人,对耕地的需求也急剧增加。郑粉莉等比较了人口增加量与侵蚀增加量的关系(表 1),表明人口的增加加速了土壤侵蚀速率,替代了原来相对生态平衡的自然侵蚀,人为加速侵蚀占据了主导地位^[11],给生态环境造成了极大破坏。

表 1 人口增加量与侵蚀增加量的关系

年代	人口数		增加人口数				侵蚀量		侵蚀量增加		
	年	人口数/ 万人	年	人口数/ 万人	万人/ a	倍	亿 t	侵蚀量增加 值/亿 t	年	亿 t/a	倍
公元前 1020—公元 1194	742	1015.76	742	1979.84	1.84	1	11.6				
1494—1855	1820	2995.6	1078	643.9	4.99	2.7	13.3	1.7	661	2.572	1
1919—1949	1949	3639.5	129	3881.76	125.22	68.1	16.3	3.5	94	37.234	14.5
1949—1980	1980	7521.6	31				22.3	5.3	31	171.935	66.8

黄土高原整体气温的下降,气候带的南移,使得该地区成为了半干旱半湿润的生态环境脆弱区。随着社会生产力的进步,从春秋战国时期开始,人口数量的增加和人类社会行为的变化,对耕地面积需求的加大等,黄土高原出现了植被覆盖显著减少、水土流失严重、生态环境恶化等一系列问题,成为了世界上水土流失最严重、生态环境最脆弱的地区。

著增加。黄土高原植被盖度由 1999 年的 31.6%,变为 2013 年的 59.6%^[12],增幅达 88.6%(图 1)。

由图 1 看出,植被盖度的增加改善了黄土高原的生态环境,促进了植被由低级向高级的演化,增加了生物多样性。刘建军等^[13]研究表明随着退耕还林工程实施时间的增长,植物多样性指数会不断增加,反映出植被增加对于生物多样性有明显促进作用。森林绿地的增加也使水土流失得到了有效控制。研究发现,森林能够消除雨滴对地面的打击能量,降低细沟侵蚀到 50% 以下,面蚀到 70% 以下,黄土高原营造的 $5.0\times10^5\text{ hm}^2$ 林地预期可减少水土流失面积 $1.0\times10^5\text{ hm}^2$ ^[14]。

2 退耕还林工程对黄土高原生态环境的影响

2.1 退耕还林工程显著增加了植被盖度

退耕还林工程实施后,黄土高原的植被覆盖度显

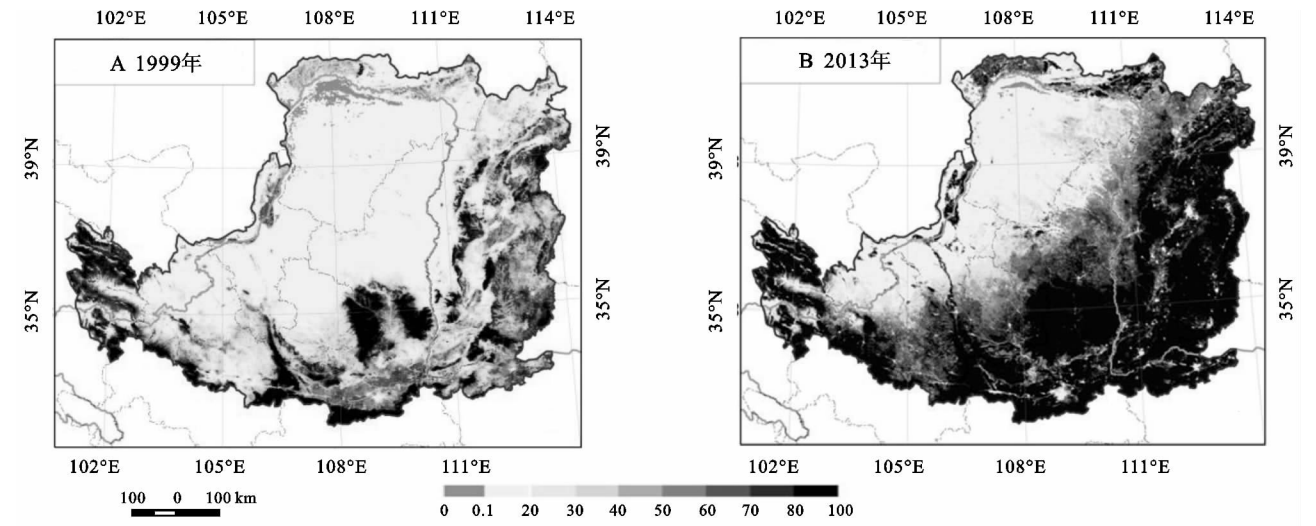


图 1 黄土高原 1999 年、2013 年植被覆盖变化

2.2 退耕还林优化了土地资源的利用

退耕还林工程推动了农业产业的调整,优化了土地利用类型,使之变得更加合理、规范。人类对土地资源的不合理利用是黄土高原土壤侵蚀加剧、生态环境不断恶化的主要原因,其中陡坡开荒正是土地利用不合理的

具体表现^[15]。据研究,18°可以作为坡面侵蚀增强的临界坡度^[16],退耕大于 25°的陡坡耕地可有效减少土壤侵蚀量和入河泥沙量^[17]。因此,黄土高原退耕还林主要是针对坡度大于 25°的陡坡,这样既增加了森林绿地面积,还有效地减少了水土流失对地表土壤的侵蚀,充分利用

土地资源。朱战强等^[18]应用生态学原理和方法对退耕还林工程实施后宁南黄土丘陵区景观格局的变化分析表明,土地利用相对合理性指数显著增加,退耕还林成为研究区景观格局良性演化的主要动力。

2.3 退耕还林对气候的影响

许多研究表明,森林绿地资源对于地区的气候稳定具有重要作用。退耕还林工程主要通过增加黄土高原的植被盖度进而影响地区气候。杜继稳等^[19]研究陕北防沙林带建设前后气候变化结果表明,防沙林带建成后,大风、沙尘暴天气显著减少,气候也得到改善;而毁林区降雨量显著减少,加剧了气候干旱化的趋势。研究表明^[20]增加的植被资源能更多地吸收空气中的二氧化碳,释放负氧离子,净化空气环境。吕世华等^[21]应用美国 NCAR 区域气候模式 RegCM2 研究了西北地区植被覆盖面积变化对区域气候的影响,得出以下结论:随着植被覆盖面积的扩大,不考虑降水、云量等因素,地面温度会降低;还有利于黄河、长江中游地区的夏季季风加强;高原和华北地区的降水增加,土壤含水量增加,黄河、长江的径流量增加。由此可见,退耕还林工程增加的植被资源,可以改善西北地区的气候状况,增加降水。赵靖川等^[22]研究西北地区植被变化对当地的陆气耦合强度及其与之相关的地表水文过程的影响分析发现:植被增多时,生态环境好转,蒸散量增加,地表径流减少,渗流和地表土壤含水量有所上升,能有效地维持植被生长,减少水土流失。徐丽萍等^[23]采用定位观测的方法研究黄土高原植被恢复对局地小气候的影响发现:混交林、灌木林和草地的光照强度、气温、大气相对湿度和土壤温度相对于对照组均有所增加,退耕还林工程实施后,下垫面的变化引起局地水热循环的变化,表现为降温、增湿、阻风效应,同时土壤的物理性质得到改良,局地小气候环境有所改善。植被盖度增加,还能缓和气温变化幅度,使得升高和降低的趋势得到抑制^[24]。同时这些气候因子的变化又反过来影响植被的再生产潜力^[25]。

3 目前存在的问题

退耕还林工程自开展以来在生态、社会、经济等方面都产生了较好的收益,但仍存在一些问题。

3.1 生态环境建设中的水资源承载力问题

植被盖度的持续增加,会影响退耕还林区的水资源承载力。水资源承载力是指在区域社会、经济和生态环境可持续发展前提下,根据一定的经济技术水平和社会生产条件,水资源天然产出量的允许开发水量维持的人口、社会经济发展能力^[26]。退耕还林工程开展十几年以来,黄土高原的植被盖度明显增加。但

植被盖度增加的同时,也加大了植被对水资源的需求量,进而影响整个区域的水资源承载力。张兴建等^[27]建立灰色拓扑预测模型显示,退耕还林实施以来,对水资源开发利用呈明显增大趋势。黄土高原退耕还林多采用刺槐、沙棘、苜蓿等植物为还林植物,但黄土高原特殊的气候环境不能满足这些植物对水资源的需求量。有资料表明,紫花苜蓿在种植的第三年对水的消耗量达 600~800 mm,是年降水量的 1.3~1.8 倍^[28]。水资源亏缺直接影响森林绿地植被的生长发育。退耕还林不断地改造耕地,增加植被面积,超过地下水资源的承载力,从而导致植被因缺水影响生长发育,对植被多样性会造成不利的影响^[29]。在坡地上过度地种植强根系、高耗水的人工林也会加剧土壤干层的形成,进而影响林分的自然更新能力^[30]。

3.2 退耕还林区粮食产量供给问题

退耕还林工程的实施对粮食安全也产生了一定影响。退耕还林工程实施初期,由于耕地面积的减少、粮食种植面积也大幅下降,因此短期内退耕的最直接影响就是粮食总产量的下降^[17]。黄土高原退耕还林最初主要针对的是坡度大于 25° 的陡坡耕地^[12]。而坡度在 15° 以上的坡耕地占到全区总坡耕地面积的 27.82%,共有面积 252 万 hm^2 ,到 2008 年,共退耕还林坡耕地面积 483 万 hm^2 ,已经严重超过黄土高原需要实施退耕还林坡耕地的总面积,这与退耕还林最初的预期有所不同。但一些研究也表明退耕还林工程从整体效益来考虑,产生的积极作用大于负面作用。王兵等^[31]对陕西省延安市中尺度水土保持与生态环境建设试验示范区的调查研究发现:开展退耕还林工程,减少了耕地压力,虽然后期由于补贴政策的变化和退耕工程的结束,会有复垦现象不断发生,对已有的生态成果带来影响,但整体的生态效益呈正向发展,基本实现了以粮食换取生态的目的。刘璨^[32]利用国家统计数据,分析退耕还林对粮食产量的影响指出退耕地对粮食产量的负面效果较小,相比于退耕还林带来的生态效益,整体呈正向效果,因此应继续实施退耕还林工程。

3.3 退耕还林的政策可持续性问题

退耕还林工程自开展实施以来,虽取得了显著成果,但没有为未来的工程成果制定一个详细而长远的规划方案。退耕还林工程于 1999 年没有经过前期论证和实践经验就仓促进行,由此带来了一些问题。如没有规划好退耕面积,以致过度还林,耕地面积大幅减少,退耕也主要以人工林为主,不利于自然植被的恢复;经济和粮食补助政策缺乏灵活性,没有做到“谁造林、谁管护、谁受益”,以致复垦现象频繁;忽略了各立地的差异和退耕还林难易程度,使得一些农民失去退耕主动性。

4 对策建议

退耕还林工程后续产生的问题一直是研究的热点,如何有效合理的解决这些问题是黄土高原退耕还林工程能否继续实施的关键点,也是可持续生态建设的重要任务。

4.1 水资源承载力

黄土高原的水资源要实现可持续发展利用,必须充分了解水资源的现状以及变化规律,结合黄土高原的综合治理工程、人民生活用水、工农业用水等实际情况,合理适当地开发利用水资源。如针对延安地区坡地果园的发展,提出在沟道中兴建截潜流工程,引水上山,高效利用当地有限水资源^[33]。通过拦蓄降水、降水高效叠加利用和覆盖保墒等措施,实现土壤水资源的平衡利用,以达到生态建设可持续发展的目的^[27]。大力推广集流节水工程技术,高效利用降水;林草植被建设应按土壤水资源地带性分异规律和坡地土壤水分分异特征布局^[28];由于各树种生产力不同,也可以从树种的选择上提高水资源的利用效率。研究发现一些代表性人工工作物如沙打旺、苜蓿耗水强烈,其土壤水分含量只有萎焉湿度水平,土壤水分状况较差^[34]。一般来说,灌木树种中,沙棘、柠条的生产力大于山桃、山杏等,为灌木的首选,乔木中,杨树、刺槐树种的生产力较旱柳、落叶松更高,营造乔木林时,首选杨树、刺槐^[35]。相比于人工林,天然林则在空间层片结构、物种丰富度、自我调节能力等方面更有优势,对土壤水分状况的影响也更小。王力^[36]通过对富县子午岭的天然山杨林、辽东栎林与人工刺槐林进行标准样地调查和土壤水分测定发现,天然山杨林和辽东栎的土壤水分状况明显优于人工刺槐林,水分基本没有形成严重的亏缺。因此,自然演替的植被对于水资源状况的恢复具有更好的效果。应以植被自然演替为前提,辅以人工适度干预,这样才能更好地保证植被恢复的可持续性^[37]。

4.2 土地资源合理配置的思考

土地资源是三大地质资源(矿产资源、水资源、土地资源)之一,具有自然属性和社会经济属性,在经济建设和社会发展中扮演重要角色。随着人类文明的发展,土地资源的利用程度增大,同时也对土地资源造成了破坏。李强^[38]通过对黄土高原典型区土地承载力时空变化测评结果显示研究区整体土地承载力水平下降,需要进一步优化土地配置,合理、高效、科学地利用土地资源,来提高土地承载力。研究生态环境相对脆弱的黄土高原区土地资源的优化配置,对于实现区域的经济发展和空间平衡更有实际意义。基

于目前黄土高原区耕地面积持续减少的现状^[39],切实保护已有耕地,充分发挥耕地的生产力,改善由于技术条件差、耕作粗放等带来的粮食产量低的问题^[40]。合理规划区域土地利用结构,基于生态、经济、社会价值最大化研究农林牧各业用地应占比例,促进农林牧副各业全面发展,以避免对坡耕地的盲目退耕。树立用地养地相结合的思想,通过科学施肥培肥、合理轮作倒茬、增施有机肥等措施改善土壤质量,提高土地生产效率^[37]。

4.3 加强后续管护力度

一是增加地方政府对工程的管理费用,地方政府是落实退耕还林工程的基层单位,只有保证地方政府的工作成果,退耕还林工程才能可持续进行。加强对管护人员的专业培训和管理人力投入,管护人员决定了各级任务是否能落到实处,以保证工程实施效果。如山西吕梁地区,退耕面积 6.67 万 hm^2 ,而退耕的技术人员只有 40 人,无法满足日常管护检查任务,退耕还林也就没有取得应有的效果^[41]。二是完善相关的政策法规。政策法规是保证工程顺利有效完成的基础。后续的政策法规应主要解决两方面问题:一是退耕农民的经济补偿和替代产业的开发;二是退耕还林工程成果的巩固和优化^[42]。通过与退耕地林草的成活率和保存状况结合起来制定新的补偿机制,使造林、管护人员真正受益^[43]。李国平等^[44]发现政府可以按照高技术农户和低技术农户退耕还林成本和经济收益之差制定补偿政策,以此方法能实现社会效益的最大化。

5 结语

退耕还林还草工程是我国为生态建设开展的一项浩大工程。从目前取得的成果来看,既改善了黄土高原地区的生态环境,增加了植被覆盖面积,丰富了黄土高原地区的植物多样性,植被的降雨截留作用和枯枝落物层的缓冲作用对于减弱土壤侵蚀也起到了重要作用,但随着植被盖度的不断增加,对水资源的利用会超过黄土高原的承载力;过度的开垦陡坡地也会使耕地面积大幅减少,进而粮食总产量有所下降,并且随着补贴政策的结束,一些土地复垦的现象时有发生。通过合理规划配置水土资源,加强对工程的后续管护,实现水土资源的永续利用,能让退耕还林工程发挥更大的生态经济效益,为西北地区的生态环境建设工程可持续发展提供保障,再造一个山川秀美的西北地区。

参考文献:

- [1] 王毅,李锐,刘国斌,等.科学规划,退耕还林(草),改善生态,富民增收[R]//中国科学院关于黄土高原生态建设的建议.国情报告(第二卷 1999 年(下)).

- [2] 段巧甫. 水土保持的探索与实践[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1999.
- [3] 张青峰. 黄土高原生态经济分区研究[D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2008.
- [4] 李永红, 高照良. 黄土高原地区水土流失的特点、危害及治理[J]. 生态经济: 学术版, 2011(8): 148-153.
- [5] 龚高法, 张丕远, 张瑾璐. 历史时期我国气候带的变迁及生物分布界限的推移[J]. 历史地理, 1987(5): 1.
- [6] 杨勤业, 朱士光. 黄土高原地区自然环境演变区域分异与综合治理初步研究[J]. 干旱区资源与环境, 1990, 4(1): 1-8.
- [7] 朱士光. 论我国黄土高原地区生态环境演化特点与可持续发展对策[J]. 中国历史地理论丛, 2000(3): 3-12, 251.
- [8] 王飞, 李锐, 谢永生. 历史时期黄土高原生态环境建设分析[J]. 水土保持研究, 2001, 8(2): 138-142.
- [9] 魏新民. 隋唐以前黄土高原生态资源环境变迁研究[J]. 干旱区资源与环境, 2010, 24(3): 109-114.
- [10] 郗静. 陕北黄土高原退耕还林与生态环境建设研究[D]. 西安: 西北大学, 2006.
- [11] 郑粉莉, 唐克丽, 白红英. 黄土高原人类活动与生态环境演变的研究[J]. 水土保持研究, 1994, 1(5): 36-42.
- [12] Chen Y, Wang K, Lin Y, et al. Balancing green and grain trade[J]. Nature Geoscience, 2015, 8(10): 739-741.
- [13] 刘建军, 崔宏安, 王得祥, 夏文辉, 杨正礼. 延安市张梁试区退耕地植被自然恢复与多样性变化[J]. 西北林学院学报, 2002, 17(3): 8-11.
- [14] 侯军岐, 张社梅. 黄土高原地区退耕还林还草效果评价[J]. 水土保持通报, 2002, 22(6): 29-31.
- [15] 唐克丽. 退耕还林还牧与保障食物安全的协调发展问题[J]. 中国水土保持, 2000(8): 35-37.
- [16] 张科利, 唐克丽, 王斌科. 黄土高原浅沟侵蚀特征值的研究[J]. 水土保持学报, 1991, 5(2): 8-13.
- [17] 焦峰, 温仲明, 李锐. 黄土高原退耕还林(草)环境效应分析[J]. 水土保持研究, 2005, 12(1): 26-29.
- [18] 朱战强, 刘黎明, 张军连. 退耕还林对宁南黄土丘陵区景观格局的影响: 以中庄村典型小流域为例[J]. 生态学报, 2010, 30(1): 146-154.
- [19] 杜继稳, 雷向杰, 鲁渊平, 等. 陕北植被生态环境变化对气候的影响[J]. 西北林学院学报, 2001, 16(1): 12-16.
- [20] 代亚丽, 蔡江碧, 王宏丽. 植被建设在黄土高原生态环境建设中的地位和作用[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2000, 28(6): 130-134.
- [21] 吕世华, 陈玉春. 西北植被覆盖对我国区域气候变化影响的数值模拟[J]. 高原气象, 1999, 18(3): 416-424.
- [22] 赵靖川, 刘树华. 植被变化对西北地区陆气耦合强度的影响[J]. 地球物理学报, 2015, 58(1): 47-62.
- [23] 徐丽萍. 黄土高原地区植被恢复对气候的影响及其互动效应[D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2008.
- [24] 姚文俊. 陕北黄土区植被恢复对气候与水沙变化的影响[D]. 北京: 北京林业大学, 2014.
- [25] Uhl C, Kauffman J B. Deforestation, fire susceptibility, and potential tree responses to fire in the eastern Amazon[J]. Ecology, 1990, 71(2): 437-449.
- [26] 冯耀龙, 韩文秀, 王宏江, 等, 黄津明. 区域水资源承载力研究[J]. 水科学进展, 2003, 14(1): 109-113.
- [27] 张建兴, 马孝义, 赵文举, 等. 黄土高原地区水资源承载力动态变化及灰色拓扑预测: 以山西, 陕西, 宁夏, 甘肃四省为例[J]. 生态环境, 2008, 17(2): 823-827.
- [28] 孙宝胜, 杨开宝, 拓文俊. 黄土高原丘陵沟壑区土壤水资源平衡利用与生态植被可持续发展[J]. 西北农业学报, 2005, 14(4): 92-96.
- [29] Cao S, Chen L, Yu X. Impact of China's Grain for Green Project on the landscape of vulnerable arid and semi-arid agricultural regions: a case study in northern Shaanxi Province [J]. Journal of Applied Ecology, 2009, 46(3): 536-543.
- [30] 张海, 张立新, 柏延芳, 等. 黄土塬状丘陵区坡地治理模式对土壤水分环境及植被恢复效应[J]. 农业工程学报, 2007, 23(11): 108-113.
- [31] 王兵, 刘国彬, 张光辉, 杨艳芬. 黄土高原实施退耕还林(草)工程对粮食安全的影响[J]. 水土保持通报, 2013, 33(3): 241-245.
- [32] 刘璨. 我国退耕还林工程对粮食产量影响的分析与测度[J]. 林业经济, 2015(9): 51-65.
- [33] 高鹏, 蒋定生. 黄土高原丘陵沟壑区沟道水资源利用模式初探[J]. 水土保持研究, 2000, 7(2): 77-79.
- [34] 胡良军. 黄土高原植被恢复的土壤水分生态环境[D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2002.
- [35] 徐学选. 黄土高原土壤水资源及其植被承载力研究[D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2001.
- [36] 王力. 陕北黄土高原土壤水分亏缺状况与林木生长关系[D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2002.
- [37] 田均良, 刘国彬. 黄土高原退耕还林工程中的现存问题及有关建议[J]. 水土保持通报, 2004, 24(1): 63-65, 78.
- [38] 李强. 基于 GIS 的黄土高原南部地区土地资源利用与优化配置研究[D]. 西安: 陕西师范大学, 2012.
- [39] 王飞, 高建恩, 邵辉, 等. 基于 GIS 的黄土高原生态系统服务价值对土地利用变化的响应及生态补偿[J]. 中国水土保持科学, 2013, 11(1): 25-31.
- [40] 张希彪. 陇东旱塬农业生态系统能流分析与评价[J]. 农业现代化研究, 2002, 23(6): 414-417.
- [41] 张俊彪, 李曦, 雷海章. 黄土高原土地资源永续利用对策设计[J]. 华中农业大学学报: 社会科学版, 2002(1): 27-31.
- [42] 汪习军. 关于加快黄土高原水土流失有效治理的思考[J]. 中国水土保持, 2014(6): 1-3.
- [43] 王飞, 李锐, 温仲明, 等. 退耕还林(草)政策问题与建议: 陕西省安塞县退耕还林(草)试点调查分析[J]. 西北农林科技大学学报: 社会科学版, 2003, 3(1): 60-65.
- [44] 李国平, 张文彬. 退耕还林生态补偿契约设计及效率问题研究[J]. 资源科学, 2014, 36(8): 1670-1678.