

小流域综合治理方案的模拟与优化调控

——以渭北旱塬淳化县秦庄沟流域为例

陈见影¹, 孙虎¹, 常占怀², 马安仕³

(1. 陕西师范大学 旅游与环境学院, 陕西 西安 710062; 2. 陕西省水土保持勘测规划研究所, 陕西 西安 710199; 3. 西安科技大学 测绘科学与技术学院, 陕西 西安 710000)

摘要:以渭北旱塬淳化县秦庄沟流域为例,分析了小流域系统内部生态、经济、社会三大子系统相互作用的关系。以水土保持为中心,以沼气池为纽带,生态、经济、社会治理目标为衡量依据,运用 VENSIM 软件构建 SEE(社会—生态—经济)系统动力学模型,量化分析了生态、经济、社会 3 大子系统的综合治理效益,并对系统 2011—2026 年时间段内的发展趋势进行了模拟。模拟比较分析结果表明,方案 3(人均产粮目标为 350 kg 的自给型模式)为水土保持生态设计的优化方案。该模式从源头上改变了秦庄沟流域系统恶化的趋势,可使生态系统中水土流失得到有效控制,消除点源面源污染;使流域的生态农业建设得到进一步发展,人均收入达到 6 000 元;可以在全流域实现饮水安全,出行便利和改善人居环境。

关键词:系统动力学模型;秦庄沟流域;小流域综合治理

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2014)04-0215-05

中图分类号: F301

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2014.04.056

Optimization-control and Simulation on Comprehensive Management Scheme of Small Watershed

—A Case Study of Qinzhuangou Watershed in Dry Upland of Northern Weihe River

CHEN Jian-ying¹, SUN Hu¹, CHANG Zhan-huai², MA An-shi³

(1. College of Tourism and Environment Science, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi 710062, China; 2. Shaanxi Provincial Institute of Soil and Water Conservation Surveying and Planning, Xi'an, Shaanxi 710199, China; 3. College of Geomatics, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an, Shaanxi 710000, China)

Abstract: Taking Qinzhuangou watershed in dry upland of northern Weihe River as a case, the interactive relationship of ecology, economy and society in small watershed system was analyzed. Using VENSIM software to build a dynamic model of SEE(society—ecology—economy), with focusing on soil and water conservation, taking the methane pool as link, the goal of management of ecological subsystem, economic subsystem and social subsystem as the judgment basis, and quantitatively analyzing the comprehensive governance efficiency of ecological subsystem, economic subsystem and social subsystem. Moreover, the simulation of the development trend from 2011 to 2026 was made by using the dynamic model of SEE. The result showed that the 3rd scheme(subsistence mode that the per capita grain yield goals is 350 kg) can be taken as the optimization scheme for soil and water conservation and ecological design, the declining trend of Qinzhuangou watershed system will be changed, such as water and soil loss will be controlled effectively, point and non-point source pollution will be eliminated, ecological agriculture will be developed, income per capita will be RMB 6 000 yuan, rural drinking water safety will be realized fully, the trip will be convenience, living environment will be improved.

Keywords: SEE-system dynamics model; Qinzhuangou watershed; comprehensive management of small watershed

渭北旱塬小流域是由水、土地、生物等自然要素 维持生态与环境系统平衡的稳定器^[1-4]。由于以往缺乏强有力的
与社会、经济等人文要素组成的环境经济复合系统, 小流域综合治理开发与保护方面的约束

收稿日期:2013-08-09

修回日期:2013-08-30

资助项目:香港郭氏集团扶贫基金会项目“陕西淳化县秦庄沟流域水土保持与社会经济发展规划”(SXW20111)

作者简介:陈见影(1969—),女(汉族),陕西省西安市人,博士,研究方向为水土保持。E-mail: xjsfdxcjy123@163.com。

通信作者:孙虎(1962—),男(汉族),陕西省西安市人,教授,博士生导师,主要从事水土保持研究。E-mail: kyjch6@snnu.edu.cn。

与调控机制,导致小流域农业经济粗放式经营,使小流域生态与环境质量持续恶化,并反作用于经济发展,严重地影响了小流域发展的协调性和可持续性。近些年来,随着经济社会的发展,特别是新农村建设步伐加快,对小流域综合治理提出了新的要求。当今渭北旱塬小流域综合治理已不能单纯地以防止水土流失、减少入河泥沙为目的,而是小流域内水土资源得到有效保护、合理配置和高效利用,生态系统良性循环、经济系统生态农业产业循环、社会系统新农村建设推进^[5-9]。小流域综合治理应将生态环境、经济建设和社会发展结合起来,从单纯的水土环境治理向治理与开发并重、治理与生态恢复结合、治理向经济建设和社会发展服务转变,并且实现小流域生态系统良性循环。开展小流域综合治理研究,协调生态环境保护与经济社会发展间的关系已成为当前的一个重要科研课题。

目前关于小流域综合治理模拟与优化调控的研究很少。2004年10月,淳化县被国家环保总局列为国家第九批生态示范区建设试点县。选择渭北旱塬淳化县秦庄沟小流域为例,运用SEE—SD模型进行生态小流域综合治理模拟研究,以期为今后小流域的综合治理规划和开发实践提供科学依据。

1 研究区概况

淳化县秦庄沟流域属于渭北旱塬黄土高原沟壑区,地理位置界于北纬 $34^{\circ}47'30''$ — $34^{\circ}52'0''$,东经 $108^{\circ}39'0''$ — $108^{\circ}43'30''$,总面积 31.28 km^2 。该区气候为暖温带半干旱气候,年平均气温为 10.4°C ,多年平均降水量为 610 mm ,降雨多集中在7—9月份且多以暴雨形式出现。农业土壤主要是以黄土为母质的黄土性土壤,主要包括褐土、黄绵土和黑垆土等,沟壑密度为 $5.69\text{ km}/\text{km}^2$,侵蚀模数达 $3\ 000\sim 6\ 000\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$ 。植被以暖温带落叶阔叶林为主,主要有刺槐、柳树、杨树、国槐等乡土树种,经济林以苹果、杏、梨为主。农作物以小麦、玉米为主。该流域沟头区域森林覆盖率约 50% ,其它区域森林覆盖率约为 20% 。水土流失较严重,生态环境脆弱。现有耕地面积 960.92 hm^2 ,林地面积 620.75 hm^2 ,果园 671.71 hm^2 ,裸地 441.68 hm^2 。综合分析,坡耕地面积占总耕地面积的 79.64% ,地面坡度多在 $5^{\circ}\sim 10^{\circ}$ 之间,坡度较缓,适宜于进行坡耕地综合治理,建设高标准基本农田。秦庄沟流域总人口 $7\ 482$ 人,其中农村劳动力 $4\ 489$ 人,人均粮食 262 kg ,流域经济发展缓慢,人民生活水平普遍偏低,面临着发展经济与保护生态环境的双重压力。

2 模型与数据

2.1 系统动力学方法

根据秦庄沟流域生态、经济和社会系统的特征,选用系统动力学方法构建“SEE—SD”系统分析模型。系统动力学最早由麻省理工学院的Forrester于20世纪50年代中期开创。经过几十年的发展和改进,系统动力学被广泛应用于经济、社会、生态等众多复杂系统研究中。由于系统动力学模型能够揭示系统的动态性、反馈性、延迟性等众多特征,具有量化、可调控等众多特点,其特点优势符合小流域综合治理的实际情况和建模需求。

2.2 建模思路

秦庄沟流域综合治理是通过生态治理、经济治理和社会治理对其生态、经济和社会子系统进行的调节、控制和管理,求得生态、经济和社会子系统开发与利用的经济、生态和社会效益的协调、高效同步实现。即生态环境系统的良性循环、经济可持续发展和饮水安全全面达标,生活水平不断提高,人居环境改善。

2.3 数据来源

建模所用数据主要来源于实地调查所获得的第一手实测数据、对秦庄沟流域农户进行面对面访谈及问卷调查的整理结果、淳化县2010—2012年统计年鉴、方里镇和秦庄乡2010—2012年《农村经济统计报表》《淳化县水利志》《淳化县新农村建设实施方案(暂行)》及《淳化县生态县建设目标》。结合秦庄沟流域实测数据加以校正后的结果。

3 SEE—SD模型的构建

3.1 因果循环逻辑

“SEE—SD”模型(society—ecology—economy system dynamic model)是基于秦庄沟综合治理系统中3个子系统(生态、经济和社会)间的相互作用关系,结合生态农业经济产业循环模式,运用系统动力学方法,利用Vensim软件建立起来的系统动力学分析模型,用于模拟秦庄沟流域综合治理,围绕资源禀赋合理有效开发和利用,对生态、经济和社会子系统进行的调节、控制和管理,促进系统生产力不断提高,系统的经济效益增长、生态效益良性循环、生活水平不断提高及人居环境得到改善。在模型仿真中所采用的系统目标值是根据陕西省淳化县经济社会长远规划、新农村建设和生态县建设的总体目标确定的,并分成系统经济目标、系统生态目标和系统社会目标3个系统目标子集。

以2011年秦庄沟流域实际数据作为设定参数的

历史依据;以2011—2026年为模拟区间,根据生态、经济和社会中物质、能量流动过程,建立“SEE—SD”模型的因果循环逻辑框图。

3.2 积量流量

基于资源禀赋优势,根据秦庄沟流域综合治理中的生态治理、经济治理和社会治理的因果循环逻辑框架。为方便论述,将模型按生态系统治理、社会系统治理和经济系统治理分别讨论。

3.2.1 生态系统综合治理 秦庄沟流域生态系统综合治理目标以良好生态环境为基础,以水土流失防治、林草建设、减少面源污染等为主体,着力建设生态环境支撑体系。生态系统主要参量与方程如下。

(1) 施用农家肥替代农药化肥 = 修建沼气池数量 = INTEG(耕地需沼气池个数 + 园地需沼气池个数, 72 口)

(2) 化肥施用强度折纯 285 kg/hm², 农药施用强度折纯 50 kg/(hm²·a); 粮食及蔬菜无公害化种植模式以 0.33 hm² 耕地为基本生产单元, 根据原料和实际需求, 建一个 8 m² 的新型高效沼气池。生态果园系统, 是以 3 000~4 000 m² 左右的成龄果园为基本生产单元, 在果园内建一个 8 m³ 的新型高效沼气池, 一座 20 m² 的太阳能猪圈, 猪粪尿入池发酵, 一眼 40 m³ 水窖, 达到了保墒、抗旱、肥地改土的作用。单口沼气池可产沼肥 18.5 t, 等于 318 kg 化肥。

(3) 林草建设面积 (hm²) = INTEG(裸地面积减少)

(4) 水平梯田年均拦蓄径流量 (m³) = INTEG(已有坡改梯面积 × 20)

(5) 水平梯田年拦蓄泥沙总量 (t) = INTEG(已有坡改梯面积 × 2.3)

(6) 谷坊年拦蓄泥沙总量 (m³) = INTEG(已建谷坊数量 × 10.4)

(7) 坡改梯面积 (hm²) = INTEG(年人口总数 × 人均需基本农田面积)

(8) 坡改梯为主的工程投资。坡改梯主要以机械施工为主, 机械施工费 4 元/m³ 土 (运距 ≤ 100 m), 依据历年坡改梯的数据统计坡改梯需移动土方 5 250 m³/hm², 坡改梯需投资 2.1 万元/hm², 加上人工整埂费 0.15 万元/hm², 估算需投资 2.25 万元/hm²; 建每座谷坊投资约 1.02 万元。

3.2.2 经济系统综合治理 经济系统综合治理的目标是调整产业结构, 培育特色产业, 合理利用水库的水资源发展节水灌溉农业等, 建立小流域市场经济体系, 促进整体经济发展, 增加村民收入, 流域全面实现小康。

要实现经济效益、生态效益和社会效益的统一, 使农业生产步入可持续发展的良性循环轨道的农业

发展模式是发展生态农业。即将有机无机复混肥和无害化处理的人、畜粪便、沼液等, 用作无公害优质小麦、玉米和特色蔬菜、果树生产的优质肥料, 从而形成“种植业→养殖业→沼气利用→沼液+无害化处理粪便(含沼渣)+有机无机复混肥→种植业”的生态农业产业循环链。经济效益子系统主要参量与方程如下。

(1) 总产值(万元) = INTEG(种植业 + 果业 + 林业 + 养殖业 + 副业 + 其它产值, 2 359.93)

(2) 绿色有机种植业产量增加值(万元) = INTEG(新修基本农田面积 × 100 × 0.000 3 + 灌溉农田面积产值 × 1.2 + 设施农业面积 × 1.5)

(3) 果业产量增加值 = INTEG(优果率增加值 + 杂果基地产值)

(4) 养殖业规模 = INTEG(沼气池总数所需禽畜粪便) = INTEG(种植业 + 果业所需农家肥量)

(5) 林业增加值 = INTEG(林下经济发展)

3.2.3 社会系统综合治理 社会系统综合治理目标全面实现小流域人畜饮水安全, 整治村庄环境, 改善村民生活。加快基础设施建设, “村村通”交通路网全面覆盖, 配套完善村内道路、排水沟渠、厕所、集中场院、村民活动场所等基础设施建设, 使村庄整治与经济社会发展、生态建设、人的全面发展协调推进, 整体改善村民生产生活条件。社会系统的主要参量与方程如下。

(1) “一池三改”: 卫生厕所数量(个) =

户拥有沼气池数 = INTEG(总户数, 1 897)

(2) 安全饮水工程: 日供水量(L/d) =

INTEG(总人口 × 50, 7 482)

(3) 用水方便程度: 人力取水往返时间不超过 20 min。集中供水工程应达到供水用户数量要求。

(4) 自来水入户率 = INTEG(自来水已入户数 / 总户数, 75)

(5) 垃圾量集中收集率 = INTEG(总户数, 0)

(6) 道路交通网建设覆盖率 = INTEG

(“村村通”道路通达率 + 道路硬化率)

4 小流域综合治理发展分析

生态系统良性循环的秦庄沟流域综合治理 SEE—SD 模型是以水土保持为中心, 以沼气池为纽带, 合理配置要素, 进行模式选定和最佳组配, 通过发展生态农业, 促进人居环境改善, 将生态、经济和社会三个子系统之间通过调节、控制和管理的相互作用贯穿起来, 反映子系统间循环作用机制, 从而量化、动态、完整地展现和模拟整个系统的发展变化情况。

4.1 生态治理

根据模拟结果可知,2026 年利用畜禽粪尿制造沼气 $2.32 \times 10^6 \text{ m}^3$,使用 $1.45 \times 10^6 \text{ m}^3$,节约 4 533.2 t 标准煤。减少了煤炭燃烧和薪柴燃烧及 CO_2 排放。畜禽粪尿和沼液沼渣还田量,折纯后约合 N 肥 $3.26 \times 10^4 \text{ t}$,P 肥 $1.74 \times 10^4 \text{ t}$,K 肥 $1.07 \times 10^6 \text{ t}$,替代化肥使用,生态、经济和社会效益明显。

建造了 3 219 座沼气池,用沼气做炊事能源,节省了薪柴的消耗,有效遏制了乱砍林木的现象,这不仅保护森林资源,减少植被破坏和水土流失,改善自然生态环境。沼气池使用过程中,除产沼气外,可产沼肥。沼肥长期施用,可起到改良土壤的作用,是发展无公害农产品的优质有机肥肥源。2026 年流域全面使用农家肥,消除流域面源污染。生态环境大为改善,有利于野生动物及鸟类生存。因此,动物种类和数量会增多,从而恢复良好的生态系统。

4.2 经济治理

经济效益结合现有的农业产业结构,采用该年的统计价值系数计算年净产值;各项措施实施后所增产的粮食、果品、木材等,按照当年农产品、经济作物、木材等的市场价格,同时结合农户调查结果进行价值折算。坡改梯后,坡耕地面积减少,基本农田面积增加。农业生产条件的改善,提高了土地生产力,人均占有粮食增加,实现自给有余。同时,也为调整农业产业结构、发展商品经济创造了良好条件。土地资源利用更为合理,土地利用由 59.21% 提高到 69.60%。林草的发展,为畜牧业提供饲料,土地载畜能力极大提高。2026 年研究区各业产值合计 7 879.57 万元,人均收入达到 6 000 元,秦庄沟流域发展全面实现小康。

以沼气为纽带推动了农民发展养猪、养羊、养家禽业。沼气用户普遍增加养猪 2 头左右,以年出栏 2 批,按每头获利 200 元计,每户年获利 800 元。修建沼气池,沼气满足农户薪炭需要。同时也减少购买化肥农药的支出。一口沼气池两项可减少支出共计 1 000 元。沼气池使用过程中,除产沼气外,每年还可产沼肥,沼肥是优质有机肥,养分全面,可提高农产品品质,是发展无公害农产品的优质有机肥肥源。为发展绿色有机农业提供了保障。研究区果业积极加入洛川苹果带,营造以优质苹果为主的果园 671.1 hm^2 ,2026 年产值达 3 518.91 万元;到 2026 年,猪总饲养量将达 25 725 头,产值 1 030.18 万元(图 1)。

由于粮食和果品产量大幅度增加,农业产值迅速提高,可以有更多的资金投入农副产品加工、运输以及第三产业,扩大了劳动就业的领域和途径。综合治理项目的实施,促进了该区科技、文化、卫生事业的发展,从而全面推动小流域的经济和社会发展。

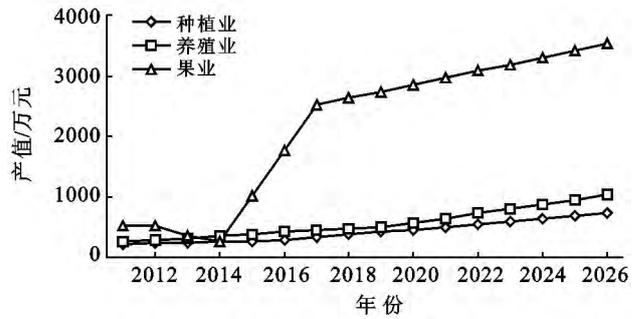


图 1 小流域综合治理后种植业、养殖业和果业前景分析

4.3 社会治理

实施安全饮水工程,保证自来水入户率和保证率达到 95%,对受损部分饮水工程进行维修加固,防治面源污染与点源污染,确保流域内群众生活用水水源不受污染。由于建沼气池后,“一池三改”,人畜禽粪便都得到无害化处理,资源化利用,使农村环境卫生得到改善,减少疾病的传播,农民的健康水平得到提高。根据模拟,目前秦庄沟流域的养殖业规模小、数量少。到 2026 年,该区由 2.5 万头猪,及 4.5 万只鸡,养殖业规模将会有所扩大。因此需对养殖业造成的污染进行合理规划整治。通过“村村通”交通路网全面覆盖,村庄路面硬化完成,方便流域村民出行,实现垃圾向外清运,同时方便与外界沟通,可带动流域经济发展(图 2)。

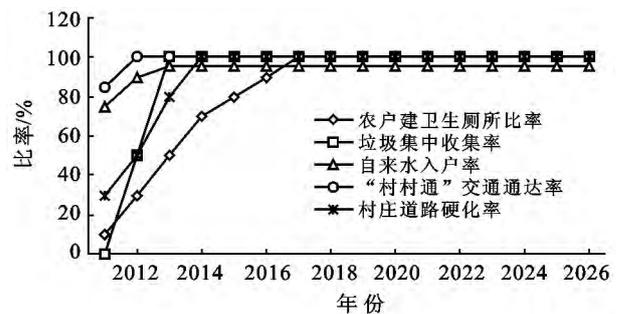


图 2 小流域综合治理后安全饮水、一池三改、垃圾集中收集清运、出入方便程度前景分析

5 小流域综合治理优化调控

5.1 生态治理优化调控

为了探讨 2012—2026 年秦庄沟流域综合治理生态、经济和社会三个子系统之间发展互相协调的途径,利用 SD 模型,仿真了 3 种发展粮食生产方案。

秦庄沟流域现状年主要以种植业为主,耕地占土地利用的 30.77%,而种植业产值仅占农业总产值 9.2%。果园占农业用地的 21.48%,产值却占农业总产值的 21.8%,园地单位面积生产力是耕地的 3.4

倍,是流域村民收入主要来源。因此,园地面积不宜减少。2026年秦庄沟流域农村总人口为8 184人,耕地面积为960.92 hm²,其中坡耕地765.27 hm²。

(1) 方案一。以粮食生产为重,人均粮目标为500 kg。但所需水平耕地面积已超出耕地面积为960.92 hm²,若方案一执行,将减少园地面积,农业总产值和总纯收入均属于较低的收入方案。应舍去方案一。

(2) 方案二。以人均粮400 kg为目标。2026年,流域水平耕地面积为868.60 hm²,坡耕地面积92.32 hm²,人均水平耕地面积0.106 hm²产粮400 kg,人均坡耕地0.011 hm²可产粮23.8 kg,二者共计产粮423.8 kg。拦蓄径流量及拦蓄泥沙量分别为1 158.13 m³和133.18 t。方案二坡改梯造价1 954.34万元。

(3) 方案三。人均粮目标为350 kg。2026年,所需水平耕地面积为760.02 hm²,坡耕地面积200.90 hm²。人均水平耕地面积0.093 hm²可产粮350 kg,人均坡耕地0.025 hm²可产粮51.8 kg,二者共计产粮401.8 kg。拦蓄径流量及拦蓄泥沙量分别为1 013.36 m³和116.54 t。方案二坡改梯造价1 710.05万元。

在满足各阶段人口需求,即粮食自给的情况下,以满足生态效益目标为各项措施减沙量最大,水土流失最少;实现土地肥力的平衡,保持土地较高生产力;经济效益目标为纯收入最大,投资最省。将两个方案比较,方案二比方案三多投入224.29万元,人均粮食占有量二者仅相差22 kg。依据秦庄沟流域的实际情况,方案三可将相差224.29万元投入到修建谷坊,可以在较浅的支毛沟底修建220座土谷坊,可拦泥2 288 m³,沟底平均淤高0.35 m,可实现分段拦截泥沙和水流,并达到沟道治理的预期效果。方案三能实现粮食中等自给,能满足各时期人口需求,同时又能满足生态效益和经济效益目标。相对来说,综合效益最优,因此最终选择方案三为秦庄沟流域综合治理2012—2026年水土保持生态设计方案。经过治理,使现有765.27 hm²坡耕地减少到200.90 hm²,基本农田由195.65 hm²提高760.02 hm²,坡耕地与基本农田的比例由79.64%和20.36%转变为20.90%和70.09%。农业生产条件的改善,提高了土地生产力,人均占有粮食达到401.8 kg,实现自给有余。

5.2 经济治理优化调控

按照流域自然条件差异,将小流域生态农业系统划分为4个子系统^[2]。(1) 沟道生态农业子系统。秦庄沟流域沟道建设谷坊拦泥减沙,植树造林,护坡减

灾。(2) 坡地生态农业子系统。秦庄沟流域上游坡地水土流失极为严重,适宜发展林牧。开发治理思路是栽种乔木、灌木及牧草,辅之以配套的整地工程,实行植被覆盖,建立生态经济系统。(3) 梁坡塬面生态农业子系统。秦庄沟流域的塬面未治理前大部是坡耕果园,适宜发展集约农业,建现代化的粮、果基地。(4) 庭院生态农业子系统。秦庄沟流域村民居住分散,庭院面积大,具备立体利用优势。庭院内宜发展畜牧养殖、栽种果蔬,庭院外宜在实施水土保持工程的基础上,栽植经济林、乔木林及药材、蔬菜等。

5.3 社会治理优化调控

小流域社会治理优化调控要与经济发展、生态建设、人的全面发展协调推进,主要涉及生计、生命安全、人居环境等村民最关心的、最急需解决的突出问题。

首先是饮水安全。不同居住情况及地质条件,可采用不同的供水方式。流域内对于地质条件较好和水源水质达标的村庄,采取集中打深井提水、统一供水的方案,优先选择连片集中供水或管网延伸供水方式。其中水源和供水范围,可跨村、镇等行政区域规划,但应做好协调工作。对于受水源、地形、居住、电力、经济等条件限制的偏远区域,根据当地实际情况规划建设分散式供水工程。

养殖专业户带来的环境污染治理:(1) 养殖业污染治理原则。“谁污染,谁治理”;分期治理,分步实施;综合治理与发展。(2) 养殖业污染防治。养殖场沼气系统建设进行养殖场规范化改造。冲洗畜禽舍污水全部进入沼气池。加强对养殖户管理,根据市场情况逐步实现科学化和集约化养殖,彻底解决养殖业污染问题。

6 结论

通过建立SEE—SD模型,量化分析了秦庄沟流域综合治理3个子系统(生态、经济和社会)间的相互作用关系。并基于趋势模拟和分析结论,对生态、经济和社会治理进行了优化调控,提出有针对性的坡改梯方案选择、饮水安全、生态农业产业循环和改善人居环境对策。

对渭北旱塬小流域综合治理规划方法应采用全新思想:(1) 小流域水土保持是三个子系统(生态、经济和社会)发展的基础。(2) 小流域水土保持综合治理必须结合生态、经济和社会发展。(3) 小流域生态农业发展应当因地制宜。小流域综合治理规划必须考虑综合效益。(4) SEE—SD模型方法用于小流域综合治理规划具有科学性和实用性。

(下转第225页)

- [16] 刘普幸,陈仲全. 中国西北绿洲生态农业发展举措[J]. 宁夏大学学报:自然科学版,1999,20(2):140-150.
- [17] 翟禄新,冯起. 基于 SPI 的西北地区气候干湿变化[J]. 自然资源学报,2011,26(5):847-857.
- [18] 申元村,汪久文,伍光和,等. 中国绿洲[M]. 河南开封:河南大学出版社,2000.
- [19] 王根绪,程国栋,徐中民,等. 中国西北干旱区水资源利用及其生态环境问题[J]. 自然资源学报,1999,14(2):109-116.
- [20] 赵哈林,赵学勇,张铜会,等. 中国西北干旱区的荒漠化过程及其空间分异规律[J]. 中国沙漠,2011,31(1):1-8.
- [21] 龚斌,万力,胡伏生,等. 黑河下游额济纳旗绿洲退化规律及其控制因素[J]. 水文地质工程地质,2006,14(1):58-61.
- [22] 李小玉,肖笃宁. 石羊河流域中下游绿洲土地利用变化与水资源动态研究[J]. 水科学进展,2005,16(5):643-648.
- [23] 施雅风,沈永平,张栋梁,等. 中国西北气候由暖干向暖湿转型的特征和趋势探讨[J]. 第四纪研究,2003,23(2):152-164.
- [24] 张庆云,陈烈庭. 近30年来中国气候的干湿变化[J]. 大气科学,1991,15(5):72-81.
- [25] 程国栋,王根绪. 中国西北地区的干旱与旱灾:变化趋势与对策[J]. 地学前缘,2006,13(1):3-14.
- [26] 王志伟,翟盘茂. 中国北方近50年干旱变化特征[J]. 地理学报,2003,58(S):61-68.
- [27] 于淑秋,林学椿,徐祥德. 我国西北地区近50年降水和气温的变化[J]. 气候与环境研究,2003,8(1):9-18.
- [28] 贾文雄,何元庆,李宗省,等. 祁连山区气候变化的区域差异特征及突变分析[J]. 地理学报,2008,63(3):257-268.
- [29] 张永,陈发虎,勾晓华,等. 中国西北地区季节间干湿变化的时空分布:基于PDSI数据[J]. 地理学报,2007,62(11):1142-1152.
- [30] 伍光和田连恕,胡双熙,等. 自然地理学[M]. 3版. 北京:高等教育出版社,2000.
- [31] 林学椿,于淑秋. 中国干旱的22年周期与太阳地磁活动周[J]. 气象科学研究院院刊,1987,2(1):43-50.
- [32] 黄玉霞,李栋梁,王宝鉴,等. 西北地区近40年年降水异常的时空特征分析[J]. 高原气象,2004,23(2):245-252.
- [33] 靳立亚,符娇兰,陈发虎. 近44年来西北降水量变化的区域差异以及对全球变暖的响应[J]. 地理科学,2005,25(5):567-572.

(上接第219页)

[参 考 文 献]

- [1] 朱小康. 小流域综合治理与新农村建设[J]. (20110203) [20130506]. 中国水土保持评价网 <http://www.stbew.org/2011/0822/394.html>.
- [2] 谢松良,吴星中. 论庭院水保与社会主义新农村建设的关系[J]. 中国水土保持科学,2008,6(6):160-163.
- [3] 许志云. 浅谈小流域水土保持综合治理优化规划问题[J]. 水土保持通报,1996,16(1):97-101.
- [4] 王洪刚. 双山前小流域综合治理规划设计[J]. 水土保持研究,2001,9(3):6-8.
- [5] 翁伯奇,黄毅斌. 中国生态农业建设的基本理论、主要成效与发展趋势[J]. 福建农业学报,1999,14(S):226-236.
- [6] 蔡建勤. 从生态经济学角度谈小流域综合治理规划[J]. 中国水土保持,1991(4):40-44.
- [7] 李富佳,董锁成,等. 基于AEP—SD模型的生态农业系统模拟与优化调控:以平凉市峻峒区为例[J]. 地理研究,2012,31(5):840-852.
- [8] 祁生林. 生态清洁小流域建设理论及实践:以北京密云县为例[D]. 北京:北京林业大学,2006.
- [9] 文雅,宋桂琴. 系统动力学仿真方法在土地生态设计中的应用:以渭北高原沟壑区长武县为例[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报,1996,9(3):48-55.