

DOI: 10.3880/j.issn.1003-9511.2015.04.017

绿水信贷及其在中国流域生态补偿中的应用

白占国¹, 刘昌明², 陈莹^{3,4}, 于静洁², 王世杰⁵

(1. 世界土壤信息中心, 荷兰 瓦赫宁根 6700AJ; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所水资源中心, 北京 100101;
3. 水利部水资源管理中心, 北京 100056; 4. 水利部非常规水源工程技术研究中心, 北京 100056;
5. 中国科学院地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室, 贵州 贵阳 550002)

摘要: 流域生态补偿是生态补偿的重要组成部分。绿水信贷是流域生态补偿的一种形式。介绍了绿水信贷新理念、定量评估技术系统及在肯尼亚、摩洛哥和中国的应用; 通过分析绿水信贷与中国流域生态和水资源补偿建设的关系后认为, 绿水信贷及其定量评估技术系统可以应用到流域生态和水资源补偿建设实践中。

关键词: 绿水; 蓝水; 绿水信贷; 定量评估技术系统; 生态补偿

中图分类号: X171.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-9511(2015)04-0066-06

20世纪80年代开始, 世界各国面临的水资源短缺及水污染问题凸显。绿水管理被认为是一种提高水资源保证率和保护水环境的途径。30多年来的研究与实践已说明绿水管理在解决缺水、保护环境、维系生态方面的重要地位与积极作用。朱显谟^[1]从陆地生态的发生发展及其整个地质历史演变过程的研究中发现“土壤水库”或绿水的发生发展及其演变是陆地生态发生发展的关键和“动力”, 只要维护土壤水库的正常发展就能更好地保护生态环境。

淡水水源来自天然降水。全球2/3的降水(淡水)储蓄在土壤中, 供植被生长之用, 这部分水被称之为“绿水”。仅1/3的降水变成可抽取的地表水和地下水, 即“蓝水”。

在中国, 全国平均“绿水”与“蓝水”比例约为6:4; 但存在地区差异: 西北内陆约为7.5:2.5, 黄河流域约为8:2, 东北松辽流域约为7:3, 长江流域约为5:5, 西南地区约为4:6; 且存在年际变化^[2]。

蓝水是地球上的液态淡水, 为重力赋存与重力驱动; 绿水是气态水, 以水汽分子状态赋存, 由热力与分子力驱动、流动^[3]。以水为对象的学科称为水科学, 其理论与实践的科技基本原理是水循环, 而水循环过程的核心内容是水分与能量的交换规律, 即

水循环过程中的相态变化, 即凝华、升华、液化、蒸发、汽化与凝固等。蒸发与汽化的不同是: 前者是液体表面随时发生的, 而后者则是在同一温度下液体表面和内部同时进行的剧烈汽化过程, 如沸腾。研究绿水的来源与转化涉及上述6个相态变化过程, 以液态转化为气态蒸发为主, 升华与汽化次之。“绿水”和“蓝水”均由大气降水所派生, 由于水循环过程中水的相态变化, 它们经常处于不停的互相转化与交换状态。把降水量作为广义的水资源总量, 根据质量守恒定律, 由水量平衡可以得出“绿水”和“蓝水”定量关系为

$$P = W_B + W_G \quad (1)$$

式中: P 为降水总量; W_B 为蓝水; W_G 为绿水。

显然,

$$W_G = P - W_B \quad (2)$$

$$W_B = P - W_G \quad (3)$$

引入绿水的概念与以往的“地表水量加地下水量减他们的交换重复量”作为水资源(液态蓝水)总量计算的不同之处在于能进一步弄清用水的耗散与维护生态需水, 有利于水资源的综合管理, 提高水资源利用效率和保护生态环境。但在现实水资源管理和利用中, 几乎所有的投资放在对“蓝水”的开发利用上。其中2/3用于灌溉, 其余为城镇、工业用水。而“绿水”却被工程技术开发所忽视, 因为分子态的

作者简介: 白占国(1966—), 男, 陕西定边人, 世界土壤信息中心高级研究员, 博士, 主要从事水土资源可持续利用研究。E-mail: zhanguo.bai@wur.nl

绿水无法像蓝水那样可以提取;绿水也被经济分析所忽视,因为人们无法给绿水定价;绿水还被政府管理部门所忽视,因为他们无法对其征税。

人们几乎不可能“创造”更多的降水,但可以通过流域绿水管理(Green Water Management),减少无效蒸发、减少地表径流及输入河湖泥沙量、减少面源污染;增加作物产量、增加灌溉面积及发电量,增加下游水体来水量与改善水质;消除或缓解因气候变化,特别是极端气候变化造成的洪涝和干旱灾害。绿水管理虽然在流域中上游地区开展,但对下游河流、水库和地下水产生直接影响。流域绿水管理使上游土地使用者和下游水资源消费者均受益或双赢。

实施绿水管理需要投入。投入多少,谁来投入,如何实施绿水管理,成本-效益如何,如何监管,这是流域生态补偿机制问题,也是国务院正在大力推进生态补偿机制建设的重要工作。本文就目前国际最新研究进展——绿水信贷理念、定量评估技术系统及其在肯尼亚、摩洛哥和中国的应用作简要介绍,分析该理念及定量评估技术系统在流域生态补偿所能起的作用。

1 绿水信贷理念及其定量评估技术系统

1.1 新理念及验证

绿水信贷(Green Water Credits)是一种投资机制,即支付给农户用于开展绿水管理活动的费用。迄今,农户参与绿水管理的工作尚未普及,仅在非洲一些国家进行了试验与示范。作为水资源管理一种创新的开拓,绿水信贷对贫困农户大有好处;同时也有利于保障用水与保护生态(图1)。

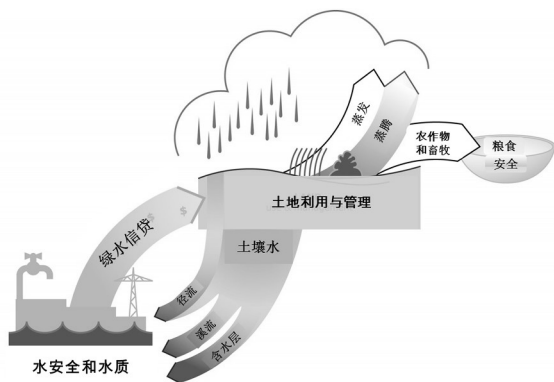


图1 绿水信贷理念

所谓绿水管理是指农户或土地使用者实施有效的绿水管理措施,如秸秆覆盖、保护性耕作、修梯田、陡坡退耕还草还林和合理施肥等,使降水就地入渗拦蓄,减少无效蒸发,减少水土及养分流失,减少入河湖泥沙量,从而提高降水利用效率与作物产量,减少面源污染,保护水质,增加下游来水量、灌溉保证

率及发电量用水量,增加地下水补给和减少洪涝灾害,改善乡村生存条件和碳隔离等。绿水管理措施注重流域水土资源的高效和可持续利用。绿水信贷是衔接下游水资源利用者(投资者)和上游绿水管理者之间的一座桥梁:通过给流域上游的农户或牧民提供小额资金或物资支持,开展有效的绿水管理,能使水源区与其下游用水区利益攸关方均受益,实现双赢,促进清洁流域的可持续利用。绿水信贷是生态服务付费(Payment for Ecosystem Services)的一种途径。绿水信贷理念在肯尼亚塔纳(Tana)河流域进行了概念验证,证明是切实可行的^[4]。因为:①流域上下游利益攸关方已经意识到对土地和水资源的需求正在增加的同时,也认识到这些资源正在恶化;②受益的下游水资源用户,如肯尼亚水电集团、内罗毕水源公司等愿意且能够支付流域上(中)游绿水管理费用;③由肯尼亚国家水资源部草拟并实施的水资源管理条例,要求对水资源的管理要有经济效益。

该理念现正在摩洛哥、阿尔及利亚和中国进行示范和推广。

1.2 绿水信贷目标和框架

实施绿水信贷的目标是为了维持和保障水源下游经济社会发展区域用水的来水量有增无减,改善水质,减少水库淤积,减少洪涝灾害,提高作物产量,改善乡村生存条件等。绿水信贷涉及4个方面问题:衔接流域上游土地管理与下游水资源利用;经济条件;相关法律、法规和财政机制(图2)。

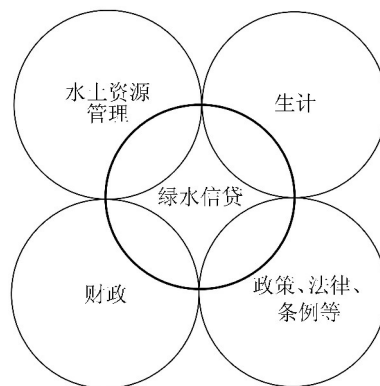


图2 绿水信贷涉及的相关领域

1.3 绿水信贷定量评估技术系统

为实施绿水信贷理念,世界土壤信息中心(ISRIC-World Soil Information, 荷兰)及其合作伙伴研发了一套绿水管理定量评估技术系统(GB-WAP)。该技术系统通过水土资源评估模型对流域绿水和蓝水(含地下水)质量和数量进行定量模拟和分析,如绿水、蓝水的分配比例及干、湿年份变化,土壤蒸发和蒸腾,地表径流及产沙量,面源污染等;定量分析绿

水管理措施(如秸秆覆盖、修梯田等)的生态效果(如减沙量)和成本-效益。该系统通过水资源评估和规划管理评价模型,判断绿水管理措施在作物产量、下游水体来水量、水质改善状况、灌溉面积及发电量等方面的实施效果并对水资源的优化利用提出建议。该系统基于网络服务综合管理平台(Lizard系统或WaterMaps系统)对评估结果进行展示,为实施绿水管理提供决策支持和实时检测(图3)。

1.4 实施步骤

- a. 评估现有土地权和水权,以及水资源的供需矛盾。
- b. 评估水资源现状、用途及其短缺量,管理不善造成的损失,绿水管理对缓解水资源短缺量的程度及其所需费用。
- c. 建立一个谈判平台,使水资源利益攸关各方(Stakeholders)能充分表达各自需求和贡献,确保各方知情权;寻找最优水资源保护和分配方案,对合理的绿水管理费用、水价等达成协议。
- d. 建立必要的资金筹措和支付机制,谁保护谁受益,谁用水谁付费的原则。在中国,政府可起主导作用。

2 应用实例

2.1 在非洲肯尼亚和摩洛哥的经验

绿水信贷已在非洲肯尼亚塔纳河流域上游成功实施。结果表明:①绿水管理和信贷可以衔接上游土地管理与下游供水、规范河流调配、减少水库泥沙淤积;②绿水信贷定量评估技术系统在水资源评估、优化水资源配置、成本与效益分析中切实可行;③绿水管理费用可从其获得的利益中支付:在肯尼亚塔

纳上游,每年水费收入可达到9500美元,而实际开支约2000万美元。如果以20%计算(实施绿水管理措施面积占塔纳河流域上游总面积),每年绿水管理费用约430万美元,而通过绿水管理措施实际获利约4800万美元),即成本-收益比约为1:11;④减少泥沙淤积可增加发电量、城市供水,从中直接受益;⑤实现碳隔离,等^[5-8]。

在肯尼亚塔纳河流域上游实施绿水管理措施约3年内,投入大于收益,第4年投入-收益达到平衡,之后,收益大于投入且逐渐增加。因此,实施绿水管理需要启动资金。这些信贷资金筹措来源包括肯尼亚水电集团、内罗毕自来水公司、肯尼亚谏鞋特(Equity)银行、国际援助资金、肯尼亚水资源信托基金等。绿水管理评估、规划及监管由肯尼亚政府和国际相关专业研究机构负责,措施由塔纳河上中游水资源管理局与农户协会签署协议,由农户协会组织农户实施。

在摩洛哥,对斯布(Sebou)流域的定量模拟初步结果表明:在约25%的雨养农耕地中实施绿水管理措施(石坎和水平梯田),其成本与效益比约为1:5.5^[9]。该项目由摩洛哥政府主导实施。

2.2 在中国堵河流域的初步尝试

绿水信贷理念已在中国堵河流域(竹山水文站以上流域)开展了示范研究。堵河流域是汉江一支流,汇入南水北调中线水源区丹江口水库,是南水北调中线重要的水源区。首先通过绿水信贷定量评估技术系统对堵河流域降水、地形、土壤、水文、气象、土地利用、农作物种植管理、水库和社会经济等定量分析,确定了该流域绿水、蓝水和土壤流失总量及其空间分布状况;定量模拟了4种农耕地绿水管理措

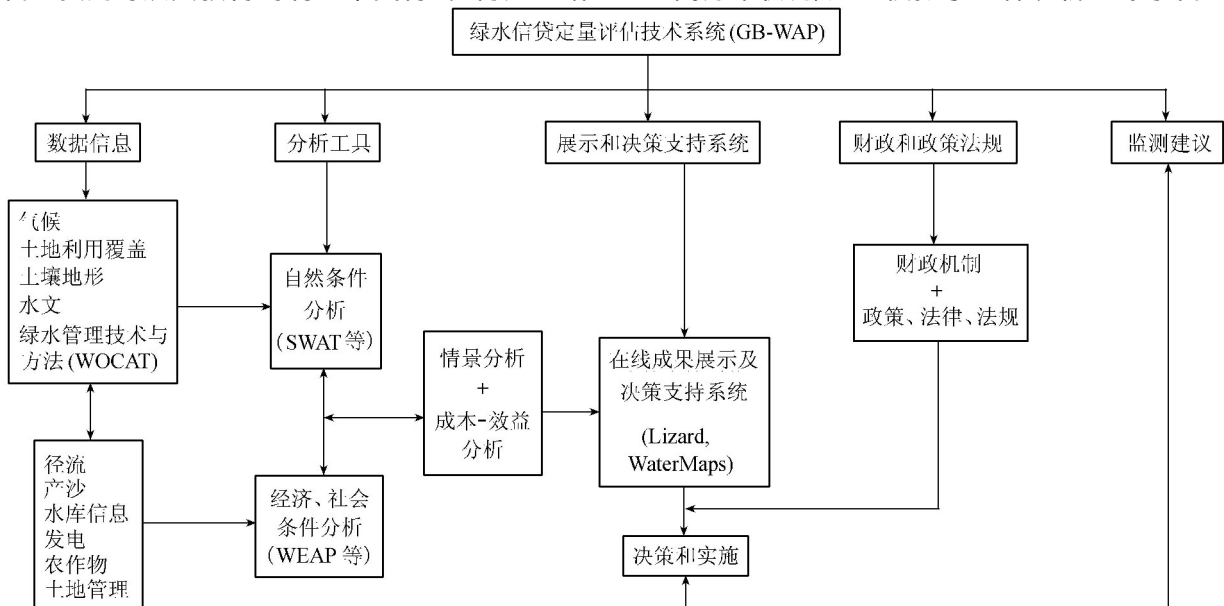


图3 绿水信贷定量评估技术系统

施(石坎、梯田、等高条作和地膜覆盖)的保水、减沙和增产效果等。初步结果表明:梯田在阻止土壤流失方面效果最好,而等高耕作在增加地下水储量方面效果最为明显^[10-11]。尽管如此,因堵河上游农耕地仅占流域上游面积的5.8%,对整个堵河流域绿水管理效果的贡献有限。而堵河流域上游林地覆盖率较高(大于75%),采用适当的林地管理措施(如增加稀疏林地植被覆盖度),将增加下游入库水量,效果显著;其次,该技术评估系统对上述绿水管理措施进行了成本-效益分析:石坎和梯田的成本-效益比约为1:4.5;等高条种成本-效益比约1:2;地膜覆盖的成本-效益持平^[10,12]。

对堵河流域绿水管理建模、校验和情景分析初步结果显示:可以量化绿水管理措施的生态效果、成本及经济效益。这也是流域生态服务付费的关键。如以增加入库水量和提高水质为目的,绿水信贷首先可以确定在堵河上游哪些地区开展何(几)种措施效果好,如减少无效蒸发和径流侵蚀,成本是多少,耕地产量增加多少,农户收入增加多少;下游入库水量增加多少,增发多少电,可增加多少灌溉面积等;减少多少入河/库泥沙,减少多少清库成本,等等。尽而可计算绿水管理的“投入”和“产出”。但因缺乏土壤污染(如使用化肥和农药等)和水污染监测数据,可行性研究未对实施绿水管理措施后减少污染效果进行评估,也未就绿水信贷资金筹措、绿水管理实施途径、监督等作具体阐述,有待进一步研究。

3 应用绿水信贷推进中国流域生态补偿进程

我国是水资源短缺的国家之一,由于时空分布不均,全国600多个城市中,有400多个城市存在缺水问题,其中100多个城市严重缺水。水资源短缺已经成为制约经济社会发展的重要瓶颈,且水污染防治亦刻不容缓。缓解水资源短缺,一是靠“开源”,二是靠“节流”。从“节流”角度看,国内外成熟的措施和技术已经较多,相比之下,“开源”措施却甚少。从水资源利用角度看,地表水和地下水(即蓝水)一直以来是人们利用且关注的重点,20世纪多个国家试图通过生态补偿方法,以保护地表(地下)水源,达到增加水资源量的目标。但由于生态效益较难衡量,生态经济补偿机制的推广大大受阻。随后绿水逐渐被作为“开源”措施的重要方向,越来越受到关注。增强这部分水资源的管理将拓宽现有水资源的认识范畴。绿水管理机制经过多年的机理研究与推广应用,逐渐成熟,已在非洲国家开展了相

应的推广,并取得了显著的成效^[5-9]。流域付费(Watershed payment)机制越来越受到重视和应用^[13]。

党的十八大把生态文明建设放在突出地位,纳入中国特色社会主义事业“五位一体”总体布局,明确提出了全面建设社会主义生态文明的目标任务。建立生态补偿机制,是建设生态文明的重要制度保障。在综合考虑生态保护成本、发展机会成本和生态服务价值的基础上,明确界定生态保护者与受益者权利义务、采取财政转移支付或市场交易等方式,对生态保护者给予合理补偿,促进人与自然和谐发展^[14]。目前,政府各部门密切协作,合理推进生态补偿机制建设,并取得了积极进展。但由于这项工作起步较晚,涉及的利益关系复杂,对规律的认知水平有限,在工作实践中还存在不少矛盾和问题。如相关产权制度不健全,配套基础性制度不完善,政策法规建设滞后;补偿范围偏窄,补偿标准体系、生态服务价值评估核算体系、生态环境监测评估体系建设滞后,缺乏统一、权威的指标体系和测算方法;保护者和受益者的权责落实不到位,开发地区、受益地区与生态保护区、流域上游地区与下游地区之间缺乏有效的协商平台和机制等^[14]。总体来看,中国的生态补偿机制还没有根本确立,谁开发谁保护、谁受益谁补偿的利益调节机制还没有真正形成,在促进生态环境保护 and 资源可持续利用方面的作用还没有充分发挥,需要付出长期艰苦的努力。

流域和水资源生态补偿是生态补偿建设中的重要组成部分。流域生态补偿是国家对流域生态保护区内因致力于生态和环境保护而丧失发展机会的居民在资金、技术和实物上的补偿及政策上的优惠等,以及因生态与环境保护建设的外部性,流域生态保护净受益区对保护区致力于生态和环境保护各方面投入的分担^[15]。

生态补偿涉及资源、生态与环境的诸多方面。陈尉等^[16]依据我国生态补偿实施地的空间地域特征及实际开展情况,将我国生态补偿分为自然保护区生态补偿、重要生态功能区生态补偿、流域水资源生态补偿、大气环境保护生态补偿、矿产资源开发区生态补偿、农业生产区生态补偿以及旅游风景开发区生态补偿共7类。在我国已实施及在实施的113例生态补偿案例中,流域水资源生态补偿案例最多,为41例。相比较而言,流域水资源保护的生态补偿相对受到更多的关注,特别是水源地的生态补偿。然而,生态补偿进程处于起步阶段,存在缺陷。现以南水北调中线水源地丹江口水库上游和珠江上游水源地生态补偿实施的情况为例予以说明。

丹江口水库是“南水北调”中线工程的水源地,

也是我国重要的战略淡水资源库。其水源区的保护已列入国家重点生态功能区保护区。然而,丹江口水库上游以农业种植为主,生产水平相对落后,地区经济发展与水源保护之间、上游用水与下游用水之间、以及生产力落后与人口增长之间的矛盾,均对丹江口库区水源区环境构成了极大威胁。为了“永葆一库清水”,国家颁布了《丹江口库区及上游水污染防治和水土保持规划》并从2008年正式启动实施南水北调中线工程水源区保护生态补偿机制试点,对因加强生态保护、改善生态环境造成的损失进行补偿。主要通过国家财政转移方式为丹江口水库等地区生态补偿建立专项基金,这在一定程度上缓解了水源区在保护生态环境、建立生态补偿方面的财政压力,同时也调动了地方政府和库区居民保护环境的积极性。为保护生态环境,库区拆除了周边的制药厂、造纸厂等污染严重的企业,同时对周边居民进行生态移民,并给予失地补贴。同时,为控制农业面源污染,限制周边地区农民使用农药、化肥。这一系列的措施对于恢复库区生态环境、改善库区水质起了很大作用。但随着措施的推进,其弊端也逐渐暴露出来。①政府财政压力大,资金落实不到位,没有形成持续的补偿机制。②补偿主体单一,缺乏受益人群的参与。目前生态补偿的主体以政府为主,缺乏受益人群的参与,这与生态补偿制度的目的相悖。③补偿标准不合理、补偿方式单一。目前库区居民生态补偿的方式以资金补偿为主,且补偿标准偏低,无法满足利益受损居民的正常生活需要。以森林生态效益补偿标准为例,湖北省森林生态效益补偿基金的补助标准为每年75元/hm²,其中67.5元用于补偿性支出,7.5元作为公共管护支出,集中于森林防火、森林病虫害防治、森林资源监测。而其他方面,如水土保持综合治理补偿、退耕还林补偿资金也较低,难以满足生态保护的需要。上述问题严重阻碍了丹江口水库生态补偿制度的推进^[17]。

珠江流域地跨云南、贵州、广西、广东、湖南和江西6个省(区),水量仅次于长江,上下游经济发展差距较大,上游水源区经济相对欠发达,而下游是沿海发达地区。上游土地利用直接影响到下游的水量和水质以及供水安全。如东江下游的广东省供水安全直接与位于东江源的江西省赣州市的安远县、寻乌县和定南三县的水土资源利用密切相关^[18]。水源区的三县经济落后,属于国家和省级扶贫重点县,但为了保证水源区水质达到优于Ⅱ类标准,三县都采取了限制性开发、移民搬迁和封山造林和退耕还林等生态保护工程措施,直接和间接地支付了水资源保护的巨大成本,为保护一江清水送广东、香港,

牺牲了较大的利益,但是目前所享有的主要是国家退耕还林补偿金等政策,补偿力度较小,支付多少费用成为江西省和广东省两省跨省界水源地补偿长期存在争议又未解决的问题^[18]。

上述两个水源地生态补偿案例基本上反映了中国生态补偿进展研究与实施的现状。马莹^[19]综述了国内流域生态补偿研究现状,指出目前中国的流域生态补偿研究存在的缺陷,认为生态补偿研究尚处于起步阶段,流域生态补偿研究集中在定义、主客体、原则和模式上,对流域生态补偿额度的定量研究较少,而现有的研究成果现实使用性较差,难以直接指导实践;其次,关于流域内地域间补偿的相关研究较多,但少有学对补偿金如何在受偿体内部进行分配、使用和管理问题进行研究;最后,缺少对制度评价标准的研究。没有学者对判断流域生态补偿制度的好坏标准进行研究。

能否切实推进中国生态补偿,实现中国政府提出的水量水质控制红线目标,实现水资源的可持续利用,迫切需要解决生态补偿额度定量、对生态补偿金进行受偿体内的合理分配与管理、对生态补偿制度进行评价。

绿水信贷及其定量评估技术系统在流域生态补偿机制建设中可发挥重要作用,包括:

a. 定量评估流域现有水土资源状况和空间分布及水资源的供需矛盾,通过定量模拟分析有前景的绿水管理措施的生态效果和成本-效益,确定适合当地条件且可持续(效益大于成本)的绿水管理措施类型和范围。

b. 估算实施上述确定的绿水管理需要投资多少,效益是多少;说服下游水资源受益者在流域上游投资开展绿水管理会得到收益,是双赢,促进流域上、下游之间的合作,实现流域水资源可持续利用。

c. 分析流域上下游绿水管理利益攸关方谁实施绿水管理,谁受益及受益多少,建立一个谈判平台,各利益攸关方有知情权并能充分表达各自的需求和贡献,共同寻找最优水资源保护和分配方案,对合理的绿水管理费用、水价等达成协议。

d. 监测绿水管理实施过程和进展并将结果及时在线演示,根据实施情况,可及时调整实施方案。

e. 定量评估过去已开展的水土保持、退耕还林还草等生态保护项目实施的效果和成本-效益。

f. 通过上述分析,可以帮助理清现有土地权和水权存在的问题,建立绿水信贷资金筹措和支付机制。

总之,利用绿水信贷及定量评价技术系统可为水源区水资源(质和量)的保护提供合理的生态补

偿量化指标,以及合理的绿水管理方案,从而推进流域水资源生态补偿的有效实施,实现水资源高效和可持续利用。

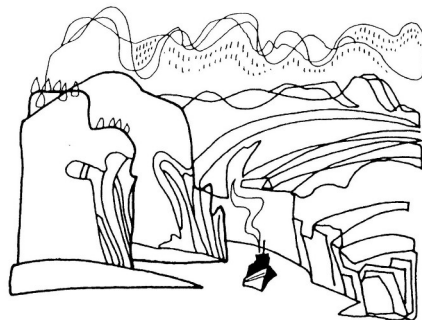
4 结 论

绿水信贷是流域管理和可持续利用的新理念和新思维,引入该理念和技术评估系统至中国流域生态补偿建设中,意义非常重大,将大大促进中国流域水资源保护工作及流域生态补偿机制的建立。通过绿水信贷支付生态服务费用科学地管理绿水,将流域上下游的生态保护与水资源需求联系起来,使上下游利益攸关方均受益。中国的流域自然条件和社会环境与肯尼亚等国家有所不同,需要结合中国不同地区的实际情况和国家战略,在典型流域开展示范研究,探索适合当地的绿水信贷或流域生态补偿机制体系。

参考文献:

- [1] 朱显谟. 抢救“土壤水库”治理黄土高原生态环境[J]. 中国科学院院刊, 2000(4): 293-295.
- [2] 刘昌明, 李云成. “绿水”与节水: 中国水资源内涵问题讨论[J]. 科学对社会的影响, 2006(1): 16-20.
- [3] 刘昌明. 水文科学创新研究进展[M]. 北京: 科学出版社, 2014: 3-21.
- [4] DENT D L, KAUFFMAN S. The spark has jumped the gap: green water credits proof-of-concept [R]. Wageningen: ISRIC - World Soil Information, 2007.
- [5] DROOGERS P, HUNINK J, KAUFFMAN S, et al. Costs and benefits of land management options in the Upper Tana, Kenya: Using the water evaluation and planning system - WEAP [R]. Wageningen: ISRIC - World Soil Information, 2011.
- [6] HUNINK J E, IMMERZEEL W W, DROOGERS P, et al. Green and blue water resources for the Upper Tana catchment, Kenya - soil-water management scenarios using the soil and water assessment tool [R]. Wageningen: ISRIC - World Soil Information, 2011.
- [7] HUNINK J E, DROOGERS P, KAUFFMAN S, et al. Quantitative simulation tools to analyze up- and downstream interactions of soil and water conservation measures: Supporting policy making in the green water credits program of Kenya [J]. Journal of Environmental Management, 2012, 111: 187-194.
- [8] HUNINK J E, NIADAS I A, ANTONAROPOULOS P, et al. Targeting of intervention areas to reduce reservoir sedimentation in the Tana catchment (Kenya) using SWAT [J]. Hydrological Sciences Journal, 2013, 58: 1-15.
- [9] TERINK W, HUNINK J, DROOGERS P, et al. Green water credits Morocco: Inception phase green and blue water resources for the Sebou Basin, Morocco: Soil and water management scenarios using the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) [R]. Wageningen: Future Water Report, 2011.
- [10] BRANDSMA J, van den EERTWEGH G A P H, DROOGERS P, et al. Green and blue water resources and management scenarios using the SWAT model for the upper Duhe Basin, China - feasibility study [R]. Wageningen: Future Water Report, 2013.
- [11] 李建, 尹炜, 杨国胜. 南水北调中线水源区绿水管理技术研究[J]. 水利经济, 2014, 32(1): 7-11.
- [12] DROOGERS P, BRANDSMA J, BAI Z G, et al. Benefit-cost analysis based on supply-demand modeling by WEAP for the upper Duhe Basin, China - feasibility study [R]. Wageningen: Future Water, 2013.
- [13] BENNETT G, CARROLL N, Hamilton K. Charting new waters: state of watershed payments 2012 [R]. Washington, DC: Ecosystem marketplace a forest trends initiative, 2013.
- [14] 徐绍史. 国务院关于生态补偿机制建设工作情况的报告 [EB/OL]. [2015-03-05]. http://www.npc.gov.cn/npc/xinwen/2013-04/26/content_1793568.htm.
- [15] 刘玉龙, 许凤冉, 张春玲, 等. 流域生态补偿标准计算模型研究[J]. 中国水利, 2006(22): 35-38.
- [16] 陈尉, 刘玉龙, 杨丽. 我国生态补偿分类及其实施案例分析[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2010, 8(1): 52-58.
- [17] 于铭, 孙钰. 水源地生态补偿制度研究: 以青岛市崂山水库为例[J]. 环境科学与管理, 2014, 39(4): 161-165.
- [18] 陈春梅, 范公俊. 珠江流域生态补偿典型类型研究[J]. 人民珠江, 2013(5): 49-51.
- [19] 马莹. 国内流域生态补偿研究综述[J]. 经济研究导刊, 2014(12): 179-180.

(收稿日期: 2015-04-07 编辑: 陈玉国)



utilization

Comprehensive utilization and unified allocation of non-conventional water resources in water-deficient areas of Northwest China: Case of Erdos City/LIU Zhengsheng, et al (Yellow River Engineering Consulting Co., Ltd., Zhengzhou 450003, China)

Abstract: Taking Erdos City as an example, with regard to the problems of rich mineral resources, deficient water resources, fragile ecological environment and serious contradiction between water supply and demand in the area, the techniques of utilizing non-conventional water are studied and the unified allocation and joint scheduling of various water sources is proposed by analyzing a variety of available quantity of non-conventional water resources. The results show that the conventional water resources (surface water and groundwater) in Erdos City are limited, and the available quantity of non-conventional water resources can be 331 million m³ in 2020 through the integrated utilization of reclaimed water from wastewater treatment, coal mine water, brackish water from desalination treatment (salinity of 2 ~ 5 g/L), exploited karst water, underflow and rainwater. It can effectively increase the available water supply in Erdos City and mitigate the contradiction between regional water supply and demand so as to support the sustainable development of social economy. The proposed strategy of non-conventional water utilization is of reference significance for the water-deficient areas in Northwest China.

Key words: water-deficient area; non-conventional water resource; unified allocation; adjustment; Erdos City

Problems and countermeasures for development and utilization of non-conventional water resources in island cities: Example of Zhoushan City/NIE Hanjiang, et al (Department of Water Resources, Ministry of Water Resources of P. R. China, Beijing 100056, China; Technical Center of Non-conventional Water Resource Engineering, Ministry of Water Resources of P. R. China, Beijing 100056, China; College of Water Conservancy and Hydropower, Hebei University of Engineering, Handan 056038, China)

Abstract: With the rapid advance of urbanization in China, the lack of fresh water resources has become a big problem for the national economic and social development. Especially in sea island cities, the development and utilization of non-conventional water resources is imperative. Taking the island city of Zhoushan as an example, based on the field investigation of development and utilization of non-conventional water resources, the management experience of developing and utilizing the reclaimed water and seawater in Zhoushan City is analyzed. The effective ways of developing and utilizing non-conventional water resources are summarized, and the relevant problems are put forward. Some measures and

suggestions for further strengthening of development and utilization of non-conventional water resources are proposed from the following aspects: planning and management, legal standards, financing channels, preferential policies, technical development and demonstration, market-oriented operation mechanism and propaganda.

Key words: fresh water resource; non-conventional water resource; development and utilization of water resource; island city; Zhoushan City

Green water credit and its applications to watershed eco-compensation in China/BAI Zhanguo, et al (ISRIC-World Soil Information, P. O. Box 353, 6700 AJ, Wageningen, The Netherlands)

Abstract: Watershed eco-compensation is one key component of the eco-compensation framework. The green water credit is one of the eco-compensation modes. The concept of the green water credit, technical system of quantitative assessment and application of the green water credit in Kenya, Morocco and China are introduced. The relationship between the green water credit and the establishment of watershed eco-compensation and water resources in China is analyzed. It is concluded that the green water credit and its technical system of quantitative assessment can be applied to the watershed eco-compensation and water resources.

Key words: green water; blue water; green water credit; quantitative assessment technical system; eco-compensation

Construction safety supervision of water conservancy projects based on evolutionary game/GAO Ya, et al (Business School, Hohai University, Nanjing 211100, China)

Abstract: In order to discuss the influence factors for behaviors of construction safety supervision of water conservancy projects, the evolutionarily stable strategy (ESS) of construction safety supervision is analyzed. Using the method of game theory, an evolutionary game model for supervising units and construction contractors is established based on the assumption that both of them have bounded rationality. The results of ESS show that the choices of supervising units are influenced by the degree of supervision cost and reward, error rate of supervision and the possible punishment, and those of construction contractors are influenced by the degree of construction cost and reward and the possible punishment. The ESS of the supervising units and construction contractors is associated with the initial values of various factors. Finally, a numerical simulation for dynamic game between the two sides is performed by using the Matlab software. Some suggestions are put forward for strengthening the construction safety supervision of water conservancy projects in China.

Key words: water conservancy project; construction safety supervision; evolutionary game; ESS