

南方红壤丘陵区小流域水土保持综合效益评价 ——以江西阳坑小流域为例

王一鸣^{1,2}, 高鹏^{1,3}, 穆兴民^{1,3}, 赵建民⁴, 罗煜全⁵

(1. 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;

2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 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; 4. 南昌工程学院, 南昌 330099; 5. 万安县水利局, 江西 万安 343800)

摘要:随着国家对水土保持工作的不断重视,越来越多的水土保持措施开始实施,为评定水土保持工作开展情况,水土保持综合效益评价工作显得尤为重要。因此,选取南方红壤丘陵区水土流失严重的江西阳坑小流域为例,以2005年为基准年,通过层次分析法选择涉及生态效益、经济效益、社会效益的13个评价指标,从单项效益入手,运用市场价值法、替代市场法、对比分析法等方法直接计算水土保持各单项效益价值,从而得到三大效益及综合效益价值。结果表明:江西阳坑小流域经过水土保持治理之后,2005年水土保持综合效益总价值为12 445.42万元。其中生态效益价值为10 240.65万元,占82.29%;单项效益价值大小排序依次为:保水效益>净化大气效益>保肥效益>保土效益。经济效益价值为894.13万元,占7.18%;单项效益价值排序为:粮食增产效益>经果林效益>水保林效益。社会效益价值为1 310.64万元,占10.53%;单项效益价值排序依次为:改善群众经济效益>提高土地生产率效益>增加耕地效益>减少泥沙淤积效益。评价结果表明水土保持生态效益在水土保持工作中占有决定性地位,这将为今后水土保持工作提供重要的理论依据,同时也将提升人们对水土保持工作的了解与认识。

关键词:水土保持;效益评价;红壤丘陵区

中图分类号:S157

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2017)05-0006-08

Assessment on Comprehensive Benefit of Soil and Water Conservation in the Small Watershed of the Southern Red Soil Hilly Region —A Case Study in Yangkeng Small Watershed in Jingxi Province

WANG Yiming^{1,2}, GAO Peng^{1,3}, MU Xingmin^{1,3}, ZHAO Jianmin⁴, LUO Yuquan⁵

(1. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. University of China Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 4. Nanchang Institute of Technology, Nanchang 330099, China; 5. Water Conservancy Bureau of Wan'an County, Wan'an, Jiangxi 343800, China)

Abstract: With more attention paid to the soil and water conservation in China, more and more soil and water conservation measures have been implemented. In order to evaluate the soil and water conservation work situation, soil and water conservation comprehensive benefits evaluation has become particularly important. We set 2005 as the base year and take Yangkeng small watershed, where the water loss and soil erosion are serious, in southern China's hilly red soil region as an example. We chose 13 evaluation indexes involving the ecological benefits, economic benefits and social benefits to analyze and evaluate the value of each single benefit, the three benefits and comprehensive benefits of soil and water conservation by market valuation method, alternative market price method, method of comparative analysis and so on. After soil and water conservation management in Yangkeng small watershed of Jiangxi Province, soil and water conservation comprehensive benefit values totaled about 124.454 2 million yuan in 2005. The ecological value was about

收稿日期:2016-10-17

修回日期:2016-11-08

资助项目:国家重点研发计划专题计划(2016YFC0501707);中国科学院西部之光项目;中国科学院青年创新促进会(2011289)

第一作者:王一鸣(1993—),男,江西吉安人,硕士研究生,主要从事水土保持与水文生态效益评价研究。E-mail:wangyiming315@mails.ucas.ac.cn

通信作者:高鹏(1976—),男,陕西扶风人,博士,副研究员,主要从事水土保持和流域生态水文研究。E-mail:gaopeng@ms.iswc.ac.cn

102.406 5 million yuan, accounting for 82.29%; single benefit value decreased in the order: the water conservation benefit>the purifying atmosphere benefit>the protecting fertilizer benefit>the soil conservation benefit. Economic value was about 8.941 3 million yuan, accounting for 7.18%; single benefit value decreased in the sequence: grain production efficiency benefit>the economic fruit forest benefit>the soil and water conservation forest benefit. Social benefit value was about 13.106 4 million yuan, accounting for 10.53%; single benefit value decreased in the order: benefit of improving the economic>benefit of improve land productivity>the benefit of add farmland>benefit of reducing sediment deposition efficiency. We analyzed the single benefit ratio and the soil and water conservation of the three big benefits, and indicated that ecological benefit occupied the decisive position in the soil and water conservation work, which will provide theoretical basis for the work of soil and water conservation in the future, and at the same time, promote people to understand and pay more attention to soil and water conservation work.

Keywords: soil and water conservation; benefit evaluation; hilly red soil region

水土保持效益是水土流失地区通过保护、改良与合理利用水土资源,实施各项水土保持措施后所获得的水土保持生态效益,经济效益,社会效益的总称^[1]。水土保持效益评价是对水土保持各项措施实施后产生贡献的计算和分析。通过效益评价可以总结水土保持实践中的经验教训,对不同水土保持方案进行优化和比照,为水土保持工作提供科学的途径和理论依据。为了了解流域水土保持治理取得的成效,掌握流域生态、经济和社会系统的发展变化过程,在20世纪80年代初期,我国水土保持工作基本制定了以小流域为单元的综合治理模式,对小流域水土保持综合治理进行动态监测与效益评价^[2-3]。

近年来,小流域水土保持效益综合评价工作受到广泛重视,尤其西北地区小流域水土保持效益综合评价研究工作已开展多年,研究结果颇多。相对于水土流失较为严重的黄土高原地区,南方红壤丘陵区的水土流失状况也很严重。母岩抗蚀能力弱、土壤可蚀性高、地表植被覆盖度低、植被层次结构差、林下植被稀少^[4]等土壤侵蚀特点的存在,使得南方红壤丘陵地区普遍存在“远看绿油油,近看水土流”的现象。因此,近几年南方地区水土流失越来越受到了政府部门和广大群众的广泛关注,以小流域为单元的水土保持工作也在南方积极展开,但水土保持工作开展后,取得多少成效,产生了多少效益,是否对当地生态环境、社会经济发展起到了积极作用,以及哪些水土保持工作需要进一步完善都不得而知。因此,选取切实可行的评价方法对南方红壤丘陵地区小流域水土保持进行效益评价工作,充分了解当地水土保持工作成效,有着十分积极的意义。

由于对水土保持效益评价的认识不确定性,从不同的角度研究水土保持综合效益评价问题,则选取不同的方法,从而造成了评价方法的多样性。目前比较

常用的研究方法有专家打分法、对比分析法、国标法、关联矩阵法、模拟评价法、模糊评价法、灰色系统法等方法^[5-6]。如康玲玲等^[7]在前人研究的基础上,通过对全区域试点小流域治理评价指标的频率统计及对比分析确定评价小流域生态、经济、生态经济复合效益共9个指标权重,然后根据权重转换形成的评分标准,制定相应评价指标体系分级标准,运用层次分析方法对黄土高原沟壑区茜家沟和老虎沟两个典型小流域水土保持综合治理效益进行了评价。孙昕等^[8]根据《水土保持综合治理效益计算方法 GB/T15774—1995》,选取了30个指标,以江西省兴国县境内3个小流域为对象,采用综合定量方法,对其水土保持效益进行了评价和比较。也有研究采用二种或二种以上评价方法相结合的方法进行评价^[5-6]。如陈渠昌等^[6]将系统工程评价方法中的评分法、关联矩阵法和层次分析法等有机地联系在一起,选取基础效益、经济效益、生态效益、社会效益共24个指标,构建综合评价函数,对内蒙古武川县水土保持综合效益进行了评价。钟源等^[9]以陕西水源区为对象,运用因子分析方法和专家咨询方法从基础效益、生态效益、经济效益和社会效益4个方面构建了水土保持效益评价体系,并基于改进的层次分析法确定各指标权重,运用模糊综合评价方法衡量水土保持效果。

综合这些效益评价研究可以发现,目前在水土保持综合效益评价方面没有统一的、公认的评价指标体系与评价方法,指标设置也有很大差异。在开展综合效益评价时,这些文章虽然都有一定量化分析,但具有量化分析过程比较复杂、不容易理解、形式不够直观、普通水土保持工作者可操作性不强等缺陷,且未对整个小流域效益评价指标完全价值化。本文以江西阳坑小流域为例,对典型南方红壤丘陵区小流域水土保持综合效益进行直接价值计算,并对结果进行分

析,思路清晰、简单明了,有助于水土保持工作者和大众对水土保持治理成效进行更为直观、深刻的认识,这为该流域今后水土保持工作提供有力的理论依据及简单直观的测评方法。同时,本文对水土保持综合效益评价模式的尝试也可作为南方地区水土保持综合效益评价提供一个理论参考。

1 研究区概况及数据资料

1.1 研究区概况

阳坑小流域位于江西省万安县弹前乡境内,属万安水库库区,为赣江一级支流,流域面积 21.5 km²。该小流域介于东经 114°48′7″—114°50′27″,北纬 26°14′01″—26°16′56″,距万安县城 38 km,属低山丘陵地貌,海拔高程 109.9~288.1 m。主要成土母质为花岗岩风化物,植被稀疏,树种主要有马尾松(*Pinus massoniana* Lamb)、湿地松(*Pinus elliottii*)、杉木(*Cunninghamia lanceolata*)、木荷(*Schima superba* Gardn et Champ)等,为典型的南方红壤丘陵区地形地貌。

该小流域属中亚热带季风气候,四季分明,多年平均气温 18.5℃,极端最高气温 40℃,最低气温 -6℃,全年无霜期 288 d,多年平均降雨天数 157 d,多年平均降雨量 1 380 mm,降雨年内分配一般多集中在 4—6 月,占全年的 45%,且多以暴雨出现。

1.2 数据资料

据万安县水利局 1990 年调查,阳坑小流域包括两个行政村、26 个村民小组、524 户,总人口 2 575 人,劳力 1 112 个,土地总面积 2 160 hm²,其中耕地 87.9 hm²,林地 667.7 hm²,果园 3.3 hm²,水域 11 hm²,其他用地 183.4 hm²。阳坑小流域土壤侵蚀以水力侵蚀为主,兼有重力侵蚀。治理前,流域内有水土流失面积 1 207 hm²,其中剧烈侵蚀 147 hm²,极强度侵蚀 353 hm²,强度侵蚀 267 hm²,中度侵蚀 240 hm²,轻度侵蚀 200 hm²,平均侵蚀模数达到 8 832 t/(km²·a)。小流域内农作物以种植水稻为主,由于自然条件恶劣,水旱灾害频繁,土壤侵蚀严重,导致阳坑小流域粮食产量不高,粮食单产 3 540 kg/hm²。农民的林、牧、副业收入很少,1990 年人均年纯收入仅为 175 元,为万安县最贫困的地区。

阳坑小流域于 1982—2000 年采用工程措施与生物措施、农业耕作措施相结合的方式分三次对阳坑小流域进行水土保持综合治理。主要包括坡耕地整治、土地平整、开挖水平沟、截水沟、修建谷坊、拦砂坝、秸秆覆盖、施用农家肥改变土壤性状等具体措施,同时种上湿地松、马尾松、杉木等当地水土保持先锋树种。

根据 2005 年万安县水利局调查显示,土壤侵蚀面积由治理前的 1 207 hm²,减少到 969 hm²,减少了 238 hm²,其中中度以上侵蚀面积减少了 668 hm²。土壤侵蚀模数由治理前的 8 232 t/(km²·a)减少到治理后的 2 107 t/(km²·a),减少了 74.4%,年保土量 73 920 t。该小流域洪水总量减少 297 万 m³,河道基流量增加 890 万 m³/a,涵养水源效益达到了 1 187 万 m³。林草覆盖度由 1990 年的不到 30% 提高到现在的 76%,增加约 993.6 hm²。水保林(包括用材林 632 hm² 和薪炭林 131 hm²)保存面积 763 hm²,经果林面积 67 hm²,封禁治理面积 193 hm²。耕地面积由治理前的 87.9 hm² 增加到治理后的 169 hm²,增加约 81.1 hm²。粮食单产由 3 540 kg/hm² 增加到 8 700 kg/hm²,大大提高了农民收入,2005 年已达到 2 596 元/a,比全县平均水平(1 998.5 元/a)高出 30%。

2 指标建立与研究方法

2.1.1 指标选取原则 水土保持效益评价指标体系的建立不但能科学、准确、真实、客观地衡量和评价水土保持工作的建设成就,而且对水土保持效益评价的准确度和可信度都有着深远的意义。因此,需要制定一套科学、合理、有效的水土保持效益评价指标体系。目前由于针对水土保持效益评价还不成熟,所以应该大量综合考虑有关的评价指标体系,根据研究流域的主要特征、流域治理目标以及综合效益评价目的,充分分析当地的综合情况,依据一定的筛选原则确定切实可行的评价指标。综合相关研究^[5-13],具体的筛选原则应符合全面性、科学性、重点性、层次性、独立性、可比性、可行性、可操作性、简明和实用性原则。

2.1.2 指标建立 针对该小流域植被覆盖率低、水土流失严重、生态环境脆弱、人民生活水平低等实际情况,以《水土保持学》(第 3 版)^[1]中提及指标为参照,结合相关研究^[8-14],并从当地经济、生态和社会相互协调、可持续发展的角度出发,着重考虑指标的代表性和可操作性等问题,剔除带有重复性、波动较大及数据难以获取的指标,选取 13 个单项指标建立综合评价指标体系对水土保持综合效益进行评价(图 1)。

2.2 研究方法

水土保持综合效益的评估必须以水土保持单项效益为基础,综合效益评价是建立在各单项效益科学量化的指标基础之上^[7]。车克钧等^[11]提出森林综合效能的评价可用一个和的计量模式来表示,即综合效能=直接经济效能+生态效能+社会效能。这种方法同样适用于水土保持林综合效益评价^[12]。

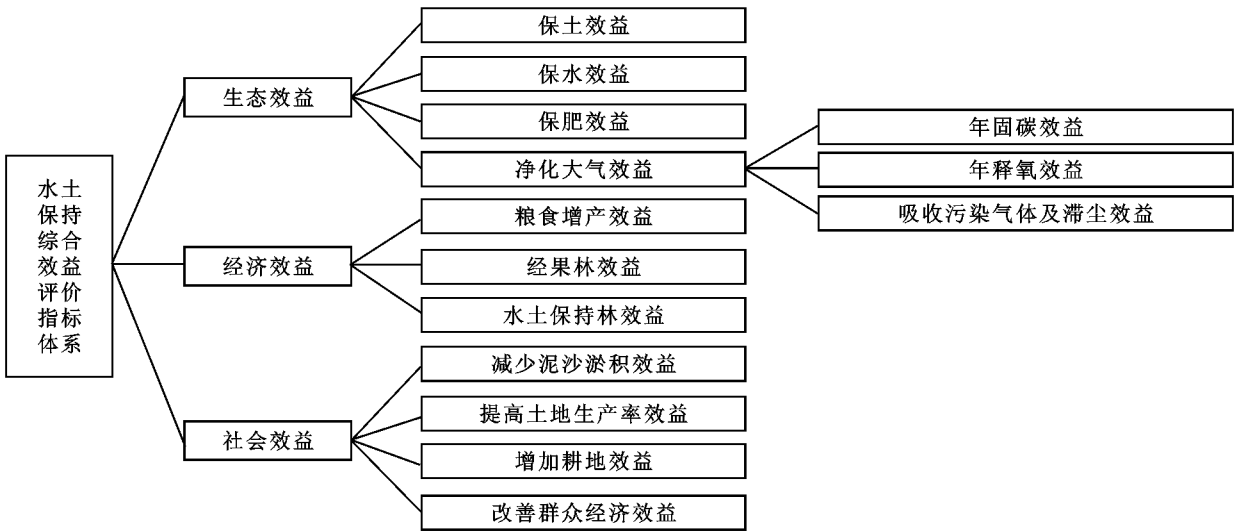


图 1 阳坑小流域水土保持综合评价指标体系

因此,本文以车克钧等^[11]提出的综合效能的评价可用一个和的计量模式来表示为基础,通过层次分析法建立指标体系,从单项效益入手,综合运用市场价值法、替代市场法、对比分析法等方法^[13-14],对各单项效益直接进行价值量化计算,得出各单项效益的实际价值,通过对各单项效益相加,得出阳坑小流域水土保持综合效益及三大效益价值大小,再对三大效益及各单项效益贡献率进行比较分析,研究三大效益及各单项效益之间的关系。

3 阳坑小流域水土保持综合效益评价

3.1 阳坑小流域生态效益评价

3.1.1 保土效益 运用替代市场法^[14]中的物产值替代法,根据减少土壤侵蚀的总量和全国土地耕作层的平均厚度,计算出水土保持工作减少土地资源的损失量,再计算出这些土地能够生产的农作物产值。公式如下:

$$U_{保土} = 2(Q \cdot m \cdot a) / (10000\rho \cdot h)$$

式中: $U_{保土}$ 表示保土效益(元/a); Q 表示年保土量(t); h 表示土壤耕层厚度(m); ρ 表示土壤密度; m 表示粮食单产(kg/hm²·a); a 表示粮食单价(元/kg)。

江西属于亚热带季风气候区,土壤耕层厚度取 30 cm;土壤密度 1.25 t/m³;以水稻种植为主,每年粮食可产两季,根据 2005 年该地每季粮食单产平均 8 700 kg/hm²,按照 2005 年市场水稻平均价格 2 元/kg。得出:2005 年保土效益为 68.56 万元。

3.1.2 保水效益 阳坑小流域土地总面积 2 160 hm²,经过水土保持综合治理后,其林草覆盖率从 1990 年的不到 30%,增加到 2005 年的 76%,增加约 993.6 hm²。不仅起到固土减沙作用,也达到了拦蓄降水,涵养水源的效果。根据实际观测资料,小流域

次洪水总量减少 297 万 m³,河道基流量增加 890 万 m³/a,涵养水源效益达到了 1 187 万 m³。

保水效益通过水库工程的蓄水成本(影子工程法)来确定^[16],公式如下:

$$U_{保水} = C_{库} \cdot P$$

式中: $U_{保水}$ 表示林分年调节水量价值(元/a); $C_{库}$ 表示 2005 年单位库容造价(元/m³); P 表示涵养水源量。 $C_{库}$ 通过折现率公式^[16],依据现在水库单位库容造价,推算 2005 年水库库容造价。公式如下:

$$C_{库} = C / (1 + r)^t$$

式中: C 表示 2015 年单位库容造价(元/m³), C 取 10 元/m³; r 表示折现率(%), r 取 6%; t 表示年限(a),取 10 a。可得 2005 年单位库容造价为 5.6 元/m³。依公式计算可得 2005 年保水效益为 6 647.2 万元。

由于阳坑小流域处于偏远农村,不存在大型污染源,所以此处水源净化效益不予以计算。

3.1.3 保肥效益 经过水土保持治理之后,阳坑小流域林草覆盖率大幅提高,土壤有机质含量明显增加。运用替代市场法,计算在不实施水土保持综合治理情况下,达到该有机质含量需要施用化肥量,并求得购买这些化肥所需要的花费,从而得到保肥效益^[15]。公式如下:

$$U_{保肥} = a_{有机肥} \cdot h \cdot A_{增加林分} \cdot \rho \cdot k$$

式中: $U_{保肥}$ 表示保肥效益(元/a); $a_{有机肥}$ 表示 2005 年有机肥价格(元/m³); h 表示土壤耕层厚度(m); $A_{增加林分}$ 表示增加林分面积(hm²); ρ 表示土壤容重; k 表示根层有机质含量。阳坑小流域水土保持治理之后,根层土壤有机质含量普遍增加 1%以上^[17],设表土层厚度 30 cm,容重 1.25 t/m³,土壤中有机质的含量为 3 726 t。按照 2004—2008 年有机肥市场指定价格 400 元/t,则 2005 年保肥效益为 149.04 万元。

3.1.4 净化大气效益 大多数文章都把植被净化空气简单理解为吸收 O_2 放出 CO_2 , 再转化成工业生产氧气的价值计算净化空气的生态效益。然而净化空气不仅仅是吸收 O_2 放出 CO_2 的作用, 还包括固定 SO_2 等有毒气体以及吸收粉尘, 此为其一不足; 其二, 许多文章把植被吸收 CO_2 效益转化为人处理 CO_2 需要付出的代价, 同时又计算其固碳效益, 导致重复计算。本文运用替代市场法, 并结合《森林生态系统服务功能评估规范》(LY/T1721—2008), 根据植被固定碳量、释氧量以及吸收污染气体及滞尘量来估算其净化空气效益。

(1) 年固碳效益。根据植被每年光合作用积累干物的质量与固碳价格相乘得到植被年固碳价值^[15], 公式如下:

$$U_{\text{碳}} = A \cdot C_{\text{碳}} \cdot (1.63R_{\text{碳}} \cdot B_{\text{年}} + F_{\text{土壤碳}})$$

式中: $U_{\text{碳}}$ 表示林分年固碳效益(元/a); $B_{\text{年}}$ 表示林分净生产力[t/($hm^2 \cdot a$)], $B_{\text{年}}$ 取 16.81 t/($hm^2 \cdot a$)^[18]; $C_{\text{碳}}$ 为固碳价格(元/a), $C_{\text{碳}}$ 取 1 200^[15]; $R_{\text{碳}}$ 为 CO_2 的碳含量, 为 27.27%; $F_{\text{土壤碳}}$ 为单位面积固碳量[t/($hm^2 \cdot a$)], $F_{\text{土壤碳}}$ 取 1.48 t/($hm^2 \cdot a$)^[19]; A 为林地面积(hm^2)。经过水土保持综合治理后, 阳坑小流域增加约 993.6 hm^2 林草覆盖率, 求得 2005 年固碳为 1 067.36 万元。

(2) 年释氧效益。通过植被光合作用吸收 CO_2 放出 O_2 的质量, 再根据氧气价格, 得到年释氧价值。采用以下公式计算^[15]:

$$U_{\text{氧}} = 1.19 \cdot C_{\text{氧}} \cdot A \cdot B_{\text{年氧}}$$

式中: $U_{\text{氧}}$ 表示林分年释氧效益(元/a); A 为林地面积(hm^2); $B_{\text{年氧}}$ 为单位面积释氧量[t/($hm^2 \cdot a$)]取 2.589^[20]; $C_{\text{氧}}$ 为氧气价格(元/t), $C_{\text{氧}}$ 取 1 000 元/t^[15]。经计算得 2005 年释氧价值为 306.12 万元。

(3) 吸收污染气体及滞尘效益。通过把植被吸收污染气体及滞尘功能转化为人处理污染气体及防尘需要付出的经济代价, 采用以下公式计算^[15]:

$$U_{g+d} = \sum K_i \cdot Q_i \cdot A_i$$

式中: U_{g+d} 表示森林分吸收 SO_2 、氯化物、氮氧化物及滞尘价值(元/a); K_i 表示不同污染物治理费用(元/kg); Q_i 表示不同类型林分年吸收 SO_2 、氯化物、 NO_x 及滞尘量[kg/($hm^2 \cdot a$)]; A_i 表示不同林分面积(hm^2)。针叶林、混交林、阔叶林、灌木林对 SO_2 的吸收能力分别为 215.60 kg/($hm^2 \cdot a$), 152.18 kg/($hm^2 \cdot a$), 88.65 kg/($hm^2 \cdot a$), 152.18 kg/($hm^2 \cdot a$); 滞尘能力分别为 33 200 kg/($hm^2 \cdot a$), 10 110 kg/($hm^2 \cdot a$), 21 700 kg/($hm^2 \cdot a$), 21 700 kg/($hm^2 \cdot a$)^[21]。阔叶林和针叶林吸收氯化物平均值分别为 4.650 kg/($hm^2 \cdot a$), 0.500 kg/($hm^2 \cdot a$), 森林吸收 NO_x 量为

6.000 kg/($hm^2 \cdot a$)。我国 SO_2 、氯化物、氮氧化物、一般粉尘的排污收费标准分别为 1.200 元/kg, 0.690 元/kg, 0.630 元/kg, 0.150 元/kg^[15]。由前文数据资料可知, 阳坑小流域水土保持措施采用用材林、经果林、薪炭林、封禁治理 4 种方式, 保存面积分别为 632 hm^2 , 67 hm^2 , 131 hm^2 , 193 hm^2 。根据 4 种林分种类, 分别采用针叶林、混交林、阔叶林、灌木林进行计算。计算得 2005 年吸收污染气体及滞尘效益为 2 002.37 万元。根据以上计算结果, 可得出阳坑小流域 2005 年净化大气效益为 3 375.85 万元。

3.2 阳坑小流域经济效益评价

由于数据与实际情况的限制, 本文只运用市场价值法计算阳坑小流域直接经济效益。直接经济效益通过实施水土保持各项措施后植物产品增产量和增产值的经济效益相加得到^[1]。

3.2.1 粮食增产效益 小流域内农作物以种植水稻为主, 治理之前, 由于自然条件恶劣, 水旱灾害频繁, 粮食产量不高, 农民的林、牧、副业收入很少。经水土保持综合治理之后, 流域内生态环境得到改善, 流域内野鸡、蛇等野生动物的踪迹亦经常可见, 粮食单产由 3 540 kg/ hm^2 增加到 8 700 kg/ hm^2 , 耕地面积由治理前 87.9 hm^2 增加到治理后 169 hm^2 。根据阳坑小流域水土保持综合治理之后粮食增产数量所得到的实际价值得出粮食增产效益^[1]。计算公式如下:

$$U_{\text{增产}} = 2 \cdot (m_{\text{后}} - m_{\text{前}}) \cdot A_{\text{治理前耕地}} \cdot a + 2 \cdot m_{\text{后}} \cdot A_{\text{治理后耕地}} \cdot a$$

式中: $U_{\text{增产}}$ 表示粮食增产效益(元/a); $m_{\text{后}}$ 表示治理后粮食单产(kg/ hm^2); $m_{\text{前}}$ 表示治理前粮食单产(kg/ hm^2); $A_{\text{治理前耕地}}$ 表示治理前耕地面积(hm^2); $A_{\text{治理后耕地}}$ 表示治理后耕地面积(hm^2); a 表示粮食单价(元/kg)。根据前文, 水稻价格取 2 元/kg, 每年两季计算, 2005 年粮食增产总经济效益 463.65 万元。

3.2.2 经果林效益 阳坑小流域水土保持治理同时发展了温柑、棚柑、油茶、奈李等经济果木林。果林面积 67 hm^2 , 年水果平均单产约为 22 500 kg/ hm^2 。根据水土保持治理之后, 经果林实际产生价值得到经果林效益^[1]。计算公式如下:

$$U_{\text{经果林}} = \sum a_{i\text{水果}} \cdot m_{i\text{水果}} \cdot A_{i\text{果林}}$$

式中: $U_{\text{经果林}}$ 表示经果林效益(元/a); $a_{i\text{水果}}$ 表示第 i 种水果单价(元/kg); $m_{i\text{水果}}$ 表示第 i 种水果质量(kg); $A_{i\text{果林}}$ 表示第 i 种水果种植面积(hm^2)。由于此 4 种水果当地市场售价相差不大, 因此可以假设只种植了其中某一种果树, 则直接用年平均单产进行计算得到经果林产生效益。取 2015 年约平均 4 元/kg, 根据折现率公式^[16]可得 2005 年约 2.23 元/kg。计算可得 2005 年经果林效益为 336.17 万元。

3.2.3 水土保持林效益 经过水土保持综合治理后,阳坑小流域水保林(包括用材林和薪炭林)保存面积 763 hm²。通过林木实际所产生价值得到其水土保持林效益^[15]。计算公式如下:

$$U_{\text{水保林}} = 0.46 K_{i\text{水保林}} \cdot A_i \cdot M_i$$

式中: $U_{\text{水保林}}$ 表示水土保持林经济效益(万元/a); $K_{i\text{水保林}}$ 表示不同类型林木价格(元/m³); A_i 表示林分面积(hm²); M_i 表示单位林分年净生长量(t/hm²·a)。由于水土保持措施种植了用材林、经果林、薪炭林,并对部分区域进行了封禁治理形成灌木林,而能作为林木产生效益的,只有用材林和薪炭林,根据林分种类,此处把用材林和薪炭林转化为针叶林和阔叶林进行计算。根据方精云等研究结果, M_i 取针叶林为 8.41 t/(hm²·a),阔叶林为 10.43 t/(hm²·a)。针叶林阔叶林都取 306.86 元/m³^[22]。针叶林、阔叶林保存面积分别为 632 hm²,131 hm²。计算得出 2005 年水土保持林效益为 94.31 万元。

3.3 阳坑小流域社会效益评价

3.3.1 减少泥沙淤积效益 水土流失产生泥沙大部分淤积在江河湖泊水库中,当河道水库淤塞,河道行洪及水库蓄水能力下降,一旦遭遇大暴雨,所引起的自然灾害带来的损失是不可估量的。因此,减少泥沙淤积效益运用清理费用法,根据清理每 1 t 泥沙的费用进行计算^[14]。公式如下:

$$U_{\text{固土}} = C_{\pm} \cdot Q / \rho$$

式中: $U_{\text{固土}}$ 表示为林分年固土价值(元/a); Q 表示年减少土壤侵蚀量(t/a); C_{\pm} 表示挖取和运输单位体积土方所需费用(元/m³); ρ 表示为土壤容重(t/m³), ρ 取 1.25 t/m³。2015 年取土费用约为 17 元/m³,根据折现率公式可得 2005 年 $C_{\pm} = 9.5$ 元。由前文可知,阳坑小流域年减少土壤侵蚀量 73 920 t。算得 2005 年减少泥沙淤积效益为 56.18 万元。

3.3.2 提高土地生产率效益 经过水土保持治理后,阳坑小流域粮食单产由 3 540 kg/hm² 增加到 8 700 kg/hm²,耕地面积增加到 169 hm²。通过计算在现有耕地面积下,由水稻产量提高带来的收益,进一步得到 2005 年提高土地生产率效益^[1]。公式如下:

$$U_{\text{提高土地生产率}} = 2A_{\text{耕地}} \cdot (m_{\text{后}} - m_{\text{前}}) \cdot a$$

式中: $U_{\text{基本农田}}$ 表示提高土地生产率效益(元/a); $A_{\text{耕地}}$ 表示耕地面积(hm²); $m_{\text{后}}$ 表示治理后粮食单产(kg/hm²); $m_{\text{前}}$ 表示治理前粮食单产(kg/hm²); a 表示粮食单价(元/kg)。按照水稻每年种植两季,2005 年提高土地生产率效益为 348.82 万元。

3.3.3 增加耕地效益 该流域经过坡耕地整治及其他水土保持措施治理,如施用农家肥改变土壤性状或者

对不可耕作土地进行撂荒一定年限,再进行开垦,从而使农业可耕作土地由治理前的 87.9 hm² 增加到治理后的 169 hm²,总共增加可耕地 81.1 hm²。通过转化为种植水稻作物效益得到增加耕地效益^[1]。公式如下:

$$U_{\text{增加耕地}} = (A_{\text{后}} - A_{\text{前}}) \cdot C_{\text{每公顷粮食}}$$

式中: $U_{\text{增加耕地}}$ 表示增加耕地效益(元/a); $A_{\text{后}}$ 表示治理后耕地面积(hm²); $A_{\text{前}}$ 表示治理前耕地面积(hm²); $C_{\text{每公顷粮食}}$ 表示每年每 1 hm² 农田粮食收益[元/(hm²·a)]。根据前文已知 $C_{\text{每公顷粮食}} = 3.48$ 万元/(hm²·a),计算可知 2005 年增加耕地效益为 282.23 万元/a。

3.3.4 改善群众经济效益 治理前 1990 年人均纯收入只有 175 元/a,属于全县最低水平。经过十余年治理,通过提高粮食单产、增加用材林、薪炭林及经果林等经济作物的种植,小流域 2005 年已达到人均纯收入 2 596 元/a,比全县平均水平(1 998.5 元/a)高出 30%。根据水土保持治理后与治理前群众经济状况对比,得出改善群众经济效益^[1]。计算公式如下:

$$U_{\text{改善经济}} = (m_{\text{后}} - m_{\text{前}}) \cdot N_{\text{人口}}$$

式中: $U_{\text{改善经济}}$ 表示水土保持工作改善群众经济效益(元/a); $m_{\text{后}}$ 表示治理后人均年收入[元/(人·a)]; $m_{\text{前}}$ 表示治理前人均年收入[元/(人·a)]; $N_{\text{人口}}$ 表示当地人口数(人)。小流域只包括两个小村庄,收入绝大部分来源于农业生产,2005 年之前小流域只进行过水土保持综合治理工作以提高农业生产效率。因此,可以用 2005 年人均纯收入代替水土保持工作改善群众经济效益进行计算。同时,研究周期在 20 a 以内,这段时间国家正在开展计划生育工作,所以假设人口未出现显著变化,通过估算阳坑小流域 2005 年居民收入总共增加 623.41 万元。

4 水土保持综合效益评价结果与分析

计算结果表明,阳坑小流域经过治理之后,2005 年水土保持综合效益总价值为 12 445.42 万元。依据表 1 可以看出,生态效益几乎是经济效益、社会效益总和的 4 倍。

表 1 水土保持生态、经济、社会效益占比

效益	生态效益	经济效益	社会效益	合计
增加总效益/万元	10240.65	894.13	1310.64	12445.42
各效益占比/%	82.29	7.18	10.53	100

由表 1 看出,水土保持生态效益价值为 10 240.65 万元,占三大效益的 82.29%。效益价值大小由高到低排序依次为:保水效益>净化大气效益>施肥效益>保土效益(表 2)。生态效益主要体现在保水、净化大气两方面,在当下空气质量日益下降的大趋势下,净化大气这一功能为当地提供了一个良好的大气环境,充分表现

水土保持工作在生态环境中的重大作用。

表 2 生态效益各单项效益占比

单项效益	保土效益	保水效益	保肥效益	净化大气效益	合计
阳坑小流域 各效益值/万元	68.56	6647.2	149.04	3375.85	10240.65
各效益占比/%	0.67	64.90	1.46	32.97	100.00

水土保持经济效益价值为 894.13 万元,占三大效益的 7.18%。效益价值大小由高到低排序依次为:粮食增产效益>经果林效益>水保林效益(表 3)。经济效益主要体现在粮食增产和经果林收益上,同时经果林效益在经济效益中也占了很大比例,体现出水土流失地区,不仅要注重粮食生产,也要使产业从单一化向多元化发展,这样才更易于改善农民经济状况。

表 3 阳坑小流域经济效益各单项效益占比

单项效益	粮食产量	经果林 效益	水保林 效益	合计
各效益值/万元	463.65	336.17	94.31	894.13
各效益占比/%	51.85	37.60	10.55	100.00

水土保持社会效益价值为 1 310.64 万元,占三大效益总价值的 10.53%。效益价值大小由高到低排序依次为:改善群众经济效益>提高土地生产率效益>增加耕地效益>减少泥沙淤积效益(表 4)。社会效益主要体现在改善群众经济与改善农田状况(包括提高土地生产率效益与增加耕地效益)方面,社会效益中的改善群众经济效益及改善农田生产状况方面占比高达 95%,说明经济水平也对社会效益起着举足轻重的作用。

表 4 阳坑小流域社会效益各单项效益占比

单项效益	减少泥沙 淤积效益	提高土地 生产率效益	增加耕地 效益	改善群众 经济效益	合计
个效益值/万元	56.18	348.82	282.23	623.41	1310.64
各效益占比/%	4.29	26.61	21.53	47.57	100.00

通过对阳坑小流域“三大效益”以及各单项效益及其占比的比较可知,当植被覆盖度增加时,既增加了土壤肥力又提高了土壤蓄水保土的能力,体现了其生态效益;另一方面,降低了洪水的发生几率,减少了泥沙流入湖泊、水库、河道的数量,体现了其社会效益;同时,减弱了土壤侵蚀强度,增加了水源涵养、土壤肥力,有助于农林果业及粮食产业发展,从而增加了农民的收入,体现了其经济效益。表明水土保持生态效益几乎涉及了水土保持经济效益、水土保持社会效益的各方面,这一现象充分体现了水土保持生态效益的多样性。因此,在看到水土保持经济效益和社会效益的同时,应该充分看到其生态效益。只有保证生态环境的健康可持续发展,经济效益和社会效益才能

更为凸显。

根据结果可知,生态效益及社会效益中单纯的保土效益与减少泥沙淤积效益并不高,这也是本研究与其他文章存在较大出入之处,之所以不高,笔者认为其原因在于保土与减少泥沙淤积的价值主要取决于其对水源涵养、植物生长、农作物增产等方面的衍生价值,而非实际意义的保土与减沙价值,本研究对各项效益价值进行严格区分,所以会造成保土及减沙效益较低。

5 结 论

(1) 江西阳坑小流域经过水土保持治理之后,水土保持综合效益总价值为 12 445.42 万元。其中生态效益价值为 10 240.65 万元,占 82.29%;经济效益价值大小排序为 894.31 万元,占 7.18%;社会效益价值为 1 310.64 万元,占 10.53%;生态效益几乎涉及了经济效益、社会效益各方面,且是这两者效益总和的 4 倍,表明水土保持生态效益在水土保持工作中占有决定性地位。

(2) 生态效益单项效益价值大小排序依次为:保水效益>净化大气效益>保肥效益>保土效益。经济效益单项效益价值为:粮食增产效益>经果林效益>水保林效益。社会效益单项效益价值排序依次为:改善群众经济效益>提高土地生产率效益>增加耕地效益>减少泥沙淤积效益。其中保水、净化大气效益是生态效益的主要组成部分;粮食增产、经果林效益是经济效益的主要组成部分;改善群众经济、提高土地生产率、增加耕地是社会效益的主要组成部分。

(3) 水土保持工作在重视生态效益的同时,还要使之与经济发展有机结合。从经果林效益在经济效益中占比较高可以看出:在经济效益方面不仅要注重粮食生产,还要发展经果林,实现产业多元化,从而达到改善群众经济状况的目的。只有这样,才能通过生态效益促进经济、社会效益的发展,同时经济、社会效益反哺生态效益,使水土保持工作更加全面协调可持续发展。

本研究结果清楚地表明了水土保持生态效益在水土保持综合效益中的重要地位,同时也体现出水土保持生态效益、经济效益、社会效益三者是相互依存、共同促进的。但由于数据有限,本文对水土保持三大效益的计算只选取了一些比较重要的方面,且效益价值统一转划到 2005 年的效益价值,得出的结果可能要比实际值偏低;同时,本研究采用间接的价值替代方法,会与实际效益价值有一定的偏差,但所得结果基本能反映阳坑小流域水土保持三大效益的大小及各单项效益之间的关系。此外,本研究对水土保持效

益评价是采用直接价值计算进行的一种初步尝试,此评价方法还有待于进一步完善。随着水土保持时间的增长,阳坑小流域水土保持综合效益也将逐步发挥出来,水土保持治理工作将取得更大成效。

参考文献:

- [1] 余新晓,毕华兴.水土保持学[M].3版.北京:中国林业出版社,2013:435-440.
- [2] 刘震.我国水土保持小流域综合治理的回顾与展望[J].中国水利,2005(22):17-18.
- [3] 孙昕.南方红壤区典型小流域水土保持综合效益评价[D].南京:南京林业大学,2009.
- [4] 何圣嘉,谢锦升,杨智杰,等.南方红壤丘陵区马尾松林下水土流失现状、成因及防治[J].中国水土保持科学,2011,9(6):65-70.
- [5] 聂碧娟,林敬兰,赵会贞.水土保持综合治理效益评价研究进展[J].亚热带水土保持,2009(12):50-53.
- [6] 陈渠昌,张如生.水土保持综合效益定分析方法及指标体系研究[J].中国水利水电科学研究院学报,2007,5(2):95-104.
- [7] 康玲玲,王云璋,王砚.小流域水土保持综合治理效益指标体系及其应用[J].土壤与环境,2002,11(3):271-278.
- [8] 孙昕,李德成,梁音.南方红壤区小流域水土保持综合效益定量评价方法探讨[J].土壤学报,2009,46(3):374-380.
- [9] 钟源,陈菊红,马安妮,等.南水北调陕西水源区水土保持效益评价[J].水土保持研究,2016,23(3):119-124.
- [10] 赵建民.基于生态系统服务的水土保持综合效益评价研究:以黄土高原中部丘陵为例[D].陕西杨凌:西北农

林科技大学,2010.

- [11] 车克钧,傅辉恩,等.祁连山水源涵养林综合效能的计量研究[J].林业科学,1992,28(4):290-296.
- [12] 沈慧,姜凤岐.水土保持林效益评价研究综述[J].林业科学,1998,10(4):492-496.
- [13] 林积泉,王伯铎,马俊杰,等.小流域治理环境质量综合评价指标体系研究[J].水土保持研究,2005,12(1):68-71.
- [14] 王建民,王如松.中国生态资产概论[M].南京:江苏科学技术出版社,2001:89-93.
- [15] 国家林业局.森林生态系统服务功能评估规范(LY/T1721—2008)[S].北京:中国标准出版社,2008:4-6,12.
- [16] (美)雷蒙德. M. 布鲁克斯著.财务管理[M].2版.路蒙佳,译.北京:中国人民大学出版社,2014.
- [17] 杨文利,罗煜全,赵建民.赣江中游阳坑小流域水土保持生态承载力估算[J].南昌工程学院学报,2015,34(3):67-70.
- [18] 李高飞,任海.中国不同气候带各类型森林的生物量和净第一生产力[J].热带地理,2004,24(4):306-310.
- [19] 许信旺,潘根兴,孙秀丽,等.安徽省贵池区农田土壤有机碳分布变化及固碳意义[J].农业环境科学学报,2009,28(12):2551-2558.
- [20] 王兵,魏江生,胡文.中国灌木林—经济林—竹林的生态系统服务功能评估[J].生态学报,2011,31(7):1936-1945.
- [21] 《中国生物多样性国情研究报告》编写组.中国生物多样性国情研究报告[M].北京:中国环境科学出版社,1998.
- [22] 张颖.我国林木核算模型及其最优核算价格计算[J].林业经济,2009(12):49-52.

(上接第5页)

- [5] 卞正富,许家林,雷少刚.论矿山生态建设[J].煤炭学报,2007,32(1):13-19.
- [6] 付慧,白中科,张树礼.呼伦贝尔草原矿生态受损预测与修复对策[J].农业工程学报,2008,24(5):90-94.
- [7] 李永庚,将高明.矿山废弃地生态重建研究进展[J].生态学报,2004,24(1):95-100.
- [8] 王金满,杨睿璇,白中科.草原区露天煤矿排土场复垦土壤质量演替规律与模型[J].农业工程学报,2012,28(14):229-235.
- [9] 王治国,白中科.黄土区大型露天矿排土场岩土侵蚀及其控制技术的研究[J].水土保持学报,1994,8(2):10-17.
- [10] 王玲玲,姚文艺,王文龙,等.黄丘区坡沟系统不同时间尺度下的侵蚀产沙特征[J].水利学报,2013,44(11):1347-1351.

- [11] 台培东,贾宏宇,李培军,等.安太堡露天煤矿水土流失特征与控制[J].水土保持学报,2002,14(3):27-30.
- [12] 白中科,胡振华.露天矿排土场人为加速侵蚀及分类研究[J].土壤侵蚀与水土保持学报,1998,4(1):34-40.
- [13] 李智佩,徐友宁,郭莉,等.陕北现代化煤炭开采区土地沙漠化影响及原因[J].地球科学与环境学报,2010,32(4):398-403.
- [14] 刘伟民,邢万昱.胜利东二露天矿排土工艺研究露天采矿技术[J].2009,(4):14-16.
- [15] 苏文贤.高台阶排土场的稳定性[J].矿山技术,1986(3):11-16.
- [16] 全国气象防灾减灾标准化技术委员会.《降水量,等级》(GB/T28592—2012)[S].北京:中国标准出版社,2012.
- [17] 苗百岭,梁存柱,王伟,等.植被退化对典型草原地表径流的影响[J].水土保持学报,2008,22(2):10-14.