茹河流域固原二期工程水土保持生态价值评价

王秀琴

(固原市委党校, 宁夏 固原 756000)

摘　要: 根据茹河流域固原二期水土保持工程项目实施后的生态系统特征和生态系统服务的内涵,选取土壤保持、涵养水源、固碳释氧、净化空气、保护生物多样性等 5 项指标,运用市场价值法、费用替代法、影子工程法、机会成本法等对该工程项目的生态系统服务功能价值进行了评估。结果表明,项目实施以来,生态系统总服务价值 5 a 累计增加了 85 293.09 万元。在生态系统各项服务功能价值的贡献中,保持和改良土壤价值量最大(48.86%),几乎占生态服务总价值的 1/2,其次是保持和涵养水源价值量(30.16%)、固碳释氧价值量(14.96%)、维持生物多样性价值量(3.70%)、净化空气价值量(2.31%)。研究表明,茹河流域固原二期项目的实施,在保护环境、治理水土流失等方面具有显著作用。

关键词: 茹河流域; 生态系统服务功能价值; 效益评价

文献标识码: A　　**文章编号**: 1000-288X(2012)06-0240-05　　**中图分类号**: S157, S718.55

Evaluating Ecosystem Services Value of Second Stage Project for Soil and Water Conservation in Guyuan Area of Ruhe Watershed

WANG Xiu-qin

(*Guyuan Municipal Party School*, *Guyuan*, *Ningxia* 756000, *China*)

Abstract: In this study, we assessed the ecosystem service value of the second stage project of soil and water conservation deployed in Guyuan area of the Ruhe watershed according to the characteristics of ecosystems. The market value method, cost-alternative method, shadow-engineering method and opportunity-cost approach were applied to five indicators including soil conservation, water source conservation, carbon fixation and oxygen release, air cleaning and biodiversity conservation. The results showed that the ecosystem service value has increased by 852.93 million yuan since the project launched five years ago. The service of maintaining and improving soil quality contributed most to the total ecosystem value, accounting for about 48.86%. The service of water conservation contributed 30.16%, while carbon fixation and oxygen release and the other two accounted for 14.96%, 3.7% and 2.31%, respectively. It is clear that the soil and water conservation measures played a significant role in environmental protection and soil erosion control in the Ruhe watershed.

Keywords: Ruhe watershed; ecosystem service value; benefit evaluation

我国是世界上水土流失最为严重的国家之一,固原地区又是宁夏自治区乃至全国水土流失最为严重的地区之一。近年来,在国家的大力支持下,固原市政府紧紧抓住西部大开发的有利机遇,相继实施了"三西"项目、黄河水土保持生态工程项目、中央财政预算内专项资金水土保持项目、农业综合开发水土保持项目、水土保持生态修复试点项目以及小流域坝系项目和退耕还林(草)等水土保持项目,在防洪减灾、保护培育资源、调节改善环境、促进固原地区经济社会发展等方面发挥了重要作用。因此,探讨工程项目治理效应的评估问题就显得很有必要了。目前,研究者[1-3]已经运用静态与动态评价相结合的效益评价,在一定程度客观反映了一定区域的社会、经济和生态子系统的常规规律,然而水土保持效益评价方法也因研究的目的和地区特点而迥然不同。截止目前,国内外在水土保持效益评价方面仍没有统一的评价体系,指标设置各异,效益评价仍停留于定性化、半价值化的程度,特别是水土保持生态效益并未实现评价指标的完全价值化。由于生态系统服务功能支撑与维持着地球生命系统的平衡和稳定而受到当今世界普遍

收稿日期:2012-07-28　　**修回日期**:2012-09-30
资助项目:黄河水利委员会"黄河水土保持生态工程茹河流域治理工程"[黄治发(2006)10 号, 宁保发(2006)34 号]
作者简介:王秀琴(1972—),女(汉族),山东省成武县人,硕士,主要从事区域经济和生态学研究。E-mail:gyxwxq@163.com。

关注,本研究运用生态服务功能价值理论,根据固原市水务局编写的《黄河水土保持生态工程茹河流域固原二期项目竣工总结报告》等各项监测数据对茹河流域固原二期水土保持工程生态服务功能价值进行定量评价,以期为固原市乃至全国同类型地区大规模开展水土流失治理与区域开发提供理论依据。

1　研究区概况

茹河发源于原州区开城乡水沟壕,流域面积 2 208 km^2,河道全长 92.8 km,包括固原市原州区寨科、党家沟、官厅、河川等乡镇和彭阳县大部分地区。境内地形复杂,地貌破碎,沟壑纵横,川、台、塬、坡相间,水土流失严重[4]。2000 年黄河水利委员会、黄河上中游管理局启动实施了黄河水土保持生态工程茹河流域固原项目区一期工程,通过 5 a 集中治理,区域水土流失得到有效控制,当地农业生产条件得到一定改善,群众生活水平明显提高。一期项目完成后,为巩固、扩大治理成果,黄河水利委员会、黄河上中游管理局启动了黄河水土保持生态工程茹河流域固原二期项目(以下简称茹河流域固原二期项目)。茹河流域固原二期项目区地处宁夏自治区东南边缘,位于东经 106°23′13″—106°33′18″,北纬 36°19′12″—36°00′18″,涉及固原市原州区、彭阳县的 4 个乡镇(撤乡并镇后),16 个行政村,总人口 17 686 人,总面积 253.33 km^2,共划分为 10 条小流域,其中原州区 6 条,面积 155.18 km^2,占总面积的 61.26%;彭阳县 4 条,面积 98.15 km^2,占总面积的 38.74%。项目区属黄土丘陵沟壑区第Ⅱ副区,以黄土梁峁侵蚀地貌为主,沟壑密度 2.88 km/km^2。土质颗粒以粗粉砂为主,属中壤和轻壤土。属暖温带半干旱气候,多年平均气温 6.0 ℃,≥10 ℃积温 2 748 ℃,无霜期 145 d,年平均日照时数 2 518.1 h,多年平均大风天数 21.9 d。水土流失面积 237.83 km^2,占项目区总面积的 93.88%。其中强度侵蚀面积 81.40 km^2,占项目区流失面积的 34.23%;极强度侵蚀面积 49.31 km^2,占项目区流失面积的 20.73%;剧烈侵蚀面积 8.48 km^2,占项目区流失面积的 3.56%。

2　水土保持生态系统服务功能的内涵

生态系统服务功能是指生态系统服务与生态系统功能的综合,指生态系统与生态过程所形成及所维持的人类赖以生存的自然环境条件与效用[4-6]。水土保持生态服务功能则是指在水土保持过程中所采用的各项措施对维持、改良和保护人类及人类社会赖以生存的自然环境条件的综合效用。茹河二期项目主要采取了梯田、林草、沟道治理等工程建设,这些工程建设在固土拦泥、聚集雨水、保持土壤养分、淤土造田、减少入黄泥沙、调节气候、提高系统防御自然灾害能力、保持生物多样性、增加农民收入等方面发挥了不可替代的作用。因此,对照 Daily[4] 的 13 项生态服务功能和 Costanza[5] 的 17 项生态服务功能,结合水土保持所具有的功能和茹河流域固原二期项目区的实际,归纳筛选出水土保持涵养水源、改良土壤、固碳供氧、净化空气、维持生物多样性 5 项生态服务功能。在各项功能中,保水和保土是水土保持生态建设的基本功能。从理论而言,生态系统服务功能可分为利用价值与非利用价值两部分。利用价值包括直接利用价值(直接实物价值)、间接利用价值(生态功能价值)和选择价值(潜在利用价值),非利用价值包括遗产价值和存在价值[7]。则水土保持价值就是对特定尺度和区域范围内水土保持措施为人类和社会提供的服务进行货币计量。

3　测算方法[8-9]

3.1　保持和涵养水源价值测算方法

3.1.1　*防洪价值的估算方法*　采用影子工程价格替代法对茹河流域固原二期项目复合生态系统的防洪价值进行测算,其公式为:

$$E_f=\sum_i T_i \cdot R_f$$

式中:E_f——年防洪价值(元);T_i——实施各种水保措施的年增保水量(m^3);R_f——修建单位体积水库造价(元/m^3),(根据 1993—1999 年《中国水利年鉴》平均水库库容造价为 2.170 0 元/m^3,2009 年价格指数为 3.251,得到单位库容造价 7.054 7 元/m^3)。

3.1.2　*涵养水源价值估算方法*　涵养水源价值的估算采用市场价值法,即假设将水土保持措施节约的水量均作为城市生活用水和农业用水,则其价值量为二者水费之和。项目区地处半干旱地区,以旱作农业为主。因此,涵养水源不考虑农业用水价值量。计算公式为:

$$E_h=\sum T_i \cdot R_h$$

式中:E_h——涵养水源价值;T_i——实施各种水保措施的年增保水量(m^3);R_h——固原市城市居民用水价格的平均值为 2.09 元/t。

3.2　保持和改良土壤价值测算方法

水土保持各项工程保持土壤的主要功能主要体现在减少废弃土地、减少土壤养分损失和减少泥沙淤积等方面,则其价值主要包括固持土壤价值、减少泥沙滞留和淤积价值和保肥能力价值 3 项。本研究采取机会成本法计算各生态系统固持土壤价值,减少泥

沙滞留和淤积价值和保持土壤肥力的价值。

3.2.1 固持土壤价值测算方法 固持土壤价值计算公式为：

$$E_{i1}=P\cdot Q$$

式中：E_{i1}——各类水保措施年固持生态系统土壤价值(元)；P——挖取和运输单位面积土方所需费用(元)；Q——各类水保措施年固持生态系统土壤量。

3.2.2 减少泥沙滞留和淤积价值 减少泥沙滞留和淤积价值计算公式为：

$$E_{i2}=\sum\frac{A_i\times 24\%\times 7.054\ 7}{P}$$

式中：E_{i2}——i类生态系统减少泥沙淤积的效益(元)；A_i——i类生态系统土壤年保持量(t)；ρ——土壤容重；7.054 7为单位蓄水库容成本；24%为流失泥沙淤积于水库、江河、湖泊的比例。

3.2.3 保肥能力价值 保肥能力价值计算公式为：

$$E_{i3}=\sum_i\sum_j A_i\cdot K_{ij}\cdot P_{ij}$$

式中：E_{i3}——i类生态系统保土价值(元)；A_i——i类生态系统土壤年保持量(t)；j——N,P,K指标；K_{ij}——i类生态系统土壤中N,P,K含量(%)；P_{ij}——N,P,K的价格(元/t)。

茹河流域固原二期项目年保持土壤价值为年固持土壤价值，年减少泥沙滞留和淤积价值，年保肥能力价值3者之和。

3.3 固碳释氧价值测算方法

固碳释氧功能是指生态系统通过植物光合作用和呼吸作用与大气进行CO_2和O_2交换，固定大气中的CO_2和释放O_2的功能，是生态系统服务功能的重要方面[10-12]。目前，国际上计算植物固定CO_2价值的方法有碳税法、造林成本法和温室效应损失法等；计算植物释放O_2价值的方法有造林成本法和工业制氧法等。本研究采用造林成本法和碳税法两者的平均值表示水土保持林固定CO_2的价值，采用造林成本法和工业制氧的影子价格法的平均值计算水土保持林释放O_2的价值。根据光合作用和呼吸作用的反应方程式[13]推算得出，每形成1 g干物质，需要1.63 g二氧化碳，释放1.20 g氧气。水土保持林固碳释氧价值计算公式为：

$$E_c=\mathrm{NPP}\times S\times 1.63\times G_1$$

$$E_o=\mathrm{NPP}\times S\times 1.20\times G_2$$

式中：E_c——水土保持林的固碳价值(元)；NPP——水土保持林净初级生产力(t/hm^2，以干物量计算)；G_1——水土保持林的造林成本和碳汇价格两者的平均值造林成本(元/t)；S——水土保持林面积(hm^2)；1.63 g为生产1 g干物质固定CO_2量。E_o——水土保持林的造林成本和工业制氧成本的平均值；1.20 g为生产1g干物质释放O_2的量；G_2——水土保持林的工业制氧成本(元/t)。其中，1.63和1.20均根据光合作用和呼吸作用方程式求得。

3.4 净化空气价值测算方法

净化空气功能指生态系统通过吸收、过滤、阻隔、分解等过程降解和净化大气中的有害物质(如二氧化硫、氟化物、氮氧化物、粉尘等)，提供负离子等功能。由于茹河二期项目区几乎没有工业污染，因此本研究仅选取吸收二氧化硫和阻滞降尘2个指标来反映项目区水土保持林、草措施净化大气环境的能力。年吸收二氧化硫价值采用面积—吸收能力法进行评估，其计算公式为：

水土保持林、草年吸收SO_2价值＝∑不同植被类型面积×单位面积植被吸收SO_2能力×单位SO_2的治理费用

复合生态系统年阻滞降尘价值运用替代花费法计算，计算公式为：

年阻滞降尘价值＝∑不同植被类型面积×单位面积植被年滞尘量×削减粉尘成本

3.5 保护生物多样性价值的测算方法[14]

水土保持工程的实施，提高了当地的森林覆盖率，为各物种提供了良好的生存与繁衍场所，在保护生物多样性方面具有重要作用。水土保持各项措施中，能对生物多样性发挥作用的主要是林草措施，因此本项价值的依据为林草措施的建设规模。因为水土保持林大部分为人工林，栽植年限短，林种单一，如果直接运用天然林的多样性价值计算方法，可能会夸大结果。故本项价值计算方法采用投资费用法，将茹河流域固原二期项目区各年的水土保持林草建设投入作为复合生态系统值维持生物多样性的价值。

3.6 生态服务功能总价值的测算方法[14-17]

将涵养水源、保持土壤、固碳释氧、净化空气、保护生物多样性5项生态功能价值进行加总，得到茹河流域固原二期项目的生态服务功能总价值。

4 结果分析

4.1 项目区保持和涵养水源价值计算

4.1.1 防洪价值 截止2009年底，茹河流域固原二期水土保持工程项目10条小流域共完成水土流失治理面积146.55 km^2。其中，水平梯田2 309.46 hm^2，灌木林2 385.92 hm^2，占计划的107.45%，人工种草1 512.88 hm^2；水窖25眼，涝池22座，沟头防护9座；新建治沟骨干工程14座，中型淤地坝19座，小型淤地坝26座。根据监测拦蓄指标及流域各项措施工

程量监测结果,利用保水量公式计算得,治理期末年蓄水量增加 4.26×10^6 m^3(黄河水土保持生态工程茹河流域固原二期项目竣工总结报告)。根据涵养水源价值测算方法计算出河流域固原二期项目区新防洪价值为 3 008.12 万元。

4.1.2　涵养水源价值　宁夏自治区六盘山水务有限公司调查显示,2011 年固原市城市的居民用水价格的平均值为 3.00 元/t。根据监测拦蓄指标及流域各项措施工程量监测结果,利用保水量公式计算,治理期末年蓄水量增加了 4.26×10^6 m^3。运用涵养水源价值测算方法计算出河流域固原二期项目区新增涵养水源价值为 1 279.20 万元。

4.2　保持和改良土壤价值计算

4.2.1　固持土壤价值　根据监测拦蓄指标及流域各项措施工程量监测结果,利用保土量公式计算得,治理期末项目区年侵蚀总量减少了 8.57×10^5 t。2002 年黄河水利出版社出版的《水利部水利建筑工程预算定额(上册)》核定挖取单位面积土方费用为 21.8 元/m^3,根据固持土壤价值公式计算,茹河流域固原二期项目区年新增固持土壤价值为 1 868.26 万元。

4.2.2　减少泥沙滞留和淤积价值　我国黄土高原地区表层土壤的平均容重为 1.22 g/cm^3[19],根据减少泥沙滞留和淤积价值公式计算,茹河流域固原二期项目区年减少泥沙滞留和淤积价值为 118.94 万元。

4.2.3　保肥能力价值　根据中国科学院宁夏回族自治区固原县综合考察队 1988 测得的固原市原州区土壤养分含量值,全 N 占 0.06%,全 P 占 2.45%,全 K 占 0.15%。由此计算出因减少土壤流失而保持的土壤养分 N,P,K 总量分别为 72.57,296.33 和 181.42 t;按磷酸二铵(N,P 含量分别为 14%,15.01%)的价格为 2 400 元/t,s 氯化钾(K 含量 50%)的价格为 2 800 元/t(采用农业部《中国农业信息网》2007 年春季化肥平均价格)计算,得出茹河流域固原二期项目区的年保肥能力价值为 4 958.57 万元。

综上可得茹河流域固原二期项目区年保持土壤价值为 6 945.76 万元。

4.3　固碳释氧价值测算

根据相关研究[20],耕地、林地、草地生态系统的初级生产力分别为 4.82,8.48 和 2.73 t/hm^2。目前固定 CO_2 的造林成本为 260.90 元/t[10],释放 O_2 的造林成本为 352.93 元/t[10],工业制氧成本为 1 000 元/t(采用中华人民共和国卫生部网站中 2007 年春季氧气平均价格)。碳汇价格为 946.11 元/t(采用瑞典的碳税率 150 美元/t,按照中国人民银行授权中国外汇交易中心公布的 2012 年第一季度人民币对美元平均汇率为 6.307 4 计算,折合人民币 946.11 元/t),根据森林固碳释氧价值公式计算可得,项目区林地的固碳价值为 1 165.22 万元,制氧价值为 961.54万元。则茹河流域固原二期项目区年固碳释氧价值总和为 2 126.77 万元。

4.4　净化空气价值测算

根据文献[18],水土保持林、草对 SO_2 的吸收能力分别为 85 kg/(hm^2·a),草地为 8.9 kg/(hm^2·a)。削减 SO_2 的投资成本按国家发展与改革委员会等四部委 2003 年第 31 号令《排污费征收标准及计算方法》中方法标算,SO_2 的排污收费标准为 1.20 元/kg。林木吸收 SO_2 价值计算公式求得,茹河流域固原二期项目区内水土保持林、草吸收 SO_2 价值分别为14.25和 1.01 万元,则茹河流域固原二期项目区年吸收 SO_2 价值为 15.26 万元。

据研究,林地滞尘能力为 12.9 t/(hm^2·a),草地为 0.5 t/(hm^2·a),农田为 2.1 t/(hm^2·a)。根据国家发展与改革委员会等四部委 2003 年第 31 号令《排污费征收标准及计算方法》,每削减或清理 1 t 粉尘的运行成本为 150 元。根据复合生态系统年阻滞降尘价值计算公式求得茹河流域固原二期项目区内人工林、人工草、梯田阻滞降尘价值分别为 270.29,7.08 和 36.39万元,则阻滞降尘价值为 313.76 万元。

综上可得茹河流域固原二期项目区年净化空气价值为 329.02 万元。

4.5　保护生物多样性价值测算

茹河流域固原二期项目实施过程中,根据立地条件,人工林一般布设在地形比较陡峻、破碎的地段,人工草布设在退耕地、梯田地埂和荒坡上。因此,根据徐勇[21]等人的研究成果,25°或 15°以上坡耕地单位面积林草植被恢复投资额度为 2 250 元/hm^2。采用投资费用法计算出茹河流域固原二期项目保护生物多样性价值为 526.65 万元。

4.6　生态服务功能总价值测算

将涵养水源、保持土壤、固碳释氧、净化空气、保护生物多样性 5 项生态功能价值进行加总,得茹河流域固原二期项目的生态服务功能总价值为14 215.52 万元(表 1)。

5　结 论

茹河流域固原二期项目实施后,系统的各项服务价值不同程度的增加,系统生态服务总价值年增加 14 215.52 万元,5 a 累计增加生态服务总价值 85 293.09万元。由此可以看出,实现茹河流域固原二期项目后,所带的生态环境效益是十分显著的。

表 1 茹河流域固原二期项目各项生态服务价值

生态服务价值类型		生态服务价值量/（万元·a^{-1}）	各项功能价值占总生态服务价值比例/%
保持和涵养水源价值	防洪价值	3 008.12	21.16
	涵养水源价值	1 279.20	9.00
	小 计	4 287.32	30.16
保持和改良土壤价值	固持土壤价值	1 868.26	13.14
	减少泥沙滞留和淤积价值	118.94	0.84
	保肥能力价值	4 958.57	34.88
	小 计	6 945.76	48.86
固碳释氧价值	林地固碳价值	1 165.22	8.20
	林地制氧价值	961.54	6.76
	小 计	2 126.77	14.96
净化空气价值	林地年吸收 SO_2 价值	14.25	0.10
	草地年吸收 SO_2 价值	1.01	7.09E−05
	林地年阻滞降尘价值	270.29	1.90
	草地年阻滞降尘价值	7.08	0.05
	梯田年阻滞降尘价值	36.39	0.26
	小 计	329.02	2.31
保护生物多样性的价值		526.65	3.70
总 计		14 215.52	100

茹河流域固原二期项目生态服务价值量系统服务功能大小依次表现为：保持和改良土壤价值＞保持和涵养水源价值＞固碳释氧价值＞保护生物多样性价值＞净化空气价值。其中保持和改良土壤价值、保持和涵养水源价值之和占到系统总服务价值的79.02%，说明以上两项功能在茹河流域生态系统服务功能总价值中占有相当重要的位置。

茹河流域固原二期项目实施仅 5 a，部分林草地还处于幼林或未成林造林地，其水土保持及生态效益较小，随着时间推移，项目工程所形成的林草植被将发挥更大的生态效益，其价值将会更大。

应当指出的是，水土保持生态系统是一个复杂的生态系统，其生态服务功能也是多方面的，而由于受研究区资料及计量方法的局限，本研究仅对部分主要服务功能进行了评估，尚有其他一些功能未作评估，因此所计算的总服务价值要低于其实际价值。但这一结果也可以清楚地说明，茹河流域固原二期项目的实施，对于优化系统结构，完善服务功能，维系和促进当地社会经济持续发展及保护环境等方面具有巨大的作用。

[参 考 文 献]

[1] 李智广，李锐，杨勤科，等. 小流域治理综合效益评价指标体系研究[J]. 水土保持通报，1998，18(7)：71-75.

[2] 王军强，陈存根，李同昇. 陕西黄土高原小流域治理效益评价与模式选择[J]. 水土保持通报，2003，23(6)：61-64.

[3] 姚文波，刘文兆，赵安成，等. 水土保持效益评价指标研究[J]. 中国水土保持科学，2009，7(1)：112-117.

[4] Daily G C. Nature′s Services：Societal Dependence on Natural Ecosystems [M]. Washington D C：Island Press，1997：1-10.

[5] Costanza R D，Arge R，de Groot R，et al. The value of the world′s ecosystem service natural capital[J]. Nature，1997，387(6630)：253-260.

[6] 肖寒，欧阳志云，赵景柱，等. 森林生态系统服务功能及其生态经济价值评估初探：以海南岛尖峰岭热带森林为例[J]. 应用生态学报，2000，11(4)：481-484.

[7] 张志强，徐仲民，程国栋. 生态系统服务与自然资本价值评估[J]. 生态学报，2001，21(11)：1919-1926.

[8] 余新晓，吴岚，饶良懿，等. 水土保持生态服务功能价值估算[J]. 中国水土保持科学，2008，6(1)：83-86.

[9] 余新晓，吴岚，饶良懿，等. 水土保持生态服务功能评价方法[J]. 中国水土保持科学，2007，5(2)：110-113.

[10] 勉如麟. 宁夏茹河流域来水量分析[J]. 农业科学研究，2005(4)：55-57.

[11] 高旺盛，董孝斌. 黄土高原丘陵沟壑区脆弱农业生态系统服务评价：以安塞县为例[J]. 自然资源学报，2003，18(2)：182-188.

[12] 王兵，李少宁，郭浩. 江西省森林生态系统服务功能及其价值评估研究[J]. 江西科学，2007，25(5)：553-559，587.

[13] 闫峰陵，雷少平，罗小勇，等. 丹江口库区水土保持的生态服务功能价值估算研究[J]. 长江流域资源与环境2010，19(10)：1205-1210.

[14] 赖亚飞，朱清科，张宇清，等，吴旗县退耕还林生态效益价值评估[J]. 水土保持学报，2006，20(3)：83-87.

[15] 任洪玉，温仲明，杨勤科. 黄土沟壑区植被恢复及其物种多样性的变化[J]. 干旱地区农业研究，2003，21(2)：154-158.

[16] 李蕾，刘黎明，谢花林. 退耕还林还草工程的土壤保持效益及其生态经济价值评估[J]. 水土保持学报，2004，18(1)：161-163.

[17] 贾林平，蒋远胜，刘自娟. 雅安市天保和退耕工程的生态效益评价[J]. 资源开发与市场，2007，23(4)：352-354.

[18] 徐香兰，张科利，徐宪立，等. 黄土高原地区土壤有机碳估算及其分布规律分析[J]. 水土保持学报，2003，17(3)：13-15.

[19] 宋富强，康慕谊，陈雅如，等. 陕北黄土高原植被净初级生产力的估算[J]. 生态学杂志，2009，28(11)：2311-2318.

[20] 徐勇，马定国，郭腾云，等. 黄土丘陵区的生态环境建设宜走“梯田退耕”的路子[J]. 水土保持研究，2004，11(3)：112-115.

[21] 田国行，田耀武，宇振荣，等. 高速公路绿地生态系统与农田生态系统服务价值的对比研究：以郑州西南环高速公路为例[J]. 中国生态农业学报，2007，15(4)：148-152.