

# 宝鸡市退耕还林生态效益评价

徐 玉 霞

(宝鸡文理学院 陕西省灾害监测与机理模拟重点实验室, 陕西 宝鸡 721013)

**摘 要:** [目的] 对陕西省宝鸡市退耕还林工程产生的生态效益进行评价和分析, 为相关生态研究提供参考依据。[方法] 以 1999—2015 年宝鸡市退耕还林面积等数据为依据, 参照《退耕还林工程生态效益监测评估技术与管理规范》附录中《退耕还林工程生态效益实物量评估公式及参照设置》对宝鸡市退耕还林工程在保护水源、保育土壤、固碳制氧、净化环境、改善小气候和保护生物多样性方面产生的生态效益进行计算, 并采用影子工程法、影子价格法等方法计算宝鸡市退耕还林工程的生态价值。[结果] 1999—2015 年宝鸡市退耕还林生态效益总价值为  $1.06 \times 10^6$  万元, 其中保护水资源和固碳制氧贡献最大, 分别所占比例为 36.8% 和 27%, 保护生物多样性次之, 贡献率为 22.8%, 改善小气候、保育土壤和净化环境价值贡献率分别为 12.2%, 0.8% 和 0.4%。[结论] 退耕还林工程在宝鸡市水源涵养和改善环境作用明显, 对于该区的水资源保护和空气质量的改善具有重要的促进作用。

**关键词:** 退耕还林; 生态效益; 宝鸡市

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-288X(2017)06-0248-08

**中图分类号:** X171.4

**文献参数:** 徐玉霞. 宝鸡市退耕还林生态效益评价[J]. 水土保持通报, 2017, 37(6): 248-255. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2017.06.042; XU Yuxia. Evaluation on ecological benefits of returning farmland to forest in Baoji City[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2017, 37(6): 248-255. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2017.06.042

## Evaluation on Ecological Benefits of Returning Farmland to Forest in Baoji City

XU Yuxia

(Key Laboratory of Disaster Monitoring and Mechanism Simulating of Shaanxi Province, Baoji University of Arts and Sciences, Baoji, Shaanxi 721013, China)

**Abstract:** [Objective] In order to understand the ecological benefits of returning farmland to forest in Baoji City, and to provide reference for related ecological research. [Methods] Based on the area data of returning farmland to forest in Baoji City, Shaanxi Province from 1999 to 2015, this paper computed the ecological benefits arising from the protection of water, conservation of soil, carbon sequestration, purification of the environment, improvement of microclimate and conservation of biological diversity, in reference to the appendix of ecological benefit physical quantity evaluation formula and reference setting for returning farmland to forest project in ecological benefit monitoring and assessment technique and management norm of returning farmland to forest project. And the ecological value of returning farmland to forest project was also calculated using the shadow project and shadow price method in Baoji City. [Results] The total value of forest ecological benefit from 1999 to 2015 in Baoji City was  $1.06 \times 10^{10}$  RMB, in which the protection of water resources and carbon sequestration & oxygen production contributed the most, the proportions were 36.8% and 27%. The conservation of biological diversity contributed 22.8% of it; The improvement of the microclimate, soil conservation and environmental purification value contributed 12.2%, 0.8% and 0.4% of it, respectively. [Conclusion] It can be seen that the project of returning farmland to forests plays an important role in water

收稿日期: 2017-06-02

修回日期: 2017-06-19

资助项目: 陕西省社会科学基金项目“后退耕时代陕西省退耕还林工程效益评价及其影响研究”(2015D057); 陕西省重点实验室项目(16JS005); 宝鸡市哲学社会科学规划项目(BJSKGH2016-15); 陕西省教育科学十三五规划项目(SGH16H168); 陕西省重点学科自然地理学

第一作者: 徐玉霞(1978—), 女(汉族), 陕西省榆林市人, 硕士, 副教授, 主要从事林业资源开发利用与效益评价研究。E-mail: 453452166@qq.com。

conservation and improvement of the environment in Baoji City. And it is of great significance for the protection of water resources and the improvement of air quality in this area.

**Keywords:** returning farmland to forest; ecological benefit; Baoji City

近年来,随着退耕还林的实施,宝鸡市的生态环境状况明显有所改观,同时也对经济和社会的发展起到重要的作用。国外学者在退耕还林效益方面进行了广泛的关注和研究,Rule 等<sup>[1]</sup>通过经济、环境和社会等方面的 21 个指标,运用加权求和的方法,评价研究美国的米苏尔河东部的农田退耕的七种模式,并筛选出两种优化模式。Joslin 等<sup>[2]</sup>从土壤流失、侵蚀、土壤理化性质、地下水水质以及野生动物群落等 7 个方面对田纳西河流域的农田和退耕还林进行了比较,得出退耕还林地的生态效益明显高于农田。Costanza 等<sup>[3]</sup>划分和评估全球生态系统服务功能,把生态系统服务功能的很多方面进行了估算,结果表明生态系统服务功能具有重要的科学价值。同时国内学者对退耕还林生态效益方面也进行了比较全面的研究。杨建波等<sup>[4]</sup>从退耕还林后的减免灾害、涵养水源、纳碳吐氧、改善生活环境、固土保肥等 5 个方面着手,对生态效益评价的方法进行了研究和探讨。张孝存等<sup>[5]</sup>评估了商洛市退耕还林综合效益,对后续生态补偿进行了探讨。张勇等<sup>[6]</sup>从退耕还林综合效益评价体系的必要性着手,运用理论分析的方式,提出了科学的退耕还林指标体系,对生态、经济、社会产生了积极的作用。姚盼盼等<sup>[7]</sup>评价河北承德市退耕还林,从经济效益、生态效益、社会效益这 3 方面研究分析了河北承德市退耕还林综合效益。虽然关于退耕还林生态效益的研究较多,但是对于关中地区退耕还林的生态效益方面的研究较少,尤其是作为关中地区退耕还林成效较好的宝鸡地区的研究更少,因此研究宝鸡市退耕还林生态效益评价,以期相关的研究提供一定的参考依据。

## 1 数据来源与研究方法

### 1.1 研究区概况

宝鸡市位于陕西省西部,地处北纬 33°35′—35°06′,东经 106°18′—108°03′,包括 3 区 9 县:渭滨区、陈仓区、金台区、扶风县、岐山县、凤县、凤翔县、太白县、陇县、千阳县、麟游县、眉县。处于西安、兰州、成都、银川四省会的中心位置,东西长 156.6 km,南北宽 160.6 km,总面积  $1.82 \times 10^4$  km<sup>2</sup>,人口 372.7 万人,属于温带季风气候,四季分明,春季气温多变且少雨,夏季炎热干燥且降水少,秋季阴雨连绵,冬季寒冷干燥。参考王涛等<sup>[8]</sup>的研究,结合本文对宝鸡市近 60 a 气象数据分析得出宝鸡市降水和气温的季节和

年际变化呈以下规律:从年纪变化看降水量总体呈增加趋势,气温呈显著的上升趋势;从季节变化来看:春秋季节降水减少,夏秋季节降水增加;春秋及冬季气温显著上升,夏季平均气温的变化趋势不太明显。1999—2015 年宝鸡市退耕还林面积总计达  $1.62 \times 10^5$  hm<sup>2</sup>,森林覆盖率从 1999 年的 30.6% 提高到 2015 年的 56.3%。

### 1.2 数据来源

本文的数据均来自于宝鸡市林业局退耕还林办公室及宝鸡市统计年鉴(1999—2015 年),此外,参照国家及陕西省权威部门发布的公共数据及相关文献。

### 1.3 研究方法

本文将退耕还林的林种划分为生态林、经济林 2 种森林植被类型;按植被恢复类型将宝鸡市退耕还林森林划分为退耕地造林和荒山造林两种类型。根据《退耕还林工程生态效益监测评估技术与管理规范》,采用分布式测算的方法,计算不同植被类型生态服务的功能物质量和价值量,汇总该市退耕还林森林服务功能总物质量和总价值量<sup>[9-13]</sup>。

1.3.1 评估的指标体系的确定 评估指标体系由 1 级指标(保护水源、保育土壤、固碳制氧、净化环境、改善小气候、保护生物多样性)和 2 级指标(涵养水源、净化水质、固土、保肥、减少土壤淤积、减少泥沙滞留、固碳、释氧、吸收污染物、净化空气、滞尘、物种保育等)所组成。

1.3.2 评估公式与模型 涵养水源、净化大气环境、固碳释氧、保育土壤、积累营养物质的物质量及价值量评估等参照《退耕还林工程生态效益监测评估技术与管理规范》附录中《退耕还林工程生态效益实物量评估公式及参照设置》进行计算<sup>[14-15]</sup>。

#### 1.3.2.1 涵养水源物质量方法

(1) 水量平衡法。水量平衡法是基于森林涵养水源量由森林地区降水量和蒸发量以及它耗水量的差值。即:

$$Y_w = S \cdot (P - E - C) \cdot L \cdot 10^{-3} \quad (1)$$

式中: $Y_w$ ——涵养水源量(m<sup>3</sup>); $P$ ——年平均降水量(mm/a); $E$ ——林地年平均蒸散量(mm/a); $C$ ——林地地表径流量(mm/a); $S$ ——效益计算面积(hm<sup>2</sup>); $L$ ——水容量,取值为 1 t/m<sup>3</sup>。

(2) 涵养水源价值评价方法。根据国内外研究而知,大多数人都采用“影子工程法”。由于森林涵养

水源和水库蓄水的本质非常类似,所以可以采用蓄水工程的单位造价作为森林涵养水源的价格,然而也间接地算出森林涵养水源价值。即:

$$V_{w1} = Y_w \cdot C \quad (2)$$

式中: $V_{w1}$ ——涵养水源价值(万元); $Y_w$ ——涵养水源量( $m^3$ ); $C$ ——单位库容造价(元/ $m^3$ )。

(3) 净化水质价值评价方法。森林有净化水质的作用,根据工业净化水的成本可以计算其净化水质的效益。即:

$$V_{w2} = Y_w \cdot A \quad (3)$$

式中: $V_{w2}$ ——净化水质价值(万元); $Y_w$ ——涵养水源量( $m^3$ ); $A$ ——净化费用(元/ $m^3$ )。

(4) 减少土壤侵蚀量评价方法。根据郑巍伟<sup>[8]</sup>研究和结果,森林会减少土壤侵蚀量,其公式为:

$$M_{s1} = S \cdot (D_1 - D_2) \cdot 10^{-6} \quad (4)$$

式中: $M_{s1}$ ——减少土壤侵蚀量( $10^4$  t); $S$ ——退耕还林地效益计算面积( $hm^2$ ); $D_1$ ——退耕还林前土壤侵蚀模数[t/( $km^2 \cdot a$ )]; $D_2$ ——退耕还林后土壤侵蚀模数[t/( $km^2 \cdot a$ )]。

(5) 减少土壤淤积效益评价方法。① 减少泥沙淤积物质质量评价方法。森林如果遭到了破坏,土壤被侵蚀,从而流失了很多的泥沙,一部分泥沙会淤积在水库、湖泊以及江河,会造成蓄水量下降,从而加剧干旱和洪涝灾害。所以减少泥沙淤积量取决于减少土壤侵蚀量和淤积在水库、湖泊以及江河比例来计算。即:

$$Y_s = M_{s1} \cdot e \quad (5)$$

式中: $Y_s$ ——减少淤积泥沙量( $10^4$  t); $M_{s1}$ ——减少土壤侵蚀量( $10^4$  t); $e$ ——进入河道或者水库泥沙侵蚀总量的比(%)。

② 减少泥沙淤积价值评价方法。利用蓄水价格法,泥沙淤积于水库、江河、湖泊以及河道,从而减少了其有效的蓄水库容,根据水库蓄水成本计算其减少泥沙淤积价值为:

$$V_{s1} = Y_s \cdot C_r / \beta \quad (6)$$

式中: $V_{s1}$ ——泥沙淤积价值( $10^4$ 元); $Y_s$ ——减少淤积泥沙量(万 t); $C_r$ ——水库库容成本费(5.714 元/ $m^3$ ); $\beta$ ——泥沙容重( $t/m^3$ )。

③ 减少泥沙滞留价值评价方法。泥沙滞留主要在沟口、山前、坡脚以及水库等地,所以,本文采用恢复费用法,把森林减少泥沙滞留的经济价值作为清理滞留泥沙的费用,公式为:

$$V_{s2} = Y_s \cdot C_p / \beta \quad (7)$$

式中: $V_{s2}$ ——泥沙滞留价值(万元); $Y_s$ ——减少淤积泥沙量( $10^4$  t); $C_p$ ——清除滞留泥沙费用(5.3 元/ $m^3$ ); $\beta$ ——泥沙容重( $t/m^3$ )。

1.3.2.2 减少养分流失价值评价方法 由于土壤的侵蚀会使土壤中的许多有机物质以及氮、磷、钾大量的流失,会增加化肥的使用量。所以可以根据“影子价格”来估算森林减少土壤有机质、氮、磷、钾的价值,其公式为:

$$S_v = (D_1 - D_2) \cdot S \cdot \sum_{i=1}^n (P_{1i} \cdot P_{2i} \cdot P_{3i}) \times 10^{-6} \quad (8)$$

式中: $S_v$ ——退耕还林减少养分流失价值(万元); $S$ ——退耕还林地效益计算面积( $hm^2$ ); $D_1$ ——退耕还林前土壤侵蚀模数[t/( $km^2 \cdot a$ )]; $D_2$ ——退耕还林后土壤侵蚀模数[t/( $km^2 \cdot a$ )]; $P_{1i}$ ——森林土壤 N,P,K 含量(%); $P_{2i}$ ——纯 N,P,K 折算成化肥的比例; $P_{3i}$ ——各类化肥的销售价(元/t)。

1.3.2.3 固碳制氧价值评价方法

(1) 固定  $CO_2$  量评价方法。本文利用光合作用法,根据光合作用化学反应式,计算出宝鸡市退耕还林每生产 1 t 干物质固定  $CO_2$  的含量,然后根据干物质的总量得出退耕还林固定  $CO_2$  量。公式为:

$$Y_{c1} = a \cdot \sum_{i=1}^n V_i \cdot S_i \times 10^{-4} \quad (9)$$

式中: $Y_{c1}$ ——森林生物量固碳量( $10^4$  t); $a$ ——1 t 森林干物质固碳量(t); $V_i$ ——森林单位面积干物质生产量( $t/hm^2$ ); $S_i$ ——退耕还林效益计算面积( $hm^2$ ); $10^{-4}$ ——换算系数。

(2) 固碳价值评价方法。① 造林成本法。利用单位森林造林成本的平均值和单位面积森林的固碳量,通过计算得出森林固定  $CO_2$  的价值。因为植物有固定  $CO_2$  的功能,防止气候变暖的有效措施之一是植树造林。所以可以根据造林的费用算出森林固定  $CO_2$  的经济价值。

② 碳税法。运用碳氧的分配系数和单位面积森林蓄积的固定  $CO_2$  的含量,计算出纯的碳量,最后用碳税的影子价格得出森林固碳的价值。本文利用这 2 种方法再求出平均值,把这个平均值作为宝鸡市退耕还林固碳的价值。其公式为:

$$V_{c1} = Y_{c1} \cdot (C_{c1} + C_{c2}) \times 10^{-4} / 2 \quad (10)$$

式中: $V_{c1}$ ——退耕还林固定  $CO_2$  价值(万元); $Y_{c1}$ ——森林生物量固碳量(t); $C_{c1}$ ——森林固定  $CO_2$  的造林成本(元/t); $C_{c2}$ ——瑞典碳税率(美元/t); $10^{-4}$ ——换算系数。

(3) 制氧价值评价方法。本文利用森林成本法来计算宝鸡市森林释放出的氧气的经济价值。根据

侯元兆等<sup>[9]</sup>研究得知我国森林提供 1 t 氧气的造林成本是 369.7 元。其宝鸡市退耕还林制氧的价值公式为:

$$V_{c2} = C_0 \cdot b \cdot \sum_{i=1}^n V_i \cdot S \times 10^{-4} \quad (11)$$

式中: $V_{c2}$ ——森林制氧的价值(万元); $b$ ——森林生产 1 t 干物质制造  $O_2$  的量(t); $C_0$ ——森林提供  $O_2$  的造林成本(元/t); $10^{-4}$ ——换算系数。

#### 1.3.2.4 净化环境价值评价方法

(1) 吸收  $SO_2$  价值评价方法。本文利用面积—吸收能力法,它的思路是:不同类型的森林单位面积吸收  $SO_2$  能力和对应的面积相乘计算出森林吸收  $SO_2$  的含量,然后,应用影子价格,即治理  $SO_2$  的成本计算森林吸收  $SO_2$  的价值。其公式为:

$$V_{s1} = C_s \cdot \sum_{i=1}^n R_i \cdot S_i \times 10^{-7} \quad (12)$$

式中: $V_{s1}$ ——森林吸收  $SO_2$  的价值(万元); $C_s$ ——治理  $SO_2$  的单位成本(元/t); $R_i$ ——不同类型森林单位面积吸收  $SO_2$  量(t/hm<sup>2</sup>); $S_i$ ——退耕还林效益面积(hm<sup>2</sup>)。

(2) 阻滞降尘价值评价方法。退耕还林会增加植被的覆盖度,使空气中的细小颗粒物沉降于地面,有的粗糙的叶面也能吸收灰尘。本文采用面积—滞尘能力法来计算森林滞尘量。它的思路是:不同类型的森林单位面积的阻滞降尘的能力和对应的面积相乘,从而得出森林阻滞降尘的物质质量。最后根据等效替代法,即人工削减粉尘成本来实现森林阻滞降尘的价值。其公式为:

$$V_{s2} = C_d \cdot \sum_{i=1}^n L_i \cdot S_i \times 10^{-7} \quad (13)$$

式中: $V_{s2}$ ——森林阻滞降尘价值(万元); $C_d$ ——人工削减粉尘的成本(元/t); $L_i$ ——林木单位面积滞尘能力(t/hm<sup>2</sup>); $S_i$ ——退耕还林效益计算面积(hm<sup>2</sup>)。

#### 1.3.2.5 改善小气候价值评价方法

退耕还林后,森林面积增加,引起下垫面性质发生变化,从而会达到降低温度的价值。本文利用森林面积和平均林高相乘,计算出森林总容积量,并且将这个总容积量作为一个大房间,利用森林降低的夏季温度计算出森林总容积量的情况下降低温度的物质质量,最后,运用降低温度需要的空调的成本来代替森林减低温度的价值,其公式为:

$$V_t = t \cdot C_t \cdot T_0 \cdot h \cdot S \times 10^{-4} \quad (14)$$

式中: $V_t$ ——降低温度价值(万元); $t$ ——效益核算时间(d); $C_t$ ——空调单位容积降低 1 °C 的费用(万/m<sup>3</sup>); $h$ ——平均树高(m); $S$ ——退耕还林效益计算面积(hm<sup>2</sup>)。

#### 1.3.2.6 保护生物多样性价值评价方法

退耕还林对生物多样性具有重要作用,根据杨琼等<sup>[10]</sup>研究表明,森林破坏后造成动物游憩和生物多样性的价值损失为 3 500 元/(hm<sup>2</sup>·a)。其保护生物多样性价值公式为:

$$V_f = S \cdot M \times 10^{-4} \quad (15)$$

式中: $V_f$ ——保护生物多样性价值(万元); $S$ ——效益计算面积(hm<sup>2</sup>); $M$ ——损失生物多样性价值(元/hm<sup>2</sup>·a); $10^{-4}$ ——换算系数。

## 2 退耕还林生态效益评估

### 2.1 宝鸡市退耕还林工程森林资源面积变化

从 1999 年开始,宝鸡市为了改善生态环境,防止水土流失,促进人类的健康和谐发展,实施了退耕还林工程。退耕地营造的经济林树种主要有猕猴桃、苹果、桃、葡萄、核桃、花椒等,生态林主要树种有毛白杨(*Populus tomentosa*)、侧柏(*Platycladus orientalis*)、泡桐(*Paulownia*)、速生杨(*Populus tomentosa*)、白皮松(*Pinus bungeana*)、华山松(*Pinus armandii*)、龙柏(*Sabina chinensis*)、国槐(*Sophora japonica*)、海棠(*Malus chaenomeles*)等。1999—2015 年全市退耕还林总面积 156 500 hm<sup>2</sup>,其中退耕还林面积 87 000 hm<sup>2</sup>,荒山造林面积 69 500 hm<sup>2</sup>。通过调查 1999—2013 年退耕还林树种在 2015 年都已基本郁闭成林,可以充分发挥各种生态效益,2013—2015 年退耕还林新造林地在 2015 年没有郁闭,属于未成林造林地,不能充分发挥各种生态效益。所以,2013—2015 年退耕还林林地不作为退耕还林工程生态效益评价面积计入,详见表 1。

### 2.2 宝鸡市退耕还林生态效益计算

由于退耕还林从 2002 年才开始显现,所以宝鸡市退耕还林工程生态效益价值的评估从 2002 年开始计算。

#### 2.1 保护水资源价值

2.1.1 涵养水源价值 宝鸡市经过 17 a 退耕还林生态效益监测,森林覆盖率从 1999 年的 30.6% 提高到 2015 年的 56.26%。根据范昊明,王铁良等<sup>[16]</sup>研究表明,在坡度 25° 条件下,有 1 cm 厚的枯枝落叶覆盖,径流速度是没有覆盖坡面的 1/10~1/15,有利于降水渗入土壤。宝鸡市退耕还林的实施,深林覆盖率增加,径流量减少,促使拦截降水量增加。根据宝鸡市气象局观测数据统计,宝鸡市平均降水量 700 mm。根据杨海军等<sup>[17]</sup>测算出灌木林地蒸散量占降水量的 88%,地表径流占降水量的 0.004%。宝鸡市退耕还林 17 a 林地效益计算面积是 1 419 113.33

hm<sup>2</sup>,根据公式(1)可以计算出退耕还林 17 a 涵养水量为  $1.19 \times 10^8 \text{ m}^3$  根据周冰冰等<sup>[18]</sup>的调查研究,在充分考虑到建筑用材价格水平上升的因素后,得到了目前的单位库容造价是 5.714 元/m<sup>3</sup>。由公式(2)计算宝鸡市退耕还林工程 17 a 涵养水源的价值为 680 913.3 万元。

表 1 宝鸡市 1999—2015 年退耕还林效益计算面积 hm<sup>2</sup>

年份	退耕还林面积	效益计算面积
1999	7 340	—
2000	7 067	—
2001	5 200	—
2002	35 533	7 340
2003	28 067	14 407
2004	18 067	19 607
2005	24 120	55 140
2006	9 267	82 933
2007	5 667	101 273
2008	3 733	125 393
2009	1 933	134 660
2010	2 000	140 327
2011	1 467	144 060
2012	1 067	145 993
2013	933	147 993
2014	2 067	149 460
2015	2 933	150 527
合计	156 460	1 419 113

2.1.2 净化水质价值 净化水质的价值可以根据周冰冰<sup>[17]</sup>等的研究结果,即净化费用为 0.988 5 元/m<sup>3</sup>。由公式(3)可以计算出宝鸡市退耕还林净化水质的价值为 117 795.38 万元。

2.1.3 保护水源价值 宝鸡市退耕还林工程保护水源总价值是涵养水源价值和净化水质价值的和。

$V_w = V_{w1} + V_{w2} = 680 913.29 + 117 795.38 = 798 708.97$   
式中: $V_w$ ——保护水源总价值(万元); $V_{w1}$ ——涵养水源价值(万元); $V_{w2}$ ——净化水质价值(万元)。

## 2.2 保育土壤价值

2.2.1 减少土壤侵蚀量 宝鸡市退耕还林 17 a,生态环境建设取得了巨大的发展,自然植被恢复的效果比较明显,随着退耕还林时间的推移,森林覆盖率逐渐增加,水土流失减少。土壤侵蚀模数、土壤肥力、土壤容重都发生了很大的变化。宝鸡市退耕还林减少了废弃的土地和土壤肥力的流失,使土地退化得到了减缓,水土流失速度也得到了有效的控制。根据水保站统计数据得知,宝鸡市退耕前土壤侵蚀模数是 2 850 t/(km<sup>2</sup>·a),退耕还林后土壤侵蚀模数是 2 565

t/(km<sup>2</sup>·a)。由公式(4)可以算出 17 a 的退耕还林减少土壤侵蚀物质量为  $4.05 \times 10^6 \text{ km}^2/\text{t}$

2.2.2 减少土壤淤积价值 根据唐克丽等<sup>[19]</sup>研究,土壤大约有 20% 将沉积于水库以及下游的河床,所以,淤积土壤量用宝鸡市年土壤侵蚀量的 20% 计算,由公式(5)计算得出宝鸡市退耕还林 17 a 中累计减少淤积土壤量为  $8.089 \times 10^5 \text{ t}$ 。若土壤容重取 1.28 t/m<sup>3</sup>,计算出土壤淤积量相当于减少库容损失量,再根据水库库容成本费是 5.714 元/m<sup>3</sup>,由公式(6)计算得出宝鸡市退耕还林减少土壤淤积价值为 361.10 万元

2.2.3 减少泥沙滞留价值 计算宝鸡市清除泥沙滞留的价值需要采用恢复费用法,根据金羽等<sup>[20]</sup>的调查,得到宝鸡市清除滞留泥沙的成本为 5.3 元/m<sup>3</sup>。由公式(7)可以计算出宝鸡市退耕还林减少泥沙滞留价值为 1 495.2 万元。根据宝鸡市林业局统计数据而知,宝鸡市退耕还林之后森林地表层平均土壤全氮 0.021%,全磷 0.062%,全钾 1.26%。由于土壤侵蚀导致的 N,P,K 大量的损失,其价值可以通过增加使用花费的费用来代替 N,P,K 损失的价值。根据市场调查可以得知,目前氯化钾和磷酸二胺的市场价格分别是 1 400 元/t 和 2 200 元/t。折算成 N,P,K 化肥的比例分别为 132/28,132/31,75/39。所以由公式(8)计算出退耕还林工程减少养分流失价值为 15 373.04 万元。

2.2.4 保育土壤总价值 宝鸡市退耕还林工程保育土壤总价值是减少土壤淤积价值、减少泥沙滞留价值和减少养分流失价值之和。

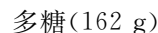
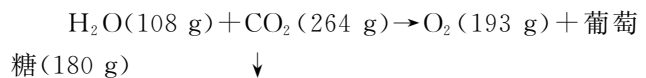
$$V = V_{s1} + V_{s2} + S_v = 361.10 +$$

$$1 495.18 + 15 373.04 = 17 229.32$$

式中: $V$ ——退耕还林保育土壤总价值(万元); $V_{s1}$ ——泥沙淤积价值(万元); $V_{s2}$ ——泥沙滞留价值(万元); $S_v$ ——退耕还林减少养分流失价值(万元)。

## 2.3 固碳制氧价值

2.3.1 固定 CO<sub>2</sub> 量 植物进行光合作用时,利用 28.3 kJ 的太阳能,吸收 108 g 水和 264 g 的二氧化碳,从而产生 193 g 氧气和 180 g 葡萄糖。再把 180 g 的葡萄糖转化为 162 g 的多糖:



由上式可知,植物生产 162 g 干物质能够吸收 264 g 的 CO<sub>2</sub>,从而可以得出树木吸收 1 g 干物质能固定 1.63 g 的 CO<sub>2</sub>。根据宝鸡市林业局数据得知,宝鸡市退耕还林平均生物量为 5.8 t/hm<sup>2</sup>。



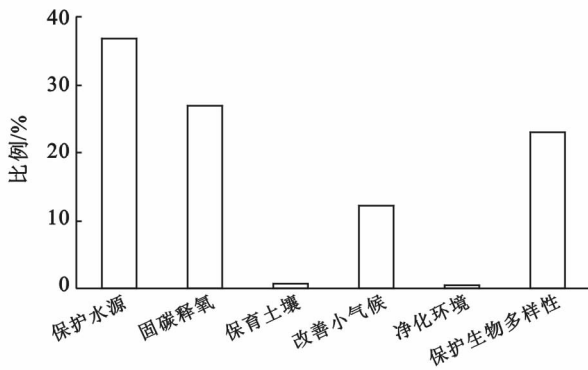


图 1 宝鸡市退耕还林工程生态服务功能价值构成

## 2.8 生态效益修正价值

因为森林生态价值大小与其自身功能结构相关,还与当地人民对其实际支付能力、利用的程度以及意愿相关,所以要根据地方社会经济水平(恩格尔系数的倒数),运用皮尔生长曲线模型来计算相对支付意愿系数,从而对计算出的生态效益价值进行修正。由宝鸡市统计局数据得知,宝鸡市恩格尔系数是  $E_n=0.34$ ,通过恩格尔系数的倒数  $1/E_n=t+3$  得出  $t=-0.06$ ,代到皮尔模型方程  $W_c=1/(1+e^{-t})$  得到宝鸡市现阶段人们对生态环境效益的支付意愿为 0.49,所以可以得出调整后宝鸡市退耕还林 17 a 累计生态效益总价值为 1 063 935.5 万元。

## 3 讨论与结论

### 3.1 讨论

(1) 自 1999—2015 年,宝鸡市大量耕地转换成林地和草地,区域生态环境和植被恢复得到明显改善,退耕还林工程生态功能发挥了明显的作用,并随着退耕还林工程的成果进一步巩固,林草恢复的生态效益将会更加明显,也将为关中地区的退耕还林和植被恢复提供一定的示范作用。

(2) 森林生态效益的监测与评价已有较多研究<sup>[16-19,26]</sup>,在指标体系的建立上研究也较详尽,但宝鸡市自然环境与植被的演变有自身的特定规律。尤其是生态环境较脆弱的地区,比如说在岩石裸露,土壤特别干旱地区以及植被难以恢复的地段,在计算生态效益时需考虑退化生态系统中林草植被遭受生境旱化所造成的生态效应弱化等问题。对于这些地区来说,其植被的恢复和生态环境整治需考虑远利益,尽量避免一些追求短期利益的行为,要因势利导,宜采用分地区和分类经营的模式和途径进行治理,进而形成健康的生态系统,对于目前来说,对退耕还林现有的成果继续稳步推进和巩固具有更现实的意义。

(3) 为研究时间和资料所限,退耕还林的其他效

益,如防风固沙效益、消除噪声效益以及调节湿度效益等目前尚不能进行计算评估,因此本文计算的宝鸡市退耕还林的生态效益的总体数值和实际情况相比可能会偏小一些,有待以后做进一步的研究。

### 3.2 结论

(1) 宝鸡市实施退耕还林工程 17 a 来,土壤侵蚀模数由  $2\ 850\ \text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$  下降到  $2\ 565\ \text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ ,下降了  $285\ \text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ ,减少土壤侵蚀物质质量为  $4.05 \times 10^6\ \text{t}$ 。水源涵养量为  $1.19 \times 10^9\ \text{m}^3$  固碳量为  $1.34 \times 10^7\ \text{t}$ ,制氧总量为  $9.83 \times 10^6\ \text{t}$ 。可以看出通过退耕还林工程很好的保护了环境,生态环境得到了较好的改善,提高了该区的生物多样性水平。

(2) 截止 2015 年宝鸡市退耕还林生态效益初始总价值为 2 073 820.2 万元,经过相对支付意愿系数 0.49 调整后,宝鸡市退耕还林生态效益总价值为  $1.06 \times 10^6$  万元。其中保护水资源和固碳制氧贡献最大,分别所占比例为 36.8% 和 27%,保护生物多样性次之,贡献率为 22.8%,改善小气候、保育土壤和净化环境价值贡献率分别为 12.2%,0.8% 和 0.4%。由此可以看出退耕还林工程在宝鸡市水源涵养和改善环境作用明显,对于该区的水资源保护和空气质量的改善有重要的意义。

**致谢:**论文完成的过程中 2012 级地理科学专业学生庞世弟做了许多工作,在此表示感谢!

### [参 考 文 献]

- [1] Rule L C, Colletti J P, Faltosonet R R. Evaluation conversion of cropland to forest[J]. Journal of Forest Economics, 1995,1(3):329-346.
- [2] Joslin J D, Schoenholtz S H. Measuring the environmental effect of converting cropland to short-rotation woody crops: A research[J]. Approach. Biomass and Bioenergy, 1997, 13(4/5):301-311.
- [3] Costanza R. The economic benefit of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Nature, 1997,387(6630):253-260.
- [4] 杨建波,王利. 退耕还林生态效益评价的方法[J]. 中国土地科学,2003,17(5):54-58.
- [5] 张孝存,杨存典. 商洛市退耕还林综合效益评价和生态补偿策略研究[J]. 江西农业学报,2012,24(12):167-169.
- [6] 张勇,李有华,杜轶,等. 区域退耕还林(草)综合效益评价研究[J]. 水土保持通报,2007,27(6):108-111.
- [7] 姚盼盼,温亚利. 河北省承德市退耕还林工程综合效益评价研究[J]. 干旱区资源与环境,2013,27(4):47-53.
- [8] 王涛,崔晓临,杨强,等. 陕西省气温降水的年际和季节

- 变化特征[J]. 中国农学通报, 2014, 30(33): 248-255.
- [9] 宋林, 许才万, 谢涛, 等. 贵州省退耕还林工程生态服务功能价值评估[J]. 安徽农业科学, 2014(24): 8218-8220.
- [10] 徐成立, 王雄宾, 余新晓, 等. 北京山地森林生态服务功能评估[J]. 东北林业大学学报, 2010, 38(7): 79-82.
- [11] 国家林业局. 2014年退耕还林工程生态效益监测国家报告[M]. 北京: 中国林业出版社, 2015.
- [12] 余新晓, 鲁绍伟, 靳芳, 等. 中国森林生态系统服务功能价值评估[J]. 生态学报, 2005, 25(8): 2096-2102.
- [13] 靳芳, 余新晓, 鲁绍伟, 等. 中国森林生态系统服务功能及其价值评价[M]. 北京: 中国林业出版社, 2007.
- [14] 余新晓, 秦永胜, 陈丽华, 等. 北京山地森林生态系统服务功能及其价值初步研究[J]. 生态学报, 2002, 22(5): 783-789.
- [15] 高琼, 李月辉, 肖笃宁, 等. 沈阳市域森林生态系统服务功能价值评估[J]. 东北林业大学学报, 2008, 36(2): 69-72.
- [15] 范昊明, 王铁龙, 周丽丽, 等. 不同地形坡面径流流速时空分异特征研究[J]. 水土保持学报, 2007, 21(6): 35-38.
- [17] 杨海军. 东北地区地表径流资源的开发利用与水土保持[J]. 东北水利水电, 1993(9): 36-39.
- [18] 周冰冰. 北京市森林资源价值[M]. 北京: 中国林业出版社, 2000.
- [19] 唐克丽, 张仲子. 黄土高原水土流失与土壤退化研究初探[J]. 环境科学, 1984, 5(6): 5-8.
- [20] 金羽, 欧阳志云, 林顺坤. 海南省绿色 GDP 核算框架的初步研究[J]. 生态经济: 中文版, 2008, 1(3): 48-53, 64.
- [21] 何璐, 段曰汤, 沙毓沧, 等. 金沙江干热河谷区生态经济林复合种植模式的生态经济效益研究[J]. 水土保持学报, 2006, 20(5): 16-19.
- [22] 赖亚飞, 朱清科, 张宇清. 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.
- [23] 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.
- [24] 张景哲, 刘启明. 北京城市气温与下垫面机构关系的时相变化[J]. 地理学报, 1988, 43(2): 159-168.
- [25] 杨琼, 陈章和, 沈鸿标. 白云山森林生态系统间接经济价值评估[J]. 生态科学, 2002, 21(1): 72-75.
- [26] 胡生君, 孙保平, 王同顺. 干热河谷区退耕还林生态效益价值评估: 以云南巧家县为例[J]. 干旱区资源与环境, 2014, 28(7): 78-83.

(上接第 235 页)

- [7] Tallis H T, Ricketts T, Guerry A D, et al. InVEST 2.0 beta User's Guide[M]. US: The Natural Capital Project, 2011.
- [8] 杨芝歌, 周彬, 余新晓, 等. 北京山区生物多样性分析与碳储量评估[J]. 水土保持通报, 2012, 32(3): 42-46.
- [9] 杨园园, 戴尔阜, 付华. 基于 InVEST 模型的生态系统服务功能价值评估研究框架[J]. 首都师范大学学报: 自然科学版, 2012, 33(3): 41-47.
- [10] 潘韬, 吴绍洪, 戴尔阜, 等. 基于 InVEST 模型的三江源区生态系统水源供给服务时空变化[J]. 应用生态学报, 2013, 24(1): 183-189.
- [11] Richter B D, Abell D, Bacha E, et al. Tapped out: how can cities secure their water future? [J] Water Policy, 2013, 15(3): 335-363.
- [12] 王雅, 蒙古军. 基于 InVEST 模型的黑河中游土地利用变化水文效应时空分析[J]. 北京大学学报: 自然科学版, 2015, 51(6): 1157-1165.
- [13] Gutman G, Ignatov A. The derivation of the green vegetation fraction from NOAA/AVHRR data for use in numerical weather prediction models[J]. International Journal of Remote Sensing, 1998, 19(8): 1533-1543.
- [14] 李苗苗. 植被覆盖度的遥感估算方法研究[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2003.
- [15] Hutchinson M F. Interpolating mean rainfall using thin plate smoothing splines[J]. International Journal of Geographical Information Systems, 1995, 9(4): 385-403.
- [16] Allen R G, Pereira L S, Raes D, et al. FAO Irrigation and drainage paper No. 56[J]. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1998, 56(4): 97-156.
- [17] Zhou Wenzuo, Liu Gaohuan, Pan Jianjun, et al. Distribution of available soil water capacity in China[J]. Journal of Geographical Sciences, 2005, 15(1): 3-12.