

# 儋州市退耕还林工程生态效益评价

果超, 孙保平, 方思超, 赵瑞

(北京林业大学 水土保持学院, 北京 100083)

**摘要:** [目的] 对海南省儋州市退耕还林工程生态效益进行评价, 为我国退耕还林工程生态效益评价提供依据。[方法] 以截止 2012 年儋州市退耕还林工程取得的成绩为基础, 对儋州市退耕还林工程林草植被的涵养水源、保育水土、固碳制氧、净化环境、改善小气候和保护生物多样性这 6 个方面效益进行评价, 采用影子工程法、市场价格法进行物质量、价值量的测评, 对该地区近 9 a 来的退耕还林生态效益进行评价分析, 结合恩格尔系数与皮尔曲线对评价结果进行修正。[结果] 截止 2012 年, 儋州市退耕还林工程生态效益总价值达 22.18 亿元, 保护水资源价值最大, 为 17.64 亿元, 占生态总价值的 79.5%; 固碳制氧价值次之, 为 2.38 亿元, 占生态总价值的 10.7%。[结论] 儋州市退耕还林工程在水土保持中发挥极为重要的作用, 有效地遏制了当地的水土流失。

**关键词:** 退耕还林; 生态效益; 经济价值; 儋州市

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2015)04-0308-06

中图分类号: S157.1, X171.4

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2015.04.054

## Evaluation on Ecological Benefit of Returning Farmland to Forestland Projects in Danzhou City

GUO Chao, SUN Baoping, FANG Sichao, ZHAO Rui

(College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** [Objective] The ecological benefit of returning farmland to forestry projects in Danzhou City, Hainan Province was to be evaluated in order to provide a basis for eco-benefit assessment of returning farmland to forestland project in China. [Methods] Based on the achievements of returning farmland to forestland project in Danzhou City that finished in 2012, the following six aspects of the water conservation, soil and water conservation, carbon sequestration oxygen, purifying environment, improving the microclimate and protecting the biodiversity of Danzhou City project on returning farmland to forest vegetation were evaluated. The shadow engineering method and the market price method were used to carry on the physical and value assessment, analyze the forest ecological benefit of returning farmland in nearly nine years, and combine the Engel coefficient with the Pearson curve together to modify the evaluation results. [Results] By 2012, the ecological value of returning farmland to forestland project of Danzhou City was up to 2.22 billion yuan. The most important value is protection of water resources, 1.76 billion yuan, accounting for 79.5% of total ecological value. The following is carbon sequestration oxygen, 238 million yuan, accounting for 10.7% of total ecological value. [Conclusion] The ecological benefit brought by the implementation of returning farmland to forestland project of Danzhou City is very significant, and effectively control soil and water loss in Danzhou City.

**Keywords:** returning farmland to forestland; ecological effect; economic value; Danzhou City

退耕还林是一项长期、复杂的生态工程, 其目的是为了恢复植被, 减少水土流失, 防沙治沙, 改善日益恶化的生态环境, 调整农村产业结构, 增加农民收入。

随着退耕还林工程全面实施, 对于退耕还林的生态效益评价成为了热点课题。杨会侠等<sup>[1]</sup>在辽东地区研究了退耕还林对于水土流失的影响; 郭建英等<sup>[2]</sup>对黄

收稿日期: 2014-06-11

修回日期: 2014-07-07

资助项目: 国家林业局公益性行业科研专项“中国南方退耕还林工程建设效益监测与评价研究”(201004018)

第一作者: 果超(1990—), 男(汉族), 北京市人, 硕士研究生, 研究方向为退耕生态效益。E-mail: 275577963@qq.com。

通信作者: 孙保平(1956—), 男(汉族), 山西省原平县人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事水土保持与荒漠化防治研究。E-mail: sunbp@163.com。

土高原区退耕还林的效益进行了评价;李生等<sup>[3]</sup>研究了石质山区退耕还林后土壤效应,这些研究结果均表明退耕还林对涵养水源,减少土壤侵蚀产生了积极作用。然而,当前对南方海岛季风气候区实施退耕还林工程之后的生态效益评价研究仍有欠缺。本研究在实地调查的基础上,以海南省儋州市退耕还林工程为例,分析退耕林生长状况,建立适合儋州市的退耕还林工程生态效益评估体系,科学估算其发挥生态效益总价值,以期对退耕还林工程的效益评价与成果巩固提供科学指导。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

儋州市位于海南省的西北部,濒临北部湾,地处北纬 19°11′—19°52′,东经 108°56′—109°46′,属典型热带海岛季风气候区,年均温 21.5~28.5℃,全年日平均气温≥10℃的积温为 8 500~9 100℃;太阳辐射 485.7 kJ/cm<sup>2</sup>,年日照 2 100 h;多年平均降雨量为 1 815 mm,且主要分布在 7—9 月份,占全年降雨量的 70%以上;年平均相对湿度 83%,常风年均风速 2~2.5 m/s。当地土壤多为花岗岩砖红壤,土层厚度约 100 cm,pH 值 4.5~5.5,有机质含量中等,富钾缺磷。

儋州市于 2002—2010 年实施了退耕还林计划,共完成造林 19 920 hm<sup>2</sup>,将该区森林覆盖率由 38.1% 提高到 52.4%。其中 2002—2010 年按项目分退耕还林面积为 2 387 hm<sup>2</sup>,荒山荒地造林 17 533 hm<sup>2</sup>。在退耕还林 2 387 hm<sup>2</sup> 的任务中,完成营造生态林 2 173 hm<sup>2</sup>,占总退耕还林面积的 89.7%,经济林完成 213 hm<sup>2</sup>,占总造林面积的 10.3%;荒山荒地造林 17 533 hm<sup>2</sup> 中营造生态林 16 527 hm<sup>2</sup>,占 94.3%,营造经济林 1 006 hm<sup>2</sup>,占总造林面积的 5.7%。

### 1.2 研究方法

近年来,我国学术界对退耕还林效益进行了全方位的深入研究,在大量的实践中取得了很多阶段性成果。郎奎建等<sup>[4]</sup>在界定森林涵养水源等 10 种生态效益的概念、性质及相关关系的基础上,确定了它们独立的自变量集和标准化因变量集,并构造它们整体扩散模型,可实现对中国林业生态工程的 10 种森林生态效益的总体初步估计。侯元兆等<sup>[5-6]</sup>对中国退耕还林地区涵养水源、保育土壤、固碳制氧等效益进行了研究。米锋、李吉跃<sup>[7]</sup>针对森林生态效益的内涵、国内外研究现状、目前主要采用的方法及理论基础作了论述。杨建波等<sup>[8]</sup>从坡耕地退耕还林后的涵养水源、固土保肥、纳碳吐氧、减免灾害、改善生活等 5 个方面

着手,对其生态效益评价方法进行了探讨。根据这些研究方法的选择依据、筛选原则,结合退耕还林植被恢复生态系统的背景特征,采用频度分析法、理论分析法和专家咨询法,最后从退耕还林后保护水资源、保育土壤、固碳制氧、净化环境、改善小气候、保护生物多样性 6 个方面入手,构建了儋州市退耕还林工程生态效益评价体系。

## 2 结果与分析

### 2.1 效益面积的确定

儋州市退耕还林工程造林树种主要以桉树、橡胶、相思、木麻黄等灌乔木树种为主,通过调查,2002 年造林树种在 2005 年已基本郁闭,可发挥各种生态效益。2003—2004 年退耕还林工程新造林地在 2005 年未郁闭属未成林造林地,不能充分发挥各种生态效益。因此,退耕还林工程生态效益评价面积从退耕还林后第 4 a 开始算起。由表 1 可以看出,2002—2010 年退耕还林累计新增面积为 19 920 hm<sup>2</sup>,其中退耕还林面积 2 387 hm<sup>2</sup>,荒山造林面积 17 533 hm<sup>2</sup>。造林 9 a 来儋州市退耕还林工程中发挥水土保持等生态效益的价值核算林地累计总面积为 93 827 hm<sup>2</sup>。

表 1 儋州市 2002—2010 年退耕还林工程新增林地与效益计算面积的变化 hm<sup>2</sup>

年份	退耕地还林	荒山造林	退耕还林新增面积	效益计算面积
2002	387	387	720	—
2003	2 000	2 400	4 400	—
2004	0	2 800	2 800	—
2005	0	4 067	4 067	720
2006	0	2 333	2 333	5 120
2007	0	2 266	2 266	7 920
2008	0	1 667	1 667	11 987
2009	0	667	667	14 320
2010	0	1 000	1 000	16 586
2011	0	0	0	18 253
2012	0	0	0	18 920
合计	2 387	17 533	19 920	93 827

### 2.2 生态效益的计算

2.2.1 水资源保护价值 儋州市退耕还林保护水资源总价值为涵养水源价值和净化水质价值之和,即

$$V_w = V_{w_1} + V_{w_2} \quad (1)$$

式中: $V_w$ ——儋州市退耕还林保护水资源总价值(万元); $V_{w_1}$ ——森林涵养水源价值(万元); $V_{w_2}$ ——森林净化水质价值(万元)。

$$V_{w_1} = Y_w \cdot C_r \quad (2)$$

式中: $Y_w$ ——儋州市退耕还林地涵养水源量( $m^3$ );  
 $C_r$ ——水库单位库容造价(元/ $m^3$ );

$$V_{w_2} = Y_w \cdot P \quad (3)$$

式中: $Y_w$ ——儋州市退耕还林地涵养水源量( $m^3$ );  
 $P$ ——每  $1 m^3$  的净化费(元/ $m^3$ )。

由儋州市气象站观测,当地多年平均降水量为 1 815 mm。据刘珉等<sup>[9]</sup>调查研究,海南省林地蒸散量占降水量的 52.65%,地表径流占降水量的 4.71%,可得林地年蒸散量为 955.6 mm,地表径流量为 85.5 mm,则由

$$Y_w = S(P - E - C) \times 10^{-3} \quad (4)$$

式中: $S$ ——林地效益面积( $m^2$ ); $P$ ——年均降水量(mm/a); $E$ ——灌木林地蒸散量(mm/a); $C$ ——灌木林地径流量(mm/a)。

经计算,儋州市退耕还林 9 a 涵养水量为  $7.26 \times 10^8 m^3$ 。森林拦蓄水与水库蓄水的本质类似,可采用“影子工程法”。影子工程法是恢复费用法的一种特殊形式,是在某个环境被破坏以后,虚拟人工建造一个工程来代替原来的环境功能<sup>[10]</sup>。把林地拦蓄降水效益等效于一个蓄水工程的蓄水效益,采用该蓄水工程的单位修建费用或单位造价,作为土壤涵养水源的价格。从而间接地估算林地涵养水源价值。据周冰冰等<sup>[11]</sup>调查研究,在充分考虑到建材价格水平上升的因素后,得到目前的单位库容造价为 6.25 元/ $m^3$ 。退耕还林工程 10 a 涵养水源价值  $V_w$  为 45.38 亿元。儋州市退耕还林净化水质价值可根据净化城镇污水成本来计算。根据 2008 年开始实施的《海南省城镇污水处理费征收使用管理办法》规定,城镇污水处理费按照 1.85 元/t 的标准征收。因此,儋州市退耕还林净化水质价值  $V_{w_2}$  为 13.43 亿元。儋州市退耕还林保护水资源总价值为 58.81 亿元。

2.2.2 土壤保育价值 儋州市退耕还林保育土壤总价值( $V_v$ )包括减少土壤淤积( $V_{s_1}$ )及滞留价值( $V_{s_2}$ )和减少养分流失价值( $S_v$ ),即

$$V_v = V_{s_1} + V_{s_2} + S_v$$

根据海南省土壤侵蚀遥感调查结果,儋州市在退耕还林过程中,土壤侵蚀模数由退耕前的 4 670  $t/(km^2 \cdot a)$  减少到 1 680  $t/(km^2 \cdot a)$ 。由公式(5)计算得出,儋州市退耕还林地 9 a 减少土壤侵蚀物质量  $M_{s_1}$  为  $2.81 \times 10^6 t$ 。

$$M_{s_1} = S(D_1 - D_2) \times 10^{-6} \quad (5)$$

式中: $M_{s_1}$ ——减少土壤侵蚀量( $10^4 t$ ); $D_1$ ——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( $t/km^2 \cdot a$ ); $S$ ——退耕还林林地效益核算面积( $m^2$ )。

(1) 减少土壤淤积价值。儋州市退耕还林前的坡地上产生的泥沙大约有 15% 将沉积于水库或下游河床。因此,淤积泥沙量以儋州市年土壤侵蚀量的 15% 计算,其价值可根据被淤积水库的蓄水成本来计算实施退耕还林工程减少泥沙淤积的价值。计算公式为:

$$Y_s = M_s \cdot e \quad (6)$$

式中: $Y_s$ ——退耕还林减少泥沙淤积量( $10^4 t$ );  
 $M_s$ ——减少土壤侵蚀量( $10^4 t$ ); $e$ ——进入河道或水库的泥沙占侵蚀总量的比(%)。

经计算,儋州市实施退耕还林工程 9 a 中累计减少淤积泥沙量  $4.21 \times 10^5 t$ ,若泥沙容重取  $1.28 t/m^3$ ,计算出泥沙淤积的数量相当于减少库容损失量,再根据水库  $1 m^3$  库容需投入成本费为 6.25 元,所以,以此价格计算,由公式(7)计算得出,儋州市退耕还林工程减少泥沙淤积价值为 0.02 亿元。

$$V_{s_1} = C_r \cdot Y_s / \beta \quad (7)$$

式中: $V_{s_1}$ ——森林减少泥沙淤积的价值(万元);  
 $C_r$ ——水库单位库容的修建成本(元/ $m^3$ ); $Y_s$ ——退耕还林林木减少泥沙淤积量( $10^4 t$ ); $\beta$ ——淤积泥沙容重( $t/m^3$ )。

(2) 减少泥沙滞留价值。儋州市减少泥沙滞留价值采用恢复费用法,根据金羽等<sup>[12]</sup>的调查,在充分考虑到价格水平上升的因素后,得到目前儋州市清除每立方米滞留泥沙的成本为 5.5 元。由上述分析儋州市土壤侵蚀量 15% 的泥沙淤积于水库、江河和湖泊,如滞留山前、坡脚、沟口、洼地、库坝河的入口泥沙量也按此比例计算。由公式(8)计算得出,儋州市退耕还林工程发生效益林地减少泥沙滞留价值 0.02 亿元。

$$V_{s_2} = Y_s \cdot C_p / \beta \quad (8)$$

式中: $V_{s_2}$ ——减少泥沙滞留价值(万元); $Y_s$ ——退耕还林林木减少泥沙淤积量( $10^4 t$ ); $C_p$ ——清除泥沙的单位成本(元/ $m^3$ )。

(3) 减少养分流失价值。儋州市退耕还林后林地表层平均土壤全氮 0.023%,全磷 0.075%,全钾 0.128%。因土壤侵蚀造成的 N,P,K 大量损失,其价值可通过增加使用化肥的费用来代替 N,P,K 损失的价值,即用替代市场法来计算儋州市退耕还林措施减少土壤肥力损失价值。根据市场调查,目前磷酸二胺和氯化钾的市场价分别为 2 200 和 1 400 元/t。折算成 N,P,K 化肥的比例分别为:132:28,132:31,75:39。由公式(9)计算得出,退耕还林减少养分流失价值为 0.23 亿元。儋州市退耕还林保育土壤总价值为 0.27 亿元。

$$S_v = (D_1 - D_2) \cdot S \cdot \sum_{i=1}^n (P_{1i} \cdot P_{2i} \cdot P_{3i}) \times 10^{-6} \quad (9)$$

式中:  $S_v$ ——退耕还林保肥效益经济价值(万元);  $D_1$ ——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( $t/(km^2 \cdot a)$ );  $S$ ——退耕还林林地效益核算面积( $km^2$ );  $P_{1i}$ ——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)。

2.2.3 固碳制氧价值 儋州市退耕还林固碳制氧价值包括林地固定  $CO_2$  价值和制造  $O_2$  价值,即

$$V_c = V_{c1} + V_{c2}$$

计算森林固定  $CO_2$  效益时应将植物固定  $CO_2$  效益和森林土壤固定  $CO_2$  效益相加。由光合作用反应式可知,树木每形成 1 g 干物质需要固定 1.63 g 的  $CO_2$ 。据调查儋州市退耕还林主要以桉树林为主,其平均生物量为  $5.9 t/(hm^2 \cdot a)$ 。儋州市实施退耕还林工程 9 a 间发挥效益林木面积为  $93\,827\,hm^2$ ,由公式(10)计算得出,此得出退耕还林生物量固定  $CO_2$  量  $Y_{c1}$  为  $9.02 \times 10^5\,t$ 。

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

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产生量( $t/hm^2$ );  $S_i$ ——退耕还林效益计算面积( $hm^2$ )。

利用土壤剖面有机碳密度计算公式确定森林土壤的碳储量。

$$Y_{c2} = 0.58 S_i \times 10^{-3} \sum_{i=1}^n C_i \cdot B_i \cdot D_i \quad (11)$$

式中:  $Y_{c2}$ ——森林土壤固碳量( $10^4\,t$ );  $C_i$ ——土壤剖面第  $i$  层土壤的有机质含量(%);  $B_i$ ——土壤剖面第  $i$  层土壤容重( $g/cm^3$ );  $D_i$ ——土壤剖面第  $i$  层土壤层厚度(cm); 0.58——土壤有机质转换为土壤有机碳的换算系数;  $S_i$ ——退耕还林效益计算面积( $hm^2$ )。

由于实施退耕还林工程后,土地利用方式改变之后表层土壤的有机碳含量变化较大,因此,本研究只计算表层土壤的有机碳密度。经测算,当土层厚度为 20 cm 时,儋州市退耕还林前表土层土壤容重平均为  $1.36\,g/cm^3$ ,有机质含量为  $7.78\,g/kg$ ,退耕后林地土壤容重平均为  $1.13\,g/cm^3$ ,有机质含量为  $10.68\,g/kg$ 。根据土壤有机质转换为土壤有机碳的换算系数为 0.58。用有机碳密度公式计算出退耕前后有机碳密度,两者的差就是儋州市实施退耕还林后林地有机碳密度,即退耕还林土壤单位面积固定  $CO_2$  量  $Y_{c2}$  为  $1.78 \times 10^6\,t$ 。

儋州市退耕还林固定  $CO_2$  价值计算,通过森林生物量固定  $CO_2$  量与森林土壤固定  $CO_2$  量之和  $2.69 \times 10^6\,t$ ,折合成纯碳,根据 C 与  $CO_2$  分子式与原子量  $C/CO_2 = 0.2729$ ,然后采用瑞典碳税法 and 我国造林成本法<sup>[13]</sup>两种计算方法。最后将两者方法折中的平均值作为儋州市退耕还林固碳价值。碳税法使用瑞典碳税率 150 美元/t;折合人民币 1 245 元。造林成本法采用我国造林成本为 250 元/t。根据碳税法公式(12)计算可得,儋州市退耕还林 9 a 固碳价值为 9.12 亿元,造林成本法计算出固碳价值 1.83 亿元。得出儋州市退耕还林 9 a 固碳价值为 5.47 亿元。

$$V_{c1} = [(Y_{c1} + Y_{c2})(C_{c1} + C_{c2}) \times 10^{-4}] / 2 \times 0.2729 \quad (12)$$

式中:  $V_{c1}$ ——退耕还林固定  $CO_2$  的价值(万元);  $Y_{c1}$ ——森林生物量固碳量( $10^4\,t$ );  $Y_{c2}$ ——森林土壤固碳量( $10^4\,t$ );  $C_{c1}$ ——森林固定  $CO_2$  的造林成本(元/t);  $C_{c2}$ ——瑞典碳税成本(美元/t)。

根据儋州市林地单位面积的生物量为  $5.9\,t/hm^2$ ,求出儋州市退耕还林林地总生物量,乘以单位干物质释放  $O_2$ ,再根据我国森林提供 1 t  $O_2$  的造林成本为 369.7 元。根据公式(13)计算可得,儋州市退耕还林 9 a 间林地产生  $O_2$  的价值为 2.46 亿元。则儋州市退耕还林固碳制氧总价值为 7.93 亿元。

$$V_{c2} = C_0 \cdot b \cdot \sum_{i=1}^n V_i \cdot S \times 10^{-4} \quad (13)$$

式中:  $V_{c2}$ ——森林制氧价值(万元);  $C_0$ ——森林提供  $O_2$  的造林成本(元/t);  $b$ ——森林生产 1 t 干物质制造  $O_2$  量(t);  $V_i$ ——森林单位面积干物质产生量( $t/hm^2$ );  $S$ ——退耕还林效益计算面积( $hm^2$ )。

2.2.4 环境净化价值 儋州市退耕还林净化环境总价值等于吸收  $SO_2$  价值、阻滞降尘价值之和,即  $V_s = V_{s1} + V_{s2}$ 。

$$V_{s1} = C_s \cdot \sum_{i=1}^n R_i \cdot S_i \times 10^{-4} \quad (14)$$

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  $SO_2$  的量( $t/hm^2$ );  $S_i$ ——退耕还林效益计算面积( $hm^2$ )。

$$V_{s2} = C_d \cdot \sum_{i=1}^n L_i \cdot S_i \times 10^{-4} \quad (15)$$

式中:  $V_{s2}$ ——林木阻滞降尘价值(万元);  $C_d$ ——人工消减粉尘的成本(元/t);  $L_i$ ——不同类型林木单位面积滞尘能力( $t/hm^2$ );  $S_i$ ——退耕还林效益计算面积( $hm^2$ )。

根据《中国生物多样性国情研究报告(1998年)》<sup>[14]</sup>,阔叶树对  $SO_2$  的吸收能力为  $88.65\,kg/hm^2$ ,针叶林、杉类、松林的吸收能力为  $215.60\,kg/hm^2$ 。本

研究采用“面积—吸收能力法”计算吸收  $\text{SO}_2$  的物质。儋州市退耕还林工程林地主要以桉树、橡胶等阔叶林为主,经过加权平均和专家商讨,最终确定对  $\text{SO}_2$  的平均吸收能力为  $186.32 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 。根据我国削减  $\text{SO}_2$  的平均治理费用为  $600 \text{ 元}/\text{t}$ 。由此可得出退耕还林工程林地吸收  $\text{SO}_2$  价值  $V_{s1}$  为  $0.10$  亿元。

根据《中国生物多样性国情研究报告(1998年)》<sup>[14]</sup>,我国森林的滞尘能力:阔叶林为  $10.11 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ ,针叶林为  $33.2 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ 。本研究利用森林滞尘量采用“面积—滞尘能力法”。儋州市退耕还林工程中营造林主要以桉树,橡胶等阔叶林为主,经过加权平均,最终确定降尘的平均阻滞能力为  $15.4 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$  根据我国削减粉尘的平均单位治理成本为  $170 \text{ 元}/\text{t}$ 。由此可得出退耕还林工程林地阻滞降尘价值  $V_{s2}$  为  $0.01$  亿元。儋州市退耕还林净化环境总价值为  $0.11$  亿元。

2.2.5 小气候改善价值 儋州市退耕还林改善小气候总价值等于降低温度价值、保护农田价值之和,即

$$V_t = V_{t1} + V_{t2} \quad (16)$$

$$V_{t1} = t \cdot C_t \cdot T_0 \cdot h \cdot S \times 10^{-4}$$

式中: $V_{t1}$ ——退耕还林降低温度价值(万元); $t$ ——效益和算时间(d); $C_t$ ——空调在单位容积内降低  $1 \text{ }^\circ\text{C}$  的费用( $\text{万}/\text{m}^3$ ); $h$ ——平均树高(m); $S$ ——退耕还林效益计算面积( $\text{hm}^2$ )。

$$V_{t2} = \sum_{i=1}^n (P_{ai} - P_{bi}) F \cdot S_i \cdot J_i \times 10^{-4} \quad (17)$$

式中: $V_{t2}$ ——林木保护农田价值(万元); $P_{ai}$ ——退耕后每年单位面积粮食产量( $\text{kg}/\text{hm}^2$ ); $P_{bi}$ ——退耕前每年单位面积粮食产量( $\text{kg}/\text{hm}^2$ ); $F$ ——粮食增产中林木发挥效益的贡献率(%); $S_i$ ——退耕还林效益计算面积( $\text{hm}^2$ ); $J_i$ ——当地每年粮食价格(元)。

本研究将夏季 7—9 这 3 个月份作为测算时段,因为夏天森林植被对降低空气温度具有明显效果。有研究<sup>[15]</sup>表明,绿地覆盖率增加 10% 的情况下,夏天日间温度就会下降  $0.93 \text{ }^\circ\text{C}$ 。儋州市实施退耕还林工程 9 a 来,森林覆盖率增幅大于 10%,以  $0.93 \text{ }^\circ\text{C}$  作为儋州市退耕还林后夏季温度降低值,空调降低单位容积空气温度  $1 \text{ }^\circ\text{C}$  的平均费用为 1 元;儋州市退耕还林平均林高 2.7 m;根据公式可得儋州市退耕还林后降低温度价值为  $V_{t1}$  为  $0.15$  亿元。

根据汪俊三等<sup>[16]</sup>研究,每增加 1% 的森林覆盖率,每  $1 \text{ hm}^2$  耕地的粮食产量可增加  $217.5 \text{ kg}$ ,所以,其价值大小可通过获得农田作物收益来评价整个防护效益。由于实施退耕还林的林地在 2005 年起才发挥效益。因此,以这 6 a 粮食增产的收益作为退耕还

林实施 9 a 保护农田的价值。根据全国各省(区)提供的各时期农产品价格,2001—2010 年海南粮食价格为  $1.48 \text{ 元}/\text{kg}$ ,2011—2012 粮食价格为  $1.78 \text{ 元}/\text{kg}$ 。林地对粮食增产的贡献为 30%,肥料占 50%,良种占 20%<sup>[1]</sup>。儋州市退耕还林 9 a 中,森林保护农田价值,根据退耕后每年与退耕前单位面积粮食的增产量与每年价格相乘,然后根据林木对粮食增产的贡献系数计算可得,林木保护农田价值  $V_{t2}$  为  $1.98$  亿元。儋州市退耕还林改善小气候效益总价值为  $2.13$  亿元。

2.2.6 生物多样性保护价值 采用替代法估算保护生物多样性效益价值,即假设森林遭到破坏而造成的多样性破坏损失价值,根据森林破坏后造成减少生物多样性和游憩的损失价值来间接估算。

$$V_f = S \cdot M \times 10^{-4} \quad (18)$$

式中: $M$ ——单位面积破损价值(元); $S$ ——退耕还林效益计算面积( $\text{hm}^2$ )。

由于退耕还林多以营造人工纯林或混交群落为主,森林群落仍处于较低结构水平,根据张永利等<sup>[17]</sup>编著的《中国森林生态系统服务功能研究》一书中关于生物多样性保护价值的成果,认为儋州市退耕还林群落生物多样性保护价值取第 VI 级,即  $5000 \text{ 元}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$  较合适,由此可得儋州市退耕还林工程 11 a 累计产生生物多样性保护价值  $V_f$  为  $4.69$  亿元。

2.2.7 退耕还林工程的生态总价值 将以上各项生态功能价值加和得到儋州市退耕还林工程的生态价值。由于以上方法都是采用的各种替代方法,得到的是退耕还林的初始生态价值为  $73.95$  亿元。

### 2.3 生态效益的修正价值

因林地生态价值大小除与森林环境其自身功能结构有关外,还与当地人们对其的利用程度、实际支付能力和意愿相关,需根据地方社会经济发展水平(恩格尔系数的倒数),并利用皮尔生长曲线模型来确定出相对支付意愿系数,对估算所得的初步生态效益价值进行修正。通过查阅,儋州市现阶段恩格尔系数  $E_n = 0.47$ ,由恩格尔系数倒数  $1/E_n = t + 3$  推得  $t = 0.87$ ,代入皮尔模型方程  $W_c = 1/(1 + e^{-t})$  由此可得儋州市当前社会发展阶段下人们对生态环境效益支付意愿值为  $0.30$ ,由此调整后的儋州市退耕还林工程 9 a 累计生态效益总价值为  $22.18$  亿元。

## 3 讨论

很多学者对于退耕还林生态效益的评价做了大量的工作,但是对于热带海岛季风气候区退耕还林的生态效益分析尚属首次,9 a 来退耕还林工程的实施使儋州市的生态环境得到良好的保护和改善;生态产

业蓬勃发展,林业经济快速发展,农民从林业上获得的收入成逐年大幅增长态势;该区产业结构得到进一步优化,极大地带动了城乡经济发展;同时也为相关地区的退耕还林和植被恢复工作提供了范例。统计过程中,仍有部分林草地还处于幼林或未成林造林地,尚未发挥水土保持及生态效益,这部分未纳入到儋州市退耕还林工程生态环境价值核算面积内。对于这一部分产生的生态效益该如何建立指标,如何评价值得思考和探索。

## 4 结论

(1) 儋州市实施退耕还林以来林草植被覆盖度呈逐年上升趋势,森林覆盖率从 38.1% 增加到了 52.4%,增加了 16.3%,林地累计涵养水源总量为  $7.26 \times 10^{10} \text{ m}^3$ ;随着林草植被覆盖率的增加,通过林冠截流、地上枝叶及枯枝落叶层拦截降水,滞留地表径流,从而削减了降雨径流量,保持了土壤水分,使得年土壤侵蚀模数呈逐年减少趋势,由退耕前的  $4\ 670 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ ,下降到退耕后  $1\ 680 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ ,有效地遏制水土流失的发生;林草植被的恢复,不仅表现在维持生态平衡、改善生态环境方面,同时也是一个巨大的碳储库,可以吸收大气中的  $\text{CO}_2$ ,释放出新鲜的  $\text{O}_2$ ;除此还可以吸收  $\text{SO}_2$  等其它有害气体,退耕还林 10 a 来,固定  $\text{CO}_2$  总量为  $2.69 \times 10^6 \text{ t}$ ,制氧总量为  $6.64 \times 10^5 \text{ t}$ ,吸收  $\text{SO}_2$  总量为  $1.75 \times 10^4 \text{ t}$ ,滞尘总量为  $1.40 \times 10^3 \text{ t}$ ,起到了很好的净化环境的作用;9 a 间温度比退耕前有所降低,扬沙次数比退耕还林前减少,总体来看,在实施退耕还林工程后,形成了林地形成了复合群落结构,为动物隐蔽、栖息和繁衍提供良好场所,使物种多样性增加,从而在很大程度上保护了生物多样性。

(2) 儋州市退耕还林工程发挥效益的林地 9 a 产生的初始生态总价值为 73.95 亿元,经相对支付意愿系数 0.30 调整后,退耕还林工程生态效益总价值为 22.18 亿元。其中保护水资源价值为 17.64 亿元,保育土壤价值为 0.81 亿元,固碳制氧价值为 2.38 亿元,净化环境价值为 0.03 亿元,改善小气候价值为 0.64 亿元,保护生物多样性价值为 1.41 亿元。由此看出,儋州市实施退耕还林后,所带来的生态环境效益是十分显著的。

(3) 儋州市退耕还林工程中水土保持效益价值占了相当大的比例,共为 79.87%,其中保育土壤价

值占生态效益总价值 0.40%,保护水资源价值占 79.47%。由此可看出,退耕还林工程在水土保持中发挥极为重要的作用,有效地遏制了当地的水土流失。

### [参 考 文 献]

- [1] 杨会侠,张景根,张雨鹏,等.不同退耕还林模式对地表径流及土壤物理性状影响的研究[J].吉林林业科技,2007,36(4):29-33.
- [2] 郭建英.吴起县退耕还林工程效益的监测与评价研究[D].北京:北京林业大学,2009.
- [3] 李生,张守攻,姚小华,等.黔中石漠化地区不同土地利用方式对土壤环境的影响[J].长江流域资源与环境,2008,17(3):384-389.
- [4] 朗奎建,李常胜,殷有,等.林业生态工程 10 种生态效益计量理论和方法[J].东北林业大学学报,2000,28(1):1-7.
- [5] 侯元兆,李玉敏,朱小龙,等.中国的森林服务市场:现状、潜力与问题[J].世界林业研究,2008,21(1):56-60.
- [6] 侯元兆,王琦.中国森林资源核算研究[J].世界林业研究,1995,3(1):51-56.
- [7] 米锋,李吉跃,杨家伟.森林生态效益评价的研究进展[J].北京林业大学学报,2003,25(6):77-83.
- [8] 杨建波,王利.退耕还林生态效益评价方法[J].中国土地科学,2003,11(5):54-58.
- [9] 刘珉.海南岛橡胶林水分循环的特征研究[D].海口:海南大学,2012.
- [10] 韩美清,王路光,韩灵芝,等.基于影子工程法和影子价格法的河北水环境污染经济损失研究[J].中国水运,2009,2(9):76-78.
- [11] 周冰冰,李忠魁.北京市森林资源价值[M].北京:中国林业出版社,2000.
- [12] 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].绿色经济,2004(3):48-53,64.
- [13] 王引乾.贵州黎平县退耕还林生态效益及其量化评价研究[D].北京:北京林业大学,2012.
- [14] 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.
- [15] 张景哲,刘启明.北京城市气温与下垫面结构关系的时相变化[J].地理学报,1988,43(2):159-168.
- [16] 汪俊三,蔡信德,张更生.中国典型生态区生态破坏经济损失分析和分区[J].环境科学,1996,17(6):5-8.
- [17] 张永利.中国森林生态系统服务功能研究[M].北京:科学出版社,2010.