

# 湟水河流域水源涵养林水源涵养效益评估<sup>\*</sup>

赵串串<sup>1</sup>, 杨乔媚<sup>1</sup>, 丁绍兰<sup>1</sup>, 董旭<sup>2</sup>, 辛文荣<sup>2</sup>

(1. 陕西科技大学 资源与环境学院, 西安 710021; 2. 青海省林业调查规划院, 西宁 810007)

**摘要:**根据截留法估算湟水河流域水源涵养量, 并利用影子工程法、支付意愿法对水源涵养林的涵养总量、经济效益进行了评估。结果表明: 在不同的林分类型中, 土壤单位面积蓄水量大小顺序为: 云杉 > 青杨 > 桦树 > 落叶松 > 灌木; 林下枯枝落物层单位面积蓄水量大小顺序为: 青杨 > 云杉 > 落叶松 > 桦树 > 灌木, 总体来看, 云杉和青杨涵养水分能力较好。流域水源涵养林调节水量为 0.22 亿 t, 根据单位库容造价计算其经济价值 0.60 亿元, 根据平均居民用水价格计算其净化水质价值 0.47 亿元。

**关键词:**湟水河; 水源涵养林; 土壤蓄水量; 枯枝落物蓄水量; 效益评估

中图分类号: S727.21

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2009)04-0160-05

## Assessment of Water Conservation Efficiency of Water Conservation Forest in Huangshui River Basin

ZHAO Chuan-chuan<sup>1</sup>, YANG Qiao-mei<sup>1</sup>, DING Shao-lan<sup>1</sup>, DONG Xu<sup>2</sup>, XIN Wen-rong<sup>2</sup>

(1. College of Resources & Environment, Shanxi University of Science and Technology, Xi'an 710021, China; 2. Qinghai Provincial Forest Inventory and Planning Institute, Xi'ning 810008, China)

**Abstract:** Water conservation mass was studied by using interception method and the economic effect of water conservation forest was assessed by shadow engineering method and Contingent valuation method. The results showed that in different stand types, soil water storage capacity per unit area was sequenced as *Picea asperata*, Cathay Poplar, Betula, Tamarack and Bushes from high to low. Water holding of little per unit area was ranked as Cathay Poplar, *Picea asperata*, Tamarack, Betula and Bushes from high to low. Overall, water-storage fluctuation of *Picea asperata* and Cathay Poplar was better. The water conservation mass of water conservation forest in Huangshui River was 22 million tons. The economic value was 60 million Yuan by per cost of storage capacity and the water purification value was 47 million Yuan by price of per household water consumption.

**Key words:** Huangshui river; water conservation forest; soil water storage water; water holding of little; benefit assessment

水源涵养林具有调节水量和净化水质的功能, 在森林生态系统功能中发挥巨大作用<sup>[1]</sup>。湟水河是黄河上游最大的一级支流, 位于青藏高原与黄土高原的交错地带, 湟水河流域面积占青海省土地面积的 2.3%, 却承担着全青海省 56% 的人口和 48% 的 GDP。据 2006 年最新资料统计, 湟水河流域水资源利用率已达到 57.6% ( $p = 75\%$ ), 缺水 3.94 亿 t<sup>[2]</sup>。水资源短缺已成为制约流域经济和社会可持续发展的主要因素, 成为影响生态环境日益恶化的主要原

因之一。即流域水源涵养林在保持水土资源, 改善流域水质方面, 有着重要的生态效益和经济效益。为此, 对该流域水源涵养林开展林地枯落物和土壤持水蓄水特性研究, 评估不同林型水源涵养能力的大小, 为流域合理配置树种提供参考依据, 有着重要的现实意义。

### 1 研究区域概况

湟水河发源于青海省海晏县, 地理位置 36°02'

\* 收稿日期: 2009-01-20

基金项目: 青海省林业局项目(横向合作项目)

作者简介: 赵串串(1976-), 女, 硕士, 讲师, 主要从事流域水环境模拟与生态环境保护研究。E-mail: sxkjdxzcc@126.com

- 37°28' N 和 100°42' - 103°01' E,青海境内干流长 335.4 km,海拔 1 600 ~ 4 800 m,流经海晏、湟源、西宁、平安、民和等 9 县市,流域面积  $1.61 \times 10^6 \text{ hm}^2$ ,高原干旱、半干旱大陆性气候,多年平均气温 2.8 ~ 7.9、降水量 360 ~ 540 mm(大部分集中在 5 - 9 月)、蒸发量 1 100 ~ 1 800 mm、日照时数 2 480 ~ 2 920 h、无霜期 68 ~ 184 d,河网密度为 0.15 km/km<sup>2</sup>,地貌复杂多样,土壤垂直地带分布,森林覆盖率为 26.3%<sup>[3]</sup>。

## 2 研究区水源涵养林资源现状

流域水源涵养林主要位于拉脊山南坡、达坂山北坡,分布于湟源、湟中、大通、互助、平安、乐都、民和等县。流域水源涵养林分布情况见图 1。优势树种为云杉、青杨、落叶松、桦树、沙棘、柠条、锦鸡儿、金露梅等,部分树种为柏树、油松、榆树等,其他为经济林树种。流域各县市水源涵养林面积,主要林分类型面积见表 1、表 2<sup>[4]</sup>。从表 1 和表 2 可知,流域水源涵养林面积占土地面积的比例为 30.3%,其中灌木林总面积占 62.9%;乔木林总面积占 37.1%,其中桦树占 5.0%、云杉占 3.4%、青杨占 1.5%。

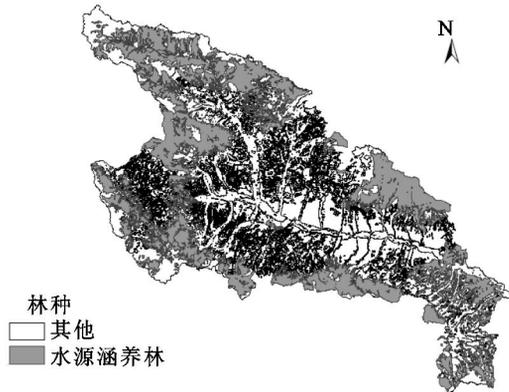


图 1 湟水河流域水源涵养林分布图

表 1 水源涵养林用地面积统计

地区	水源涵养林/万 hm <sup>2</sup>	林地/万 hm <sup>2</sup>	土地/万 hm <sup>2</sup>	森林覆盖率/%
海晏县	8.16	9.07	20.13	13.88
大通县	13.25	15.50	31.87	37.97
湟源县	4.27	6.93	15.13	27.58
湟中县	7.19	12.84	24.83	32.99
西宁市	0.084	1.70	3.38	15.01
互助县	1.67	6.35	11.99	22.50
平安县	1.73	4.94	7.44	23.42
乐都县	8.22	17.85	23.97	24.36
民和县	4.20	10.90	22.30	17.98
合计	48.77	86.08	161.04	26.16

## 3 研究区水源涵养林经济价值估算

### 3.1 估算方法

森林生态系统水源涵养功能是指森林拦蓄降水、涵养土壤水分和补充地下水、调节河川流量等。森林水源涵养量可通过森林截留法计算<sup>[5]</sup>,见式(1)。

$$W = W_{\pm} + W_{枯} \tag{1}$$

式中:W——水源涵养量(t);W<sub>±</sub>——土壤蓄水量(t);W<sub>枯</sub>——枯落物蓄水量(t)。

3.1.1 林地土壤蓄水量估算 林地土壤是储存降雨的主要场所,土壤发育直接受到森林植被的影响,林分不同,林地表层的枯落物构成、地下根系的分布和生长发育也不同,从而引起林地土壤蓄水能力的不同。林地土壤蓄水量是评价不同植物群落下的土壤涵养水源及调节水循环的一个重要指标。估算公式见式(2)<sup>[6]</sup>。

$$W_{\pm} = \sum_{i=1}^n T_i S_i = \sum_{i=1}^n k_i h_i S_i \times 10000 \tag{2}$$

表 2 水源涵养林主要林分类型用地面积统计

地区	乔木					灌木
	云杉	青杨	桦树	落叶松	其他	
海晏县	111.0	86.6	41.3		80900.0	440.7
大通县	4097.2	13.4	4877.5	442.9	2252.3	120816.7
湟源县	407.1	59.2	1312.7		288.5	40632.5
湟中县	1927.6	925.0	8592.6	4.1	11121.1	49329.6
西宁市					7564.7	835.3
互助县	2233.7	704.7	578.7	32.0	3387.5	9763.4
平安县	933.1	274.4	144.6	54.3	1363.6	14530.0
乐都县	6738.0	1446.3	6437.0	109.9	14779.7	52689.1
民和县	65.6	3644.3	2154.6	26.2	18532.3	17577.0
合计	16513.3	7153.9	24139.0	669.4	132629.8	306614.3

式中:  $W_{\pm}$  ——土壤蓄水量(t);  $T_i$  ——第  $i$  种林分土壤蓄水能力(t);  $S_i$  ——第  $i$  种林分的面积( $\text{hm}^2$ );  $k_i$  ——第  $i$  种林分的土壤非毛管孔隙度(%);  $h_i$  ——第  $i$  种林分土壤厚度(m)。

3.1.2 枯落物蓄水量估算 枯枝落叶层是指覆盖在林地矿质土壤表面新鲜的半分解的凋落物,由林地植物地上部分器官或组织枯死脱落后堆积而成,包括叶、枝、树皮、花、果实、种子等。森林的枯落物层在蓄留降雨<sup>[7]</sup>,阻滞和过滤地表径流及减少林地蒸发,改善土壤结构和防止击溅侵蚀等方面有重要的水文作用。估算公式见式(3)<sup>[8]</sup>。

$$W_{\text{枯}} = \sum_{i=1}^n (0.85 R_{im} - R_{i0}) \cdot M_i \cdot S_i \quad (3)$$

式中:  $W_{\text{枯}}$  ——枯落物有效蓄水量(t);  $R_{i0}$  ——第  $i$  种林分的枯落物平均自然含水率(%);  $R_{im}$  ——第  $i$  种林分的枯落物最大持水率(%);  $M_i$  ——第  $i$  种林分的枯落物蓄积量( $\text{t}/\text{hm}^2$ );  $S_i$  ——第  $i$  种林分的面积( $\text{hm}^2$ )。

3.1.3 水源涵养林调节水量的经济价值估算 调节水量的经济价值,利用影子工程法和支付意愿法估算<sup>[9]</sup>,见式(4)。

$$H_1 = I \cdot W \cdot P_{\text{库}} \quad (4)$$

式中:  $H_1$  ——水源涵养林调节水量的价值(元);  $W$  ——水源涵养量(t);  $P_{\text{库}}$  ——目前的库容造价

(元/t);  $I$  ——发展阶段系数,根据皮尔生长模型计算,见式(5)。

$$I = \frac{1}{1 + e^{-t}} \quad (5)$$

式中:  $I$  ——发展阶段系数;  $t$  ——时间。

3.1.4 水源涵养林净化水质的经济价值计算 水源涵养林净化水质的经济价值计算见式(6)。

$$H_2 = W \cdot P_{\text{水}} \quad (6)$$

式中:  $H_2$  ——水源涵养林净化水质的经济价值(元);  $W$  ——水源涵养量(t);  $P_{\text{水}}$  ——居民用水平均价格(元/t)。

### 3.2 数据来源

于2008年5月,通过现地踏查,选择流域内有代表性的云杉、青杨、桦树、落叶松和灌木森林植被类型,建立乔木林样地4个(20 m × 20 m),每个样地采用S法设立样方5个(5 m × 5 m),进行每木检尺,记录其林龄、郁闭度、树高、胸径等指标,每个样方内设立枯枝落叶收集框架(1 m × 1 m),进行土壤样品采集与分析;建立灌木样地1个(10 m × 10 m),记录其盖度、树种等指标,进行土壤样品采集与分析。2008年11月,进行枯枝落叶收集,并测定其厚度及相关持水指标。样地基本情况,见表3。

表3 研究区各样地基本情况

林分类型	GPS坐标点			样地面积/ (m × m)	林龄/ a	郁闭度/ %	平均树高/ m	平均胸径/ cm	枯落物 厚度/cm
	x	y	z						
云杉	17761403	4026176	2817	20 × 20	80	75	16	35	3.7
青杨	17761920	4027120	2740	20 × 20	40	60	11	19	3.4
桦树	17827907	4061532	2800	20 × 20	14	20	6.2	5.6	1.0
落叶松	17747355	4118011	3035	20 × 20	30	28	8	13	0.8
灌木	17730658	4118235	3168	10 × 10		65			0.6

### 3.3 估算结果与分析

3.3.1 林地土壤蓄水量估算与分析 不同森林类型土壤的物理性质差异直接影响土壤水分的储蓄方式和蓄存量,关系到涵养水源潜能的强弱。在各样地中采集0 - 20 cm土层的土壤铝盒样品和环刀样

品,带回室内,进行土壤含水量、持水量和孔隙度的测定,并计算各种物理性状和持水能力指标<sup>[10-11]</sup>。计算单位面积蓄水量,结合林型面积,估算总蓄水量。不同林分类型土壤物理性质测定结果与蓄水量估算结果见表4。

表4 样地不同林分类型土壤物理性质与蓄水量比较

林分类型	容重/ ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )	土壤厚度/ cm	非毛管孔隙度/ %	单位面积蓄水量/ ( $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ )	林型面积/ 万 $\text{hm}^2$	总蓄水量/ 万 t
云杉	0.85	20	10.72	1072	1.65	351.7
青杨	0.92	20	8.95	895	0.72	126.5
桦树	1.48	20	3.22	322	2.41	155.2
落叶松	0.63	20	6.91	691	0.07	9.3
灌木	1.56	20	2.11	211	30.66	1292.1
合计					35.51	1934.8

由表 4 可以看出,云杉林土壤每公顷蓄水量为 1 072 t,灌木林土壤每公顷蓄水量仅为 211 t,蓄水量低于云杉林 861 t/hm<sup>2</sup>。云杉林的面积为 1.65 万 hm<sup>2</sup>,灌木林的面积为 30.66 万 hm<sup>2</sup>,所以计算所得云杉林总蓄水量低于灌木林 940.4 万 t。湟水河流域水源涵养林土壤总蓄水量为 0.19 亿 t。在不同的林分类型中,土壤单位面积蓄水量大小顺序为云杉 > 青杨 > 桦树 > 落叶松 > 灌木,青杨和云杉林土壤的蓄水能力最强。林地土壤蓄水能力决定于非毛管孔隙度和毛管孔隙度。毛管孔隙度的作用是吸持贮存水分,这部分被保持的水对江河水流和供应地下水不起作用,主要被植物吸收和蒸发散消耗。非毛管孔隙度是暂时性滞留贮存,能容纳暴雨、减少地

表径流的产生、补充地下水和河道、沟道水流。因此,森林土壤蓄水能力的大小主要取决于森林土壤非毛管孔隙度。非毛管孔隙度决定土壤的通透性,非毛管孔隙度越大,土壤透气性越好,有利于降水的下渗,降水产生的地表径流就越小。

3.3.2 林下枯落物蓄水量估算与分析 林种不同,枯落物的吸水能力有很大差异,而枯落物的储量、分解能力等也是影响枯落物吸水能力的主要因素。通过布设样地,现场采集枯枝落物样方,测定其蓄积量、自然持水率、最大持水率,计算了流域单位面积有效蓄水量,结合流域各树种的分布及其总面积,估算其总有效蓄水量。样地枯落物相关指标测定与蓄水量估算结果见表 5。

表 5 样地不同林分类型枯落物特性与蓄水量比较

林分类型	蓄积量/ (t·hm <sup>-2</sup> )	最大持水率/ %	自然含水率/ %	单位面积有效蓄水量/ (t·hm <sup>-2</sup> )	林型面积/ 万 hm <sup>2</sup>	总有效蓄水量/ 万 t
云杉	28.7	187.9	72.2	25.1	1.65	41.4
青杨	32.8	340.4	87.9	66.1	0.72	47.6
桦树	18.2	140.5	60.7	10.7	2.41	25.8
落叶松	24.4	180.6	65.8	21.4	0.07	1.5
灌木	12.4	109.4	46.8	5.7	30.66	174.8
合计					35.51	291.1

从表 5 可知,青杨林下枯落物的单位面积有效蓄水量最大,为 66.1 t,其次是云杉林,为 25.1 t,最小的是灌木林,为 5.7 t。而流域乔木林与灌木林总蓄水量分类统计,因灌木林的面积最大,为 30.66 万 hm<sup>2</sup>,灌木林下枯落物的总有效蓄水量最大,为 174.8 万 t。湟水河流域水源涵养林主要林分的林下枯枝落物的总有效蓄水量为 291.1 万 t。总体来看,在不同的林分类型中,林下枯枝落物层单位面积蓄水量大小顺序为青杨 > 云杉 > 落叶松 > 桦树 > 灌木,青杨和云杉林下枯枝落物的蓄水能力最强。

3.3.3 水源涵养林经济价值估算 水源涵养林效益评价目前研究较多的是水源涵养效能和防止泥沙流失效益的评价。水源涵养的效能计量是按照森林土壤的降水贮存量而进行的,如果用水库得到这种降水贮存量效益,可以将其所需经费作为标准来评价水源涵养林效益。

据统计<sup>[12]</sup>,流域人均年总消费支出 6 245.3 元,其中人均年食品消费支出 2 267.4 元,计算恩格尔系数为 36.3%。从式(5)中推导得出发展阶段系数为 0.45。库容造价根据 1993 - 1999 年《中国水利年鉴》平均水库库容造价为 2.17 元/t,折算为目前单位库容造价为 6.11 元/t;采用网格法得到全国各大中城市的居民用水价格的平均值为 2.09 元/t

<sup>[13]</sup>,湟水河流域水源涵养林蓄水总量为 0.22 亿 t,从式(4)、式(6)中计算出不同林分类型的水源涵养林间接经济价值见表 6。

表 6 水源涵养林主要林分类型经济价值 万元

项目	云杉	青杨	桦树	落叶松	灌木	总价值
调节水量	1061.4	470.07	488.70	29.16	3960.63	6009.93
净化水质	821.58	363.87	378.29	22.57	3065.82	4652.13

从表 6 可知,灌木林调节水量和净化水质的经济价值最大,分别为 0.35 亿元、0.31 亿元,其次是云杉林、桦树林,而落叶松林的经济价值最小。根据平均库容造价、居民用水价格计算,湟水河流域水源涵养林调节水量的经济价值为 0.60 亿元,净化水质的经济价值为 0.47 亿元。

## 4 结论与建议

### 4.1 结论

基于以上计算与分析,湟水河流域水源涵养林调节水量 0.22 亿 t,根据单位库容造价计算其经济价值 0.60 亿元,根据居民用水价格计算其净化水质价值 0.47 亿元。在不同的林分类型中,土壤单位面积蓄水量大小顺序为云杉 > 青杨 > 桦树 > 落叶松 > 灌木,林下枯枝落物层单位面积蓄水量大小顺序为青杨 > 云杉 > 落叶松 > 桦树 > 灌木。由于灌木林占

地面积最大,因此其涵养水源总量最大,占 66%。总体来看,湟水河流域水源涵养林中云杉和青杨涵养水分能力最好。

#### 4.2 建议

(1) 与湟水河流域现阶段的缺水量 3.94 亿 t 相比较,水源涵养林涵养水量远远不能满足该区域用水的需要。为增加该流域水资源总量、改善水质、保证工农业和城镇生活用水,必须加大水源涵养林建设工程,增加云杉、青杨的乔木林种植面积,在一定区域内恢复与重建森林生态系统,不断增强森林植被在水资源保护和配置中的作用。

(2) 加强现有天然林的保护,通过人工造林、封山育林、低效林分改造等措施,扩大森林面积,提高森林质量和生态功能,建设完善的水源涵养林管理体系。

(3) 进一步利用国家的生态补偿调节机制,调整生态环境保护和建设相关各方之间的利益关系,实现湟水河流域森林生态系统的可持续发展战略。

#### 参考文献:

[1] 王佑民. 我国林冠降水再分配研究综述[J]. 西北林学院学报, 2000, 15(3): 1-7.  
 [2] 青海省林业局. 青海湟水河流域生态建设与保护发展

战略研究[Z]. 2006.

[3] 赵串串,董旭,辛文荣,等. 青海湟水河流域水土流失原因及防治措施分析[J]. 水土保持研究, 2008, 15(6): 200-203.  
 [4] 青海省林业局. 青海省森林资源二类调查报告[R]. 2005.  
 [5] 姜东涛. 森林生态效益估测与评价方法的研究[J]. 华东森林经理, 2000, 4(4): 14-19.  
 [6] 李银霞. 祁连山自然保护区森林生物多样性经济价值评估[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2002.  
 [7] 常宗强,王金叶,常学向,等. 祁连山水源涵养林枯枝落叶层水文生态功能[J]. 西北林学院学报, 2001, 16(S): 8-13.  
 [8] 刘硕. 青海省大通县主要造林树种枯落物水文效应研究[J]. 水土保持研究, 2008, 15(6): 105-107.  
 [9] 张永涛. 黄前流域不同配置经济林防护林水源涵养功能与价值评估[D]. 泰安: 山东农业大学, 2005.  
 [10] 张静,常庆瑞. 渭北黄土高原不同林型植被对土壤肥力的影响[J]. 水土保持通报, 2006, 26(3): 26-28, 62.  
 [11] 牛贇,敬文茂. 祁连山北坡主要植被下土壤异质性研究[J]. 水土保持研究, 2008, 15(4): 258-260, 263.  
 [12] 青海省统计局. 2006 青海统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2007.  
 [13] 张向辉,王清春,李瀚,等. 青海东峡林区森林生态系统服务功能及经济价值评估[J]. 北京林业大学学报, 2002, 24(4): 85-87.

(上接第 159 页)

(4) 与清耕相比,砂石覆盖能提高土壤水分含量及稳定性,但随土层深度的加深,作用逐渐减弱。

(5) 在年周期内,土壤水分在不同层次上分布差异,8 月土壤剖面不同层次含水量差异最大,11 月次之,5 月再次之,1 月土壤不同层次含水量差异最小。

#### 参考文献:

[1] 杨振锋,丛佩华,聂继云,等. 我国苹果产业现状、存在问题及建议[J]. 北方果树, 2006(5): 34-36.  
 [2] 郝淑英,刘蝴蝶,牛俊玲,等. 黄土高原区果园生草覆盖对土壤物理性状、水分及产量的影响[J]. 土壤肥料, 2003(1): 25-27.  
 [3] 平全荣. 旱地农业覆盖栽培技术研究应用进展与展望[J]. 山西农业科学, 2007, 36(2): 63-66.  
 [4] 李会科,赵政阳,张广军. 种植不同牧草对渭北苹果园肥力的影响[J]. 西北林学院学报, 2004, 19(2): 31-34.  
 [5] 兰彦平,曹慧,解自典,等. 无芒雀麦对石灰岩旱地果园的保水效应[J]. 落叶果树, 2000(6): 15-16.  
 [6] 徐明岗,文石林,高菊生. 红壤丘陵区不同种草模式的水土保持效果与生态环境效应[J]. 水土保持学报,

2001, 15(1): 77-80.

[7] 赵政阳,李会科. 黄土高原旱地苹果园生草对土壤水分的影响[J]. 园艺学报, 2006, 33(3): 481-484.  
 [8] 郝明德. 黄土高原沟壑区农业生态经济系统研究[C]// 郝明德,梁银丽. 长武农业生态系统结构、功能及调控原理与技术. 北京: 气象出版社, 1998: 3-14.  
 [9] 黄昌勇. 土壤学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2002: 102.  
 [10] 蒲金涌,姚小英,贾海源. 甘肃陇西黄土高原旱作区土壤水分变化规律及有效利用程度研究[J]. 土壤通报, 2005, 36(4): 483-486.  
 [11] Smith A. J. Bryophyte Ecology [M]. London: Chapman, 1982: 59-104.  
 [12] Michael J. Singer & Donald N. Munns. Soils: an introduction [M]. New Jersey: Upper Saddle River, 5th edition, 2002: 51-54.  
 [13] 李洪建,王孟本,柴宝峰. 黄土高原土壤水分变化的时空特征分析[J]. 应用生态学报, 2003, 14(4): 515-519.  
 [14] 冉伟. 渭北旱塬果园生态系统演变研究[D]. 杨陵: 西北农林科技大学, 2008: 27.  
 [15] 王锐,刘文兆,李志. 黄土塬区 10 m 深剖面土壤物理性质研究[J]. 土壤学报, 2008, 45(3): 550-554.