

# 岷江上游地区近 30 年森林生态系统 水源涵养量与价值变化\*

张文广<sup>1,2</sup> 胡远满<sup>1\*\*</sup> 张 晶<sup>1,2</sup> 刘 森<sup>1,2</sup> 杨兆平<sup>1,2</sup> 常 禹<sup>1</sup> 李秀珍<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> 中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110016; <sup>2</sup> 中国科学院研究生院, 北京 100039)

**摘 要** 根据岷江上游地区自然地理环境条件的差别, 将该区森林植被划分为暗针叶林、其它针叶林、阔叶林和灌木林等 4 个类型, 利用年降雨量、林冠截流量数据、径流系数以及“影子价格”等方法, 计算和评述了该区森林生态系统水源涵养效益, 并利用遥感 4 期影像分析了岷江上游地区森林生态系统水源涵养量的变化原因。结果表明 2000 年岷江上游森林生态系统年水源涵养量最高, 为  $1.3892 \times 10^{10} \text{ m}^3$ , 经济价值为 93.07 亿元。去除降雨量的影响后, 在各时期年降雨量为 705 mm 的情况下, 岷江上游地区 1986 年的水源涵养量最高, 为  $1.3348 \times 10^{10} \text{ m}^3$ , 经济价值为 89.43 亿元, 1995 年水源涵养量下降, 为  $1.2320 \times 10^{10} \text{ m}^3$ , 经济价值为 82.54 亿元。2000 年水源涵养量及经济价值与 1995 年基本持平。造成这一现象的主要原因是 20 世纪 90 年代岷江上游森林景观受到人为的严重破坏, 而随后实施的“天然林保护工程”与“退耕还林还草”政策, 加强了人工植被恢复建设, 改善了森林生态系统, 使森林生态系统水源涵养量有所恢复。

**关键词** 森林生态系统; 水源涵养; 经济价值; 岷江上游

中图分类号 S718.5 文献标识码 A 文章编号 1000-4890(2007)07-1063-05

**Forest water conservation and its benefits in upper reaches of Minjiang River in recent 30 years.** ZHANG Wen-guang<sup>1,2</sup>, HU Yuan-man<sup>1</sup>, ZHANG Jing<sup>1,2</sup>, LIU Miao<sup>1,2</sup>, YANG Zhao-ping<sup>1,2</sup>, CHANG Yu<sup>1</sup>, LI Xiu-zhen<sup>1</sup> (<sup>1</sup> Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China; <sup>2</sup> Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China). *Chinese Journal of Ecology* 2007 26(7):1063-1067.

**Abstract:** Based on the differences of physical geography, the forest in the upper reaches of Minjiang River was divided into four types, *i. e.*, dark coniferous forest, other coniferous forests, broadleaf forest, and shrubbery. The benefits of water conservation by these forest types were calculated by using relevant indicators such as annual rainfall, crown cover interception, runoff coefficient, and ‘shadow price’, and the variations in water conservation were analyzed according to the four remote sensing images in different times. The results indicated that in 2000, the annual water conservation by the forest ecosystems was  $1.3892 \times 10^{10} \text{ m}^3$ , and the economic value was 93.07 hundred million Yuan RMB. After deducting the rainfall effect, the annual water conservation and economic value were  $1.3348 \times 10^{10} \text{ m}^3$  and 89.43 hundred million Yuan RMB in 1986, and  $1.2320 \times 10^{10} \text{ m}^3$  and 82.54 hundred million Yuan RMB in 1995, respectively, with the water conservation and economic value in 2000 being at the similar levels in 1995. The main reason of these variations was that in 1990s, the forest landscape in the upper reaches of Minjiang River was severely destroyed by human activities, while the policies ‘protecting natural forest’ and ‘returning cultivated land into forest- and grassland’ implemented subsequently promoted the establishment of artificial vegetation, improved forest ecosystem, and gradually restored the water conservation by forest ecosystem.

**Key words:** forest ecosystem; water conservation; economic value; upper reaches of Minjiang River.

\* 国家重点基础研究发展规划资助项目(2002CB111506)。

\*\* 通讯作者 E-mail: huym@iae.ac.cn

收稿日期: 2006-07-11 接受日期: 2007-04-06

## 1 引言

森林以其繁茂的林冠层、林下的灌草层、枯枝落叶层和疏松而深厚的土壤层,建造了完美的截持和蓄储大气降水的良好环境,从而对大气降水进行重新分配和有效调节,发挥着森林生态系统特有的水源涵养功能(邓坤枚等 2002;陈东立等 2005)。森林植被涵养水源的生态功能一直是社会关注的重大问题,也是当今生态科学研究的热点。森林生态系统的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、调节河川流量功能。森林水源涵养功能与森林所处的当地气候条件、林地枯落层状况、土壤性质及地质结构关系密切,是森林和降水、土壤等共同作用的结果。近年来国内外对森林生态系统的服务功能作了大量的报道。Guo等(2001)对我国湖北兴山县生态系统的服务功能进行了报道。Hamid等(2006)利用评估方法对伊朗北部森林系统价值进行了探讨。我国学者也对森林生态系统的生态服务功能进行了评估(薛达元,1997;欧阳志云等,1999;肖寒等,2000;慕长龙和龚固堂,2001;关文彬等,2002;焦彩霞等,2002;陈国阶等,2005;董铁狮等,2005;罗传秀等,2005;苗毓鑫等,2006;朱继鹏等,2006)。

岷江上游地区位于长江上游四川省西北部,地处四川盆地丘陵山地向川西北高原的过渡地带,属高山峡谷区。其地表起伏巨大,相对高差达1000 m以上。该区地质活动频繁,地形地貌类型复杂多样,气候与植被垂直分异明显,生物多样性丰富,具有强大的涵养水源、保持水土的生态功能,是长江上游生态屏障的重要组成部分,成都平原的水源生命线。但近几十年来,该区域植被的大量砍伐和不合理利用,导致水土流失严重,自然灾害频繁等一系列生态失调问题。在我国脆弱生态环境类型划分中,属于南方山地脆弱生态环境之列(叶延琼等,2002)。为了评估岷江上游森林生态系统涵养水源的生态功能,制定当地的生态管理方案,本文利用森林生态系统对雨水的截流率、降雨量和径流量对岷江上游地区近30年的水源涵养量和经济价值进行探讨。

## 2 研究地区与研究方法

### 2.1 自然概况

岷江上游指岷江流域都江堰以上区域,位于 $102^{\circ}59'$ — $104^{\circ}14'E$ 、 $31^{\circ}26'$ — $33^{\circ}16' N$ 、其范围与四

川省阿坝藏族羌族自治州的汶川县、理县、茂县、黑水和松潘5县的行政辖区基本重合,全流域面积 $2.2564 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。按自然区划,大致以松潘南部的镇江关向西至黑水一线以北为高原地貌,以南为高山峡谷;由于综合自然因素的影响,导致物种的多样性、植被多样化和有规律的垂直分异;海拔1600~2000 m为阔叶林,主要以桦(*Betula L.*)、槭(*Acer L.*)、栎树(*Quercus L.*)等占优势。海拔2000~2600 m为针阔叶混交林,有铁杉(*Tsuga chinensis*)、云杉(*Picea asperata*)、落叶松(*Larix*)和华山松(*Pinus armandii*)等针叶树种;海拔2600~3600 m为针叶林,针叶树种主要为岷江冷杉(*Abies faxoniana*)和四川落叶松(*Larix mastersiana*);海拔3600以上为灌丛和草甸,灌丛以暗叶杜鹃(*Rhododendron amundsenianum*)和川滇高山栎(*Quercus aquifolioides*)为主。河谷地带植被覆盖少;由云杉、冷杉和落叶松组成的亚高山针叶林,是本区主要的森林类型,林木生长良好,构成长江流域得天独厚的大自然保护屏障。

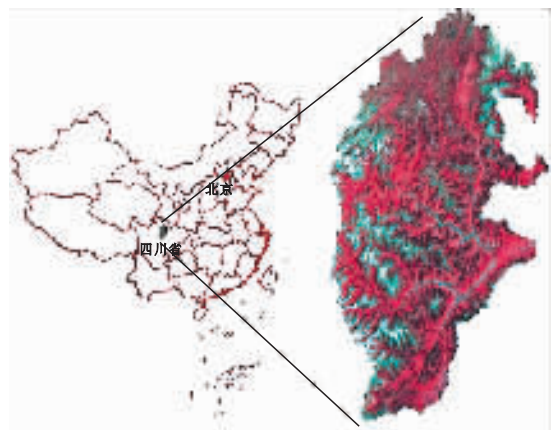


图1 岷江上游地理位置示意图

Fig. 1 Position of the upper reaches of Minjiang River

### 2.2 研究方法

**2.2.1 数据来源** 本文利用20世纪70年代末期的Landsat MSS,80年代、90年代中期和20年代的Landsat TM等4个时期的图像数据来研究岷江上游地区近30年森林生态系统的变化情况,利用地理信息系统软件来对信息进行提取,同时参考地形图、区域专题资料,以此对岷江上游地区的森林生态系统水源涵养进行评估并分析导致这一变化的原因。

**2.2.2 森林生态系统年水源涵养量的估算方法** 森林生态系统水源涵养量是指森林林冠层截留储量和

森林土壤对水分的拦截、渗透与储藏雨水的数量。通常情况下, 降落到森林中的雨滴, 受到林冠的截留, 引起降雨的再分配: 降雨的一部分首先到达树冠的叶、枝、干表面, 由于表面张力和重力的均衡作用而被吸附或积蓄在枝、叶的分杈处。这部分保留下来的雨水有一部分直接蒸发返回大气中, 被称为附加截留量; 有一部分随着保留雨量的增加导致表面张力和重力失去平衡, 自然地或由于风吹动而从林冠滴下, 这部分雨量被称为林冠滴下雨量; 降雨的另一部分则顺着枝条、树干流到地面, 这部分雨量被称为树干截留量。降落到森林中的雨滴还有一部分未接触到树体, 直接穿过林冠间隙落到林地上, 这部分雨量被称为冠下雨量。此外, 树体还吸收比例很小的一部分雨量即树干容水量。当一次连续降雨终止时, 被林冠拦截储留在枝叶上的一部分雨量称为林冠截留储量。即林冠截留量是林冠截留储量、附加截留量和树干容水量之和。林冠对降雪的截留, 其方式大致和降雨截留相同。因此森林生态系统对水源的涵养分为两大部分: 林冠截留量和土壤涵养量。

林冠层截留量可通过降雨量和林冠对降雨的截流率等关系来计算, 公式表达为:

$$W_i = \sum PS_i I_i \times 10 \quad (1)$$

式中:  $W_i$  为研究区域的林冠层截留量 ( $m^3$ );  $P$  为研究区域的年降雨量 ( $mm$ );  $S_i$  为第  $i$  类森林类型的面积 ( $hm^2$ ) (表 1);  $I_i$  为第  $i$  类森林的林冠截流率 (梁建民等, 1980; 刘向东, 1982; 张增哲和余新晓, 1988) (表 2)。

表 1 岷江上游不同时期各类森林面积 ( $\times 10^4 hm^2$ )  
Tab. 1 Various woodland area in the upper reaches of Minjiang River in different stages

年份	落叶林	针阔混交林	针叶林	灌木林	合计
1974	18.1	22.9	94.7	33.2	168.9
1986	15.7	21.3	98.7	46.9	182.6
1995	15.1	20.5	85.4	49.1	170.1
2000	13.8	19.7	84.1	52	169.6

表 2 各森林类型林冠对降雨量的截流率 (%)  
Tab. 2 Crown cover interception rate of different forest types on the rainfall

项目	阔叶林	针阔混交林	针叶林	灌木林
截流率	31.2	27.8	29.9	19.6

土壤涵养量可以通过年径流量来表示, 即 涵养水源总量 = 年径流量 ( $mm \cdot a^{-1}$ )  $\times$  森林面积 = 径流系数  $\times$  年均降水量  $\times$  森林面积。其中径流系数是根据多年平均降雨量、多年平均蒸散量综合地形因子对多个小流域的提取、分析得出的多年平均径流系数, 值为 0.62, 森林面积为整个地区乔木林面积与灌木林面积之和。因此, 森林生态系统水源涵养量 = 林冠截留量 + 土壤涵养量。

2.2.3 森林生态系统水源涵养价值的估算方法 森林生态系统水源涵养的价值是指单位森林面积的年水资源涵养量的经济价值, 是森林通过截流降雨, 阻拦和含蓄径流后而产生的水资源的经济价值。本文利用水的影子价格乘以涵养水源总量即得森林生态系统涵养水源的价值。水的影子价格取得方法有 6 种: 1) 根据水库的蓄水成本确定; 2) 根据供应水的价格确定; 3) 根据电能生产成本确定; 4) 根据级差地租确定; 5) 根据区域水源运费确定; 6) 根据海水淡化费确定。本文根据水库的蓄水成本法确定水的影子价格。公式为:

$$W_m = W_i \times 0.67 \quad (2)$$

式中,  $W_m$  为水源涵养价值, 0.67 元为 1988—1991 年全国水库建设投资预算的每建设  $1 m^3$  库容需投入成本费。

### 3 结果与分析

#### 3.1 森林生态系统的年水源涵养量

本文的森林生态系统的水源涵养量是指森林生态系统对降雨量的保持及调节岷江流量的水资源量。它是根据以往对各种森林类型截流雨水及森林土壤涵养水源的状况, 利用森林截留量加上土壤涵养量后的水资源量。

利用各森林类型水源截留率、森林面积和径流系数, 经过式(1)和土壤涵养量的分析、计算和汇总, 得到岷江上游各时期森林生态系统的年水源涵养量。从表 3 可以看出, 水源涵养量最多的时期为 2000 年, 涵养量为  $1.3892 \times 10^{10} m^3$ , 最少的时期为 1995 年, 水源涵养量为  $1.1970 \times 10^{10} m^3$ 。然而从表 1 和表 3 可以看出, 产生这一现象的根本原因不是由于 2000 年森林生态系统面积增加, 而是由于年降雨量增多造成的。可见森林生态系统水源涵养量受到森林面积和降雨量的双重影响。

假定森林与其他各类型土地的年蒸发量相同,

表3 岷江上游森林生态系统水源涵养量(  $\times 10^4 \text{ m}^3 \text{ mm}$  )

Tab.3 Water conservation of forest ecosystem in upper reaches of Minjing River

年份	阔叶林	针阔混交林	针叶林	灌木林	截留量合计	土壤涵养量	水源涵养量	年降雨量
1974	39829.70	44900.81	199707.81	233485.33	517923.65	738576.05	1256499.71	705.3
1986	33485.46	40478.69	201739.25	244657.71	520361.11	773917.23	1294278.34	683.6
1995	32271.72	39038.15	174912.01	228376.26	474598.14	722414.70	1197012.84	685
2000	34509.38	43894.95	201544.39	266431.42	546380.15	842793.28	1389173.43	801.5

### 3.2 经济价值评估

森林涵养水源的价值是指森林通过对降雨的截流、减少地表径流,使雨水转变为地下水,从而不断地涵养水源,稳定河流流量,使本地区及其中下游的地区增加社会效益、生态效益和经济效益。本文着重探讨经济效益。利用式(2)得出:2000年水源涵养量的经济价值最大,为93.07亿元;其次是1986年,为86.72亿元;1995年水源涵养量的价值最小,为80.20亿元(表4)。

### 3.3 降雨标准化

为了消除降雨量对水源涵养量的影响,假定降

雨量相同,对比得出岷江上游不同时期森林生态系统变化对水源涵养量及其价值的影响(表5)。

表4 森林生态系统涵养水源的年经济效益

Tab.4 Economic benefits of water conservation by forest ecosystem

年份	水源涵养量 ( $\times 10^4 \text{ m}^3$ )	经济价值 (亿元)	年降雨量 (mm)	森林面积 ( $\times 10^4 \text{ hm}^2$ )
1974	1256499.71	84.19	705.3	168.9
1986	1294278.34	86.72	683.6	182.6
1995	1197012.84	80.20	685	170.1
2000	1389173.43	93.07	801.5	169.6

表5 降雨量相同情况下水源涵养量及经济价值(  $\times 10^4 \text{ m}^3$ ,  $\times 10^8$  元, mm )

Tab.5 Water conservation and economic benefits under the same rainfall

年份	落叶林	针阔混交林	针叶林	灌木林	林冠截留量	土壤涵养量	水源涵养量	经济价值	降雨量
1974	39812.76	44881.71	199622.87	233386.02	517703.36	738261.90	1255965.26	84.15	705.00
1986	34533.72	41745.87	208054.67	252316.68	536650.94	798144.60	1334795.54	89.43	705.00
1995	33213.96	40177.95	180018.93	235044.18	488455.02	743507.10	1231962.12	82.54	705.00
2000	30354.48	38610.03	177278.60	234353.28	480596.39	741321.60	1221917.99	81.87	705.00

从表5可见,岷江上游地区在1986年水源涵养量最高,约为 $1.3348 \times 10^{10} \text{ m}^3$ ,经济价值为89.43亿元;1995年水源涵养量下降,约为 $1.2320 \times 10^{10} \text{ m}^3$ ,经济价值为82.54亿元;2000年水源涵养量及经济价值与1995年基本持平。造成这一现象的主要原因是20世纪90年代岷江上游森林景观受到人为的严重破坏,随后,实施“天然林保护工程”与“退耕还林还草”的政策,加强了人工造林,改善了森林生态系统,使森林生态系统水源涵养量有所恢复。

## 4 结论

通过对岷江上游4个时期的遥感影像分析与野外调查的结合得出:岷江上游森林生态系统面积以1986年最多,约为 $1.826 \times 10^6 \text{ hm}^2$ ,水源涵养量约为 $1.2943 \times 10^{10} \text{ m}^3$ ,经济价值约为86.72亿元;1995年与2000年森林生态系统面积基本一致,反映了实施“天然林保护工程”与“退耕还林还草”的政策后,岷江上游地区森林生态系统对水源的涵养量基本达

到了1995年的水平,取得了良好的生态效益和经济效益。

### 参考文献

- 陈东立,余新晓,廖邦洪. 2005. 中国森林生态系统水源涵养功能分析. 世界林业研究,18(1):49-54.
- 陈国阶,何锦峰,涂建军. 2005. 长江上游生态服务功能区差异研究. 山地学报,23(4):406-411.
- 邓坤枚,石培礼,谢高地. 2002. 长江上游森林生态系统水资源涵养量与价值的研究. 资源科学,24(6):68-73.
- 董铁狮,党宏忠,赵雨森,等. 2005. 黑龙江省东部水源区植被土壤水源涵养功能分析. 水土保持通报,25(5):28-1,36.
- 关文彬,王自力,陈建成,等. 2002. 贡嘎山地区森林生态系统服务功能价值评估. 北京林业大学学报,24(4):80-4.
- 焦彩霞,孙根年,任志远. 2002. 渭北高原植被水源涵养功能及价值测评. 山地学报,20(5):583-588.
- 梁建民,毛士英,刘采堂. 1980. 林冠截留降雨的观测试验研究. 地理集刊,12:39-52.
- 刘向东. 1982. 对六盘山森林截留降水作用的研究. 林业科技通讯,(3):18-21.

- 罗传秀,潘安定,夏丽华. 2005. 鼎湖山森林生态服务功能及保护对策. 防护林科技, (5):34-36.
- 苗毓鑫,王顺利,成彩霞. 2006. 祁连山水源涵养林区森林覆盖率对河川径流的影响. 甘肃科技, 22(1):15-18.
- 慕长龙,龚固堂. 2001. 长江中上游防护林体系综合效益的计量与评价. 四川林业科技, 22(1):15-23.
- 欧阳志云,王效科,苗 鸿. 1999. 中国陆地生态系统功能及其生态经济价值的初步研究. 生态学报, 10(5):607-613.
- 肖 寒,欧阳志云,赵景柱. 2000. 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林为例. 应用生态学报, 11(4):481-484.
- 薛达元. 1997. 生物多样性经济价值评估——长白山北坡自然保护区案例研究. 北京:中国环境科学出版社:95-97.
- 叶延琼,陈国阶,樊 宏. 2002. 岷江上游脆弱生态环境刍论. 长江流域资源与环境, 11(4):383-387.
- 张增哲,余新晓. 1988. 中国森林水文研究现状与主要成果. 北京林业大学学报, 10(2):79-87.
- 朱继鹏,王 芳,高甲荣. 2006. 吉县蔡家川流域不同森林植被的林地水源涵养功能. 水土保持研究, 13(1):111-113,125.
- Guo ZW, Xiao XM, Gan YL. 2001. Ecosystem functions, services and their values - A case study in Xingshan County of China. *Ecological Economics*, 38:141-154.
- Hamid A, Sadegh K, Mohammad H, et al. 2006. Estimating the existence value of north forests of Iran by using a contingent valuation method. *Ecological Economics*, 58:665-675.
- 
- 作者简介 张文广,男,1978年生,博士研究生。主要从事景观生态学方面研究。E-mail: zhangwenguang7989@hotmail.com
- 责任编辑 王 伟
-