

岷江上游森林涵养水源的能力变化分析

满正闯^{1,2}, 苏春江¹, 徐 云¹, 刘兴亮^{1,2}, 张金盈³

(1. 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 成都 610041;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100049; 3. 山东省国土测绘院, 济南 250013)

摘 要:为探讨森林植被变化对水文方面的影响, 客观评价近年来退耕还林等生态建设所取得的功效, 以岷江上游为对象, 根据森林植被、枯期径流等的变化, 找出其间的关联和相应的规律。利用森林涵养水源能力的评价指标: 流域最小月平均流量与年径流量之比, 得出了各年段的涵养指数, 并将其变化趋势与森林植被、枯期径流相比较。结果表明, 森林涵养水源的能力与森林面积有很大的相关性, 它随森林面积的减少而降低, 随森林面积的增加而升高; 尽管岷江上游森林植被遭到严重破坏, 但从总体来讲, 岷江流域涵养水源的能力还是特别强的, 径流变化平稳, 枯期水量相对丰富; 退耕还林工程功效显著, 大面积的退耕还林提高了涵养水源的能力, 增加了枯期径流量, 增强了岷江上游的生态环境安全。

关键词:岷江上游; 森林植被; 水源涵养; 变化分析

中图分类号: S727.21

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2007)03-0223-03

An Analysis on Water Conservation Capacity Variation of Forest in the Upper Reaches of Minjiang River

MAN Zheng-chuang^{1,2}, SU Chun-jiang¹, XU Yun¹, LIU Xing-liang^{1,2}, ZHANG Jin-ying³

(1. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences & Water Resources Ministry, Chengdu 610041, China;

2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

3. Shandong Land Mapping Institute, Jinan 250013, China)

Abstract: Aiming to explore the impact on hydrological properties caused by forest coverage variation, and provide an objective estimation on the efficiency of ecological projects, such as forest restoration, the upper reaches of Minjiang River was selected as research area. According to the variation of forest vegetation, low runoff etc., correlation and corresponding low were concluded. Resort to evaluation water conservation capacity indices of forest, ratio of lowest month runoff in drainage area and yearly runoff, the conservation capacity index in each year was estimated. Then compare trend of index with forest vegetation and low water time slice. Result shows that there is high correlation between water conservation capacity of forest and forest area. With the reduction of forest, the water conservation capacity of forest weakened; and with an increase in forest coverage, it strengthened. Though a serious destroy in the upper reaches of Minjiang River, generally, the water conservation capacity in this area still strong, variation of runoff in a stable situation, and a comparatively rich runoff still exists. All of this confirms that the forest restoration project gain remarkable effect, restoring forest in large area enhanced regional water conservation capacity, and increased the runoff in lower water time slice, thus ecological security in the upper reaches of Minjiang River was strengthened.

Key words: the upper reaches of Minjiang River; forest vegetation; water conservation; variation analysis

森林生态系统是生态系统的主要子系统之一, 随着森林资源的不断减少, 森林生态系统的多功能性的作用越来越重要。森林对良好的自然生态环境的贡献很早就被人发现了, 但是系统地研究森林对水文的影响则是 20 世纪初才开始进行的。美国、苏联对此作了较为深入的研究, 1950 年以后, 我国科学家在这方面也做了大量工作, 并取得了很多重要成果, 尤其在森林水文效应方面得出了不少实用的研究方法和很有价值的结论, 为我国森林水文科学的发展奠定了良好的基础。当前, 在西部大开发的宏伟蓝图下尤其在经历了“98”特大洪水灾害之后, 对西部地区小流域生态安全和生态建设

的研究与维护已变得刻不容缓。岷江是长江上游水量较大的一条支流, 流域面积较广, 富泽人口众多, 流域上游的生态问题尤其是森林植被状况的变化直接关系到中、下游的工农业生产和人民的生活。本文以岷江上游为例, 通过对森林涵养水源能力的变化分析, 探讨森林植被与其水文效应的关系, 客观评价退耕还林等生态建设工程所取得的功效。

1 岷江上游及其森林植被概况

岷江上游指河源至都江堰市江段, 河长 341 km, 流域面积 23 037 km²。地理位置在北纬 30°35′ ~ 30°10′, 东经 102°38′

* 收稿日期: 2006-06-05

基金项目: 国家 973 项目 (2003CB415201 - 5); 近年来长江上游退耕还草等人为活动对水资源的影响

作者简介: 满正闯 (1980 -), 男, 山东济宁人, 硕士研究生, 主要从事水资源利用保护的研究。

~ 103³⁵,行政区划属松潘、理县、黑水、茂县、汶川和都江堰市部分地区。地形北高南低,海拔 700~5 500 m,河谷深切,谷岭高差达 1 500~3 000 m。气候跨越川西北高原和盆地亚热带两个气候区,大体以茂县-汶川-四姑娘山一线为界,该线以北属高原气候区,以南属盆地亚热带气候区。高原气候区的北部(镇江关-黑水一线以北)为高寒区,海拔 2 000 m 以上,河谷地区多年均温 5.8~9.1³⁶,多年平均降水量 730~840 mm;此线以南为干旱河谷区,海拔 1 200~2 000 m,多年平均气温 11~13³⁶,多年平均降水量 420~566 mm,干燥度 1.74。亚热带气候区,多年平均气温 13~15.5³⁶,多年平均降水量 900~1 200 mm,相对湿度 80% 以上,是该流域水热条件最好的区域,但面积很小,仅占 10% 左右^[1]。

岷江上游位于青藏高原东缘,地处四川盆地丘陵山地向川西北高原的过渡地带,地理位置特殊,地貌类型复杂多样,生物多样性丰富,孕育了其脆弱而复杂多样的生态系统类型,它是长江上游生态屏障的重要组成部分,是成都平原的重要生态屏障和水源生命线,同时也是我国具有国际意义的生物多样性中心——川西高山峡谷区的核心部分,生态意义极其重要。

岷江上游大致可分为两大地貌形态单元,松潘南部的镇江关向西至黑水一线为山原,以南为高山峡谷。山原约占总面积的 1/3,阳坡、半阳坡灌丛草甸发育,阴坡、半阴坡和沟谷底部森林茂密,阳坡与阴坡的分水脊通常是森林与灌丛、草甸的分界线。高山峡谷区则广布繁茂的亚高山针叶林,是岷江上游的主要林业基地。水平地带由于受地形地貌的影响,总景观呈湿润森林向半干旱灌丛草甸过度的特征^[2]。由此,岷江上游植被类型大致可分为六类,其分布如表 1 所示。

表 1 岷江上游主要森林植被类型

植被类型	海拔/m	分布	优势种
山地常绿阔叶林	800~1600	汶川的耿达、漩口、映秀及茂县的土门、东兴一带	汶川钓樟(<i>Lindera linprichthii</i>),乌药(<i>L. Strychnifolia</i>),楠木(<i>Phoebe SPP</i>)
山地常绿、落叶阔叶混交林	1500~2000	汶川的卧龙、松潘镇江关以下,黑水西尔及理县杂谷脑河下游	曼青冈(<i>C. oxyodon</i>),桦木(<i>Batula SPP</i>),槭树(<i>Acer SPP</i>)
中山针阔叶混交林	2000~2800	黑水、松攀、理县等山地的阳坡和半阳坡	油松(<i>P. tabulaeformis</i>),辽东栎(<i>Q. Liaotungensis</i>),桦木(<i>B. utilia</i> , <i>B. Platyphylla</i>)
亚高山针叶林	2800~3800	分布于海拔较高的高山上	岷江冷杉(<i>A. Faxoniiana</i>),黄果冷杉(<i>A. erne stii</i>),云杉(<i>P. asperata</i>),红杉(<i>L. Potaninii</i>)
高山灌丛草甸	3800 以上	海拔超过 3800m 的高山上	小叶型杜鹃(<i>Rhododendron spp.</i>),山柳(<i>Salix spp.</i>),鲜卑木(<i>Sibiraea spp.</i>)
流石滩稀疏植被	4200 以上	巴郎山、垭口山	水母雪莲(<i>Saussurea medusa</i>),橐吾雪莲(<i>S. quercifolia</i>),红景天(<i>Rhodiola rotundata</i>)

注:资料来源于文献[2]。

2 岷江上游森林面积的变化

岷江上游共有林业用地面积 132.7 万 hm²,占岷江上游幅员面积的 57.6%,由于长期只重采伐,不重更新,致使林地面积不断缩小。据史料记载,元朝时,岷江上游的森林面积约 有 120 万 hm²,森林覆盖率达 50%,活立木蓄积量为 3 亿 m³。公元 14 世纪,为修松潘县城,将周围几十公里的森林砍伐殆尽,加之历代对森林的大规模砍伐,使茂、汶、理三县境内形成了 13.3 万 hm² 的干旱河谷地带^[2],植被稀少,部分地区

呈现出寸草不生的荒漠景象。到 1950 年,岷江上游的森林面积降至 74 万 hm²,森林覆盖率为 32%,森林蓄积量为 2 亿 m³^[2]。为了满足国家建设的需要,从 50 年代开始对这一地区开始大量采伐森林,经过 30 年的采伐,累计为国家生产商品木材约 1 600 万 m³,消耗资源约 5 000 万 m³,其他计划外采伐、社会性消费和自然灾害损失约 4 500 万 m³,至 1980 年统计,岷江上游森林面积减少到 46.7 万 hm²,森林覆盖率下降为 18.8%,森林蓄积量约余 1.05 亿 m³^[2]。平均每年减少森林面积 0.9 万 hm²、森林覆盖率 0.4%、森林蓄积量 320 万 m³,递减速度超过之前的任何时期。80 年代以后,随着对木材需求量的不断增加,国家、地方、集体、个人“几把斧子”一齐砍,对森林采取了掠夺式的砍伐,甚至有的为争时间、抢速度,干脆“剃光头”,致使森林面积大幅度减少,森林覆盖率下降至约 17%。到了 90 年代中后期,川西北的森林基本被砍光,森林面积减少至 27.8 万 hm²,森林覆盖率下降到约 12%^[3],森林蓄积量仅为 0.80 亿 m³,致使岷江从 1996 年开始,年年冬季和春旱季节都出现了断流现象。1998 洪水爆发以后,岷江上游的生态安全问题得到了重视,天保工程和退耕还林还草工程相继实施,使岷江上游的植被覆盖有了很大程度的改观。2004 年底,岷江上游累计退耕还林 2.49 万 hm²(数据来源于阿坝州林牧局),森林覆盖率达到约 18.36%^[4]。当然,由于退耕还林时间跨度比较短,人工林在保持水土、涵养水源等综合生态效益方面与预期目标还有很大差距。岷江上游森林覆盖率的变化可由图 1 所示。

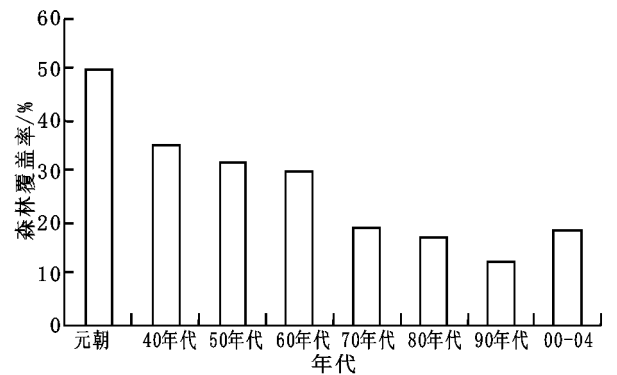


图 1 岷江上游森林覆盖率的变化

3 岷江上游枯期径流的变化

20 世纪 50 年代以后,由于森林的集中过量砍伐,使岷江上游的自然生态环境不断恶化,严重后果便是森林涵养水源的能力减弱,岷江年径流、枯期径流持续减少。据 1940~1989 年和 1994~2004 年 60 余年的资料统计,枯期最小平均流量出现在 2 月,60 余年中 2 月平均流量和年径流量的变化情况见表 2。

表 2 岷江上游年降雨径流特征值

年代	40~49	50~59	60~69	70~79	80~89	94~99	00~04
最枯月流量/(m ³ ·s ⁻¹)	142.98	135.43	133.56	120.96	112.58	105.40	112.20
年径流量/(m ³ ·s ⁻¹)	484	467	477	432	433	409	388
年降雨/mm	813	800	800	785	768	668	634
年均径流系数	0.822	0.817	0.824	0.780	0.785	—	—

注:最枯月流量与年径流量数据资料来源于紫坪铺站,年降雨量由四川省农业气象中心提供

由表中可以看出,1998 年退耕还林以前,岷江枯期径流随着森林面积的减少而一直呈下降趋势,80 年代与 40 年代相比仅 2 月平均流量就减少了 30.4 m³/s,径流量减少 51 m³/s,年均径流系数减少 0.04。据紫坪铺水文站实测资料显示,岷江上游年径流量是随着森林覆盖率的减少而相对减少(见表 3)。由表可以看出,岷江上游森林覆盖率减少 1%,

径流模数减少 $0.27\text{ m}^3/(\text{s}\cdot\text{km}^2)$,与 30 年代相比,森林覆盖率减少 12%,年径流量减少 22.3 亿 m^3 。1998 年以后,由于退耕还林工程的实施,森林面积增加,最枯月流量及年径流量也有所回升。

表 3 紫坪铺站 30 年代与 70 年代径流量比较

集水面 积/ km^2	年径流 量/ 亿 m^3	平均流量 $/(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	径流模数/ $(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2})$	森林覆 盖率/%	森林覆盖率每减少 1%径流模数减少量	
30 年代	22664	163.1	517	0.0228	30	—
70 年代	22664	140.8	445	0.0196	18	—
减少量	0	22.3	72	0.0032	12	0.2

当然,除了森林之外,影响枯期径流的因素还有将水量、流域蓄水量及河流水库的修建等。据资料显示,岷江上游枯水流量自 50 年代后期开始持续减少,这与建国后大量伐木的时间是吻合的,但需要说明的是枯期径流的变化也可能是由枯季降雨的趋势性变化所致。为了排除这一可能,我们以阿坝州资料最长的松潘县 10、20 年两个不同长度的年、非汛期月(11~5 月)平均数为依据,并以其中最大值与最小值($R_{\text{max}}\sim R_{\text{min}}$)表示平均数的波动区间(表 5)

表 4 不同长度年、非汛期月平均雨量的波动区间 mm

	11	12	1	2	3	4	5
10 年(40~49)	(10.9)	(3.5)	(4.8)	(12.4)	(28.9)	66.2	96.1
20 年(40~60)	12.3	4.1	6.4	11.2	28.3	68.2	104.0
20 年(61~80)	12.8	3.9	6.6	10.3	32.0	58.5	110.3
10 年 $R_{\text{max}}\sim R_{\text{min}}$	2.7	1.3	3.2	3.6	13.3	16.0	21.0
20 年 $R_{\text{max}}\sim R_{\text{min}}$	0.7	0.2	0.2	0.9	4.7	9.7	6.3

注:加括号者表示缺少一年数据。

由表 4 可以看出,按 10 年长度求得的年、月平均,其波动区间为 $3.2\sim 21.0\text{ mm}$,20 年长度的波动区间为 $0.2\sim 9.7\text{ mm}$ 。随着资料年代的增加,其波动区间明显减小,说明 40 年来,松潘的降水量变化不大。有数据显示,无论是前 20 年(1960 年前),即森林还未砍伐时,还是后 20 年(1960~1980 年),森林已砍伐,最大月降水量只有 24 mm 的波动性。也就是说,岷江上游降水量近半个世纪以来变化不大。通过表 5 可知,其非汛期降水量波动更小,基本在均值上下波动,并无减少的趋势,证明森林砍伐确实产生了减小枯水流量的后果。

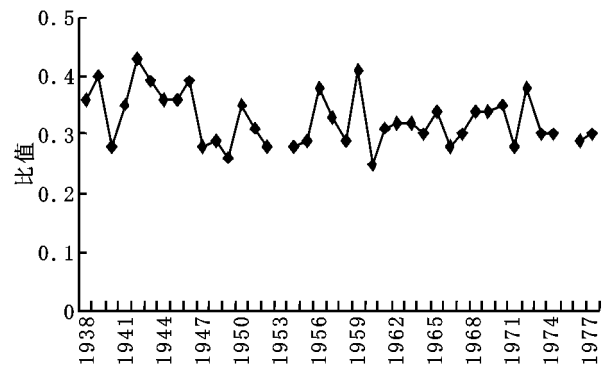
由于岷江上游处于高原地质破碎带,地下裂隙特别发育,地下库容大,枯季径流占总径流的 50%。因此,当年的降水有相当比例将在次年(或更长时期)才能流出,故在考察枯期径流时地下蓄水量不能忽略。然而如果不是逐年统计,而是以较长时间段(3~5 年)分期统计,则在长时段内的降雨径流已基本消退,地下蓄水量的影响将很小,所以在较长时间段(本文采用 10 年和 5 年为一阶段)的分期统计中,地下蓄水量可以不计。因此,流域地下蓄水量在长时段内不会引起枯期径流的变化。

针对河流水库的修建,据有关资料显示,至今为止,岷江上游只有紫坪铺水库正在建设中,如图 2 所示,绘出了 1938~1977 年 40 年间各年枯水期 1~3 月的平均流量与年平均流量之比值随时间的变化。可以看到,这 40 年间的变化趋势比较平缓,但自 1960 年以来有相对减小的趋势,与森林开始被砍伐的时间十分相符,说明了在没有水库的影响下,森林对岷江上游径流起着重要的调节作用。同时,说明森林面积的减少是岷江上游枯期径流持续减少最主要也是最直接的原因。

4 森林涵养水源的能力分析

森林对水源的涵养作用主要表现为能储存降水、拦蓄洪

水、补给枯期河川径流,这三个方面的作用是相互关联的,都可以用枯季径流的丰沛程度表示,但是枯季径流本身不但与土壤蓄水能力有关,而且还和降水多少、流域大小都有密切的关系,用于评价和比较流域单纯的蓄水能力不太客观。通过对若干水文特征值的比较和优选,较佳的评价指标是用流域最小月平均流量 $Q_{\text{月}}$ 与年径流量 $Q_{\text{年}}$ 之比:



注:源数据来源于紫坪铺站

图 2 枯水期 1~3 月的平均流量与年平均流量之比值随时间的变化

$$= Q_{\text{月}}/Q_{\text{年}} \tag{1}$$

这里称为涵养指数,其物理意义为河道枯期径流占年径流的比重,反映了径流变化的平稳程度,而且 $Q_{\text{月}}$ 被年径流相除之后还消除了流域面积大小产生的地域因数,又消去了年降雨不同这一供水因素,主要保留了流域蓄水能力大小这一个因素,这样就不但可以用作同一流域中涵养水源能力随时间变化的判别指标,而且可以用于不同流域之间进行比较的无量纲参数。

将表 2 中的最小月平均流量和同期年径流量带入公式(1),从而得出相关时间段的涵养指数,如表 5 所示。

表 5 岷江上游 1940~2004 年各时间段涵养指数表

年代	40 年代	50 年代	60 年代	70 年代	80 年代	1994~1998	1999~2004
涵养指数	0.30	0.29	0.28	0.28	0.26	0.26	0.28

据有关研究表明,当涵养指数在 0.25 以上时,水文条件将十分优越,径流变化平稳,枯期水量丰富,流域涵养水分的能力特别强。由表 5 可知,岷江上游各年代皆满足这个条件,说明岷江上游的水文条件特别好,流域涵养水源的能力特别强。当然,这里涵养指数只是一个比值,且排除了降水、面积等因素,故只能表征流域涵养水源的大致情况,在特殊年代还要具体问题具体分析。由表 5 可以看出,50 年代以后岷江上游涵养指数一直呈下降趋势直到 1998 年以后才有所回升,这与 50 年代以后森林的集中砍伐和 1998 年以后天保工程及退耕还林还草工程的实施十分吻合,再一次说明森林对保持水土、水源涵养的重要性。为了更直观地说明这一点,我们将岷江上游的森林覆盖率、枯期径流量(为了减小数据差距,在此将各枯期径流同除 1 000)、涵养指数绘在一图内,如图 3 所示。

从图中可以看出,岷江上游森林覆盖率、枯期径流、涵养指数三条曲线的变化趋势十分相似,即枯期径流、涵养指数都随森林覆盖率的降低而降低,并随其升高而升高,说明在机理上森林面积的大小与江河径流、水源涵养等有着很大的相关性,这与刘昌明在 1978 年对南方诸多小流域的年径流量分析得出的结论和李昌哲在河北崇礼实验而取得的结果是十分一致的。

(下转第 230 页)

会可持续发展特征值计算结果。

可以看出,与 1996 年相比,2002 年北京各山区县的社会发展能力、经济发展能力和资源环境承载能力都有大幅度提高,可持续发展特征值从 1996 年的 0.573 提高到 0.690,增加了 21%,表明水利富民综合开发工程显著推进了北京各山区县经济社会的可持续发展。

表 3 1996 年北京市各山区县经济社会可持续发展特征值

平谷区	可持续发展特征值 (0.595)	社会发展能力 (0.7)
		经济发展能力 (0.688)
		资源环境承载能力 (0.437)
密云县	可持续发展特征值 (0.618)	社会发展能力 (0.742)
		经济发展能力 (0.813)
		资源环境承载能力 (0.391)
怀柔区	可持续发展特征值 (0.625)	社会发展能力 (0.693)
		经济发展能力 (0.746)
		资源环境承载能力 (0.471)
延庆县	可持续发展特征值 (0.493)	社会发展能力 (0.675)
		经济发展能力 (0.806)
		资源环境承载能力 (0.220)
昌平区	可持续发展特征值 (0.654)	社会发展能力 (0.732)
		经济发展能力 (0.836)
		资源环境承载能力 (0.458)
门头沟区	可持续发展特征值 (0.489)	社会发展能力 (0.678)
		经济发展能力 (0.758)
		资源环境承载能力 (0.227)
房山区	可持续发展特征值 (0.530)	社会发展能力 (0.705)
		经济发展能力 (0.837)
		资源环境承载能力 (0.252)

密云、怀柔、昌平、门头沟和房山 5 个区县的社会发展能力、经济发展能力和资源环境承载能力 3 个指标都有较显著的改善,从而提高了可持续发展特征值。平谷区 3 个指标值

都有所增加,但以经济发展能力提高的作用最为突出,延庆县的社会发展能力和资源环境承载能力得到大幅度提升。

表 4 2002 年北京市各山区县经济社会可持续发展特征值

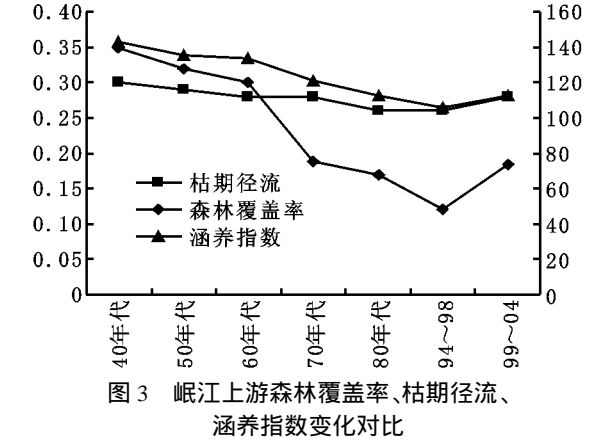
平谷区	可持续发展特征值 (0.692)	社会发展能力 (0.788)
		经济发展能力 (0.851)
		资源环境承载能力 (0.494)
密云县	可持续发展特征值 (0.679)	社会发展能力 (0.785)
		经济发展能力 (0.854)
		资源环境承载能力 (0.467)
怀柔区	可持续发展特征值 (0.720)	社会发展能力 (0.79)
		经济发展能力 (0.855)
		资源环境承载能力 (0.552)
延庆县	可持续发展特征值 (0.672)	社会发展能力 (0.781)
		经济发展能力 (0.846)
		资源环境承载能力 (0.458)
昌平区	可持续发展特征值 (0.772)	社会发展能力 (0.797)
		经济发展能力 (0.858)
		资源环境承载能力 (0.673)
门头沟区	可持续发展特征值 (0.622)	社会发展能力 (0.801)
		经济发展能力 (0.853)
		资源环境承载能力 (0.352)
房山区	可持续发展特征值 (0.697)	社会发展能力 (0.793)
		经济发展能力 (0.856)
		资源环境承载能力 (0.497)

对比分析说明,1996 年和 2002 年的可持续发展特征值均是以昌平区的最高,门头沟的最低,但增长幅度却是门头沟 (27%) 大于昌平区 (18%),这说明门头沟社会经济基础薄弱,但在水利富民工程的推动下,社会经济可持续发展能力得到了很大增强,有较强的发展后劲。经济发展能力和环境资源承载能力的指标值说明,昌平区的经济发展和生态环境保护等工作走在了各区县的前边。

参考文献:

[1] 颜昌远. 水惠京华——北京水利五十年[M]. 北京:中国水利水电出版社,1999.
[2] 中国科学院可持续发展研究组. 中国可持续发展战略报告[M]. 北京:科学出版社,1999.

(上接第 225 页)



参考文献:

[1] 植被生态学研究编辑委员会. 植被生态学研究(纪念著名生态学家侯学煜教授)[M]. 北京:科学出版社,1994. 399 - 405.
[2] 岷江上游以水资源为主的国土综合开发研究课题组. 岷江上游以水资源为主的国土综合开发[R]. 1988. 6 - 15.
[3] 阿刘时布. 西部生态环境保护与建设研究[J]. 理论与改革,2002,(5): 85 - 89.
[4] 吴香尧. 岷江上游生态环境的现状与综合治理[J]. 国土经济,2002,(1): 9 - 11.

5 结 论

通过对岷江上游森林涵养水源的能力变化分析,可以看出:

- (1) 森林涵养水源的能力与森林面积有着十分的相关性,它随森林面积的减少而降低,随森林面积的增加而升高。
- (2) 尽管岷江上游森林植被遭到严重破坏,但从总体来讲,岷江流域涵养水源的能力还是特别强的,径流变化平稳,枯期水量相对丰富。
- (3) 退耕还林工程功效显著。大面积的退耕还林提高了涵养水源的能力,增加了枯期径流量,加强了岷江上游的生态环境安全。