

干旱区森林水源涵养生态服务功能研究进展

赵传燕, 冯兆东, 刘勇

(兰州大学西部环境教育部重点实验室, 甘肃 兰州 730000)

摘 要: 论述了干旱区森林水源涵养的机理、研究方法及研究现状, 根据长期的定位观测资料分析干旱区森林对降水到径流过程的影响及对水分归宿的作用。认为干旱区森林水源涵养的生态功能在干旱区生态环境建设中具有重要作用。目前国内对干旱区森林涵养功能的分析仍偏重于定点定位观测, 获取的资料以统计分析为主, 在大尺度上建立定量预测模型及监控措施等方面还需作深入的研究。

关键词: 森林生态系统; 水源涵养林; 生态服务功能

中图分类号: S718. 56

文献标识码: A

森林生态服务功能包括生产有机物、涵养水源、保护土壤、固定和释放二氧化碳、营养物质循环、养分积累、降解污染和防治病虫害等。对于森林生态系统的评价, 以前人们过多注重它的直接经济效益, 而忽视其生态服务价值, 在开发利用该资源时, 只是一味的索取, 不注重生态保护, 导致生态系统结构的破坏和功能的紊乱。当出现不良的后果甚至灾难时, 人们才发现生态系统的服务功能是如此的重要。若要恢复其生态系统的服务功能, 人类时常要付出巨大的经济代价和社会代价, 这些代价在干旱区尤为沉重。森林生态系统对涵养水源的贡献是目前干旱区生态服务功能研究的热点之一^[1]。因为水是干旱区生态系统最活跃的也是起决定作用的因素, 它的变化将会对区域生态过程带来异常的冲击。本文以张掖地区水源涵养林生态定位站的长期观测资料和课题组的实测资料综述森林涵养水源机理, 目的在于指出森林涵养水源的重要生态作用, 保护森林就是保护水源。

1 研究区生态特征及植被概况

祁连山张掖段地处西北内陆干旱区。该区山地

海拔高度一般为 2 500~ 4 500m, 最高峰达 5 564m, > 4 100m 的山地终年积雪, 有现代冰川分布。山地冰雪融水或降水养育众多的河流。其中黑河水系经张掖地区终入居延海, 为河西最大的水系。由于高海拔导致的温度降低和山地引起的地形降水, 高山地为镶嵌在干旱基质上的“湿岛”。它孕育着丰富的动植物资源, 蕴藏着巨大的矿物和水资源, 是河西地区工农业生产的“生命线”。研究区设置于祁连山寺大隆林区, 位于 38°14′~ 38°44′N, 99°31′~ 100°15′E (见图 1), 海拔约 2 600~ 3 500m。目前已辟为自然保护区, 人类影响较小。

研究区植被主要由青海云杉林 (*Picea crassifolia* 群落、祁连园柏林 (*Sabina przewalskii* 群落和亚高山灌丛群落组成, 森林覆盖率为 16. 44%。统计三种类型的分布面积分别为: 青海云杉林 $36.4 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 、祁连园柏林 $12.13 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 和灌丛林 $34.52 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。祁连园柏分布在阳坡和半阳坡。主要的建群种为青海云杉, 分布在 2 500~ 3 300 m 间的阴坡、半阴坡。林相单一, 结构简单, 可分为灌木青海云杉林、苔草类青海云杉林、灌木鲜类云杉林、鲜类云杉林、马先蒿鲜类云杉林五种林型^[2, 3]。其中鲜类云杉林分布最广, 林分郁闭度大,

收稿日期 (Received date): 2002- 4- 10; 改回日期 (Accepted): 2002- 11- 30。

基金项目 (Foundation item): 该研究受教育部高等学校骨干教师基金资助 (2000, 冯兆东)。[Supported by Foundation for University Key Teacher by the Ministry of Education (2000, to Z. D. Feng)]

作者简介 (Biography): 赵传燕 (1963-), 女 (汉), 山东曹县人, 副教授, 在读博士, 主要从事景观生态学及 GIS 应用的研究。[ZHAO Chuanyan (1963-), Female, the Han nationality, associate professor, pursuing her studies of landscape Ecology and GIS application.]

天然更新状况良好,林下发育良好的苔藓层,其高度在20cm,盖度>90%。在山地环境和森林植被的作用下,土壤类型带有明显的山地特征,在青海云杉林分布的范围内,土壤类型自下向上依次为山地栗钙

土,山地黑钙土,山地灰褐土,亚高山灌丛草甸土和高山寒漠土。由于林区低温高寒、低湿干旱的立地条件,树木生长缓慢。平均生物量和年净生产量为 215.94 t/hm^2 和 4.612 t/hm^2 。

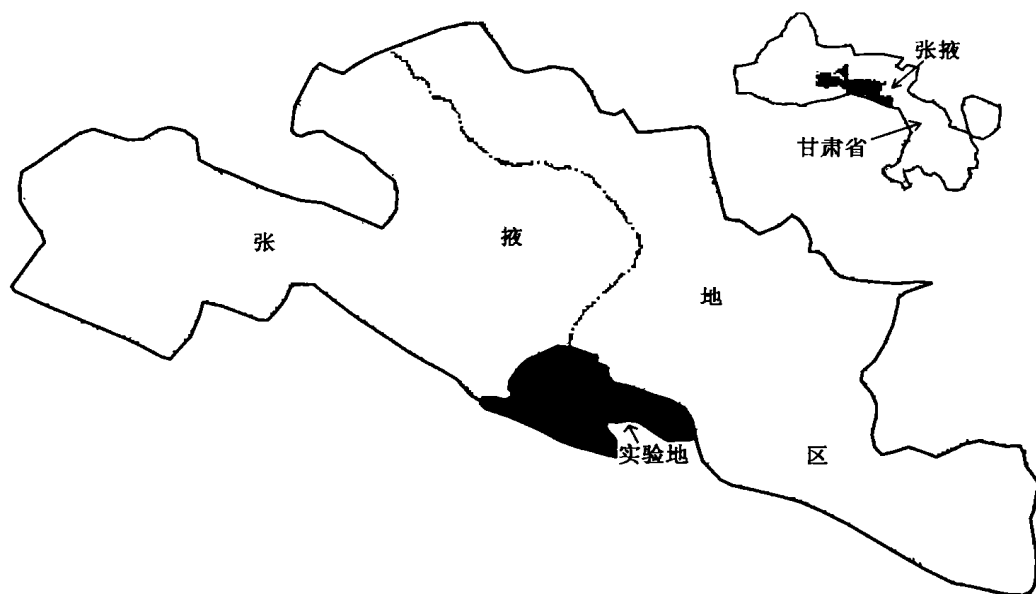


图1 实验区在研究区的位置

Fig. 1 The Location of sample area in Zhangye region

2 研究材料与方法

2.1 研究材料

本研究所用的资料包括:

1. 气象要素的观测数据(甘肃省祁连山水源林研究所);
2. 林业部“八五”重点攻关项目《甘肃省祁连山水源林生态系统定位研究》资料;
3. 本课题组1988和1998两年的实测资料。

2.2 研究方法

2.2.1 森林植被对降水截留能力的测定

在不同植被类型中,设置标准样地 $20\text{m} \times 20\text{m}$,均匀布设5个雨量筒,每次降雨后,测得透过林冠降水量。把对照雨量筒测得的大气降水与透过降水量比较,计算森林对降水的截留量和截留率。

2.2.2 森林枯落物持水能力的测定

在不同植被类型的样地中,不同季节随机取面积为 $50\text{cm} \times 50\text{cm}$ 大小的枯落物层,及时称重,在通

风干净的环境中风干,再称重,求出枯落物的持水量。

2.2.3 土壤水分动态测定

用常规方法在不同的样地中测试土壤水分,运用双环测渗器和ITS-A型土壤渗速仪测定土壤下渗能力及下渗率。

2.2.4 森林对河川径流影响的观测

选择天涝池河和寺大隆河流域,两小流域有多年的流量观测资料。森林对河川径流的影响以一次降水为例进行说明。

3 研究结果

森林涵养水源作用的实质是:林冠对降水的截留来延缓地表径流形成,增加水分下渗的机会;森林植被通过改变土壤的水文特性,增强水的渗透性,减少地表径流。结果是,河川径流得以调整,洪水期的流量和水位下降,枯水期的流量和水位上升。值得提出的是森林涵养水源的作用不是说森林可以增加

水的总流出量^[1, 4, 5], 因为森林的蒸腾作用要消耗大量的土壤水, 所以森林中总流量是小于裸露地的。但是, 森林可以有效地促使降水在土壤中的下渗, 因而增加有效土壤水分, 更可以起到对河流流量的有效调节。

3 1 森林对降水截留能力

降水落地之前, 林冠层的截留使降水产生第一次分配。据观测结果统计, 林冠一般可以截留全年降雨的 15% ~ 30%^[6]。林冠的这种作用, 不仅减少了林下径流量, 而且推迟了产流时间。据 1973~1994 年 22 a 观测结果分析得出: 祁连山张掖段林区多年年均降水量 434 mm, 雨季(5~ 9 月) 降水占全年降水量的 89. 2 %。祁连山森林在雨季林冠层对降水的截留率为: 鲜类云杉林 25. 86 %、祁连园柏 28. 95 %、灌丛林 66. 1 %。截留的降水大部分用于蒸发, 导致森林上空湿度大于无林地上空湿度。森林上空水汽含量多, 气温较低, 空气对流弱, 水气凝结成雨的条件充分, 区域降水量增加^[7, 8]。

3 2 森林枯落物的持水能力

枯落物层是随林冠之后森林对水分活动影响的第二层次。枯落物层的持水性由多种因素决定。例如, 植被类型、郁闭度、枯落物厚度、甚至人类活动影

响等(见表 1)。

调查发现, 祁连园柏分布在阳坡和半阳坡, 微生物活动旺盛, 凋落物分解快, 积累相对较少, 并且分布区放牧频繁, 枯落物破坏严重, 蓄积量低, 持水性较差, 持水量和拦蓄能力仅为 244. 59 % 和 1. 7 mm。而鲜类云杉林分布在阴坡和半阴坡, 凋落物积累多, 再加上苔藓层厚, 枯落物补给量足, 持水能力高。最大持水量和其它资料来源于张掖水源涵养林研究所生态定位观测站拦蓄量分别为 291. 879 % 和 9. 7 mm。亚高山灌丛林分布的海拔较高, 凋落物不易分解, 持水量和拦蓄能力仅次于鲜类云杉林, 分别为 257. 14 % 和 6. 5 mm。枯落物层具有良好的透水性和较强的持水能力外, 在减少地表径流和增加水分下渗方面有很大的作用。

3. 3 森林土壤水分动态

林地土壤水分的下渗性能是森林涵养水源的主导因子。森林根系网和土壤动物、微生物的活动使森林土壤形成庞大的根系生态系统, 再加上森林促使土壤形成团粒结构, 发达的根系和土壤团粒结构可以有效地增加水分的下渗能力。图 2 给出了不同类型植被下土壤水分下渗状况。

表 1 主要森林类型 枯枝落叶重量与持水量¹⁾
Table 1 The weight of litter and its retention of water in main forest types of Qilian mountain

森林类型	郁闭度	平均厚度 (cm)	重量 (t/ hm ²)	最大持水量		拦蓄量 (mm)
				(%)	(t/ hm ²)	
鲜类云杉林	0. 4~ 0. 9	2~ 8	42. 818	291. 879	124. 977	9. 7
祁连园柏林	0. 2~ 0. 4		6. 899	244. 590	16. 874	1. 7
亚高山灌丛林	0. 3	1~ 3	17. 500	257. 140	45. 000	6. 5

1) 拦蓄量及每次降水过程中枯落物的最大持水量与自然含水量的差值。

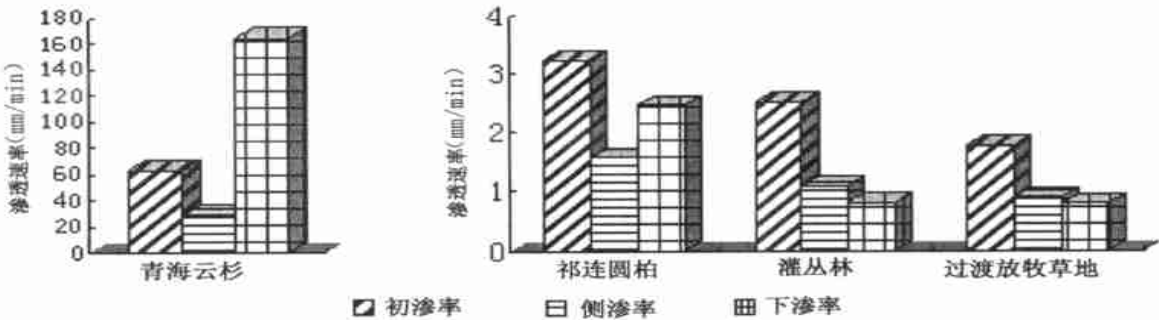


图 2 四种不同土地类型土壤下渗状况
Fig. 2 The infiltration in different land use

由于土壤类型及分布的差异,土壤蓄水量有明显的差异。根据车克钧研究资料^[9,10],青海云杉林、祁连园柏林和亚高山灌丛林区土壤的蓄水量分别为 153.66 mm、106.72 mm 和 114.64 mm。显然,鲜类云杉林土壤下渗率远远高于其它林地和草地相应的下渗率,其土壤蓄水量也大于其它植被类型区的土壤蓄水量,说明鲜类青海云杉林涵养水源的功能效果最佳。园柏林地和灌木林地比放牧草地的涵养水源功能要好。

3.4 森林对径流的影响

森林对河川径流的调节作用是众所周知,祁连山森林也不例外。由于研究区处于西北干旱区,降水量较小,根据甘肃省祁连山水源林研究所提供的

资料,试验区不同植被类型的十二个地表径流观测场 7a 观测结果,有森林植被的小区均不产生地表径流。对河川径流的影响可以一次降雨(28 mm)过程在两个小流域中的流量反映来说明。天涝池流域集水面积 12.8 km²,森林覆盖度为 65.9%,寺大隆流域集水面积 109.7 km²,森林覆盖度为 32%。这次降雨所引起的洪峰流量过程在寺大隆河流域为陡起陡落,而在天涝池河流域变得平缓多了,而且,最大洪峰在天涝池河流域出现的时间比在寺大隆河流域推迟 2.5 h(见图 3)。最大产流模数、日径流深度均比寺大隆河低。由此可见,森林植被对暴雨所引起的洪流有削弱作用,并对最大洪峰的出现时间有滞后效应。

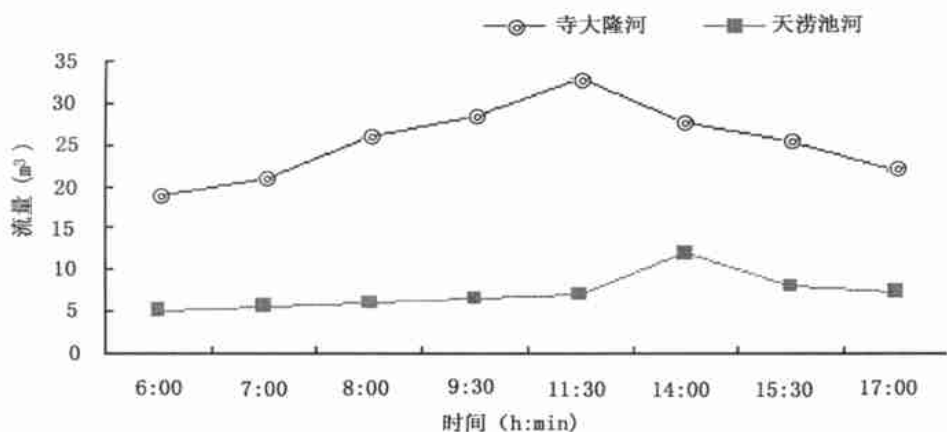


图 3 一次降雨后两流域径流过程线

Fig. 3 Hydrography in two small watershed after one precipitation

4 研究展望

1. 由研究结果可以看出,植被可以使水分的路径(如土壤水、地表径流等)发生改变。不同的植被类型涵养水源生态功能有异,如青海云杉林枯落物层拦蓄量 9.7 mm,土壤层蓄水量 153.66 mm;祁连园柏林枯落物层拦蓄量 1.7 mm,土壤层蓄水量 106.72 mm;灌丛林枯落物层拦蓄量 6.5 mm,土壤层蓄水量 6.5 mm。水分是干旱区重要并起限制作用的因素,保护森林就是保护水源。令人鼓舞的是,目前国家“西部大开发”的经济政策和“山川秀美”的环境政策使干旱区森林生态系统恢复和保护有了经济和政策的保证。

2. 迄今为止,干旱区森林涵养水源生态功能的

研究工作主要集中在单点或地块尺度上,从点值到面域值的扩展关系,并没有很好解决。在小流域建立起的植被与水分模型并不适合应用于区或景观尺度上。如何把小尺度上的模式推广和叠嵌到大尺度上一直是需要解决的重大科学问题。建立大尺度上的预测模型不仅为管理者科学地管理森林提供科学依据,而且为区域农业生产提供服务。

3. 长期的生态定位观测为分析干旱区森林生态服务功能提供丰富的资料,这是我们开展研究的基础。深入研究对资料的空间和时间分辨率的要求使得地理信息系统和遥感技术成了不可或缺的手段。随着地理信息系统和遥感技术的发展,水源涵养的生态服务功能的分析会更全面更科学。

致谢:该研究受到张掖地区水源林涵养研究所的大力支持,谨致谢忱。

参考文献(References):

- [1] Zhang Zhi-qiang, Wang Li-xian, Yu Xin-xiao, et al. Impacts of forest vegetation on runoff generation mechanisms: a review. *Journal of natural resources*. 2001, **16**(1): 79~ 84. [张志强, 王礼先, 余新晓, 等. 森林植被影响径流形成机制研究进展[J]. 自然资源学报, 2001, **16**(1): 79~ 84]
- [2] Huang Daxing, Gansu vegetation. Lanzhou: Gansu science and technology press. 1997. 197~ 198. [黄大兴. 甘肃植被[M]. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 1997. 197~ 198.]
- [3] Liu Xingcong. *Picea crassifolia* Lanzhou: Lanzhou university press, 1992, 45~ 54. [刘兴聪. 青海云杉[M]. 兰州: 兰州大学出版社, 1992, 45~ 54.]
- [4] Wei Tianxing, Yu Xinxiao, Zhu Jinzhao, et al Relationship between water supply and consumption of main planting tree species of protection forests in loess area of western shanxi province. *Chinese journal of applied ecology*. 2001, **12**(2): 185~ 189. [魏天兴, 余新晓, 朱金兆, 等. 黄土区防护林主要造林树种水分供需关系研究[J]. 应用生态学报, 2001, **12**(2): 185~ 189.]
- [5] Tang Guanyi, Chen Pixiang, Zheng Tiezhi. Human and forest ~ effects of forest on environment. Beijing: Forestry press, 1992, 276 ~ 286. [唐广义, 陈丕相, 郑铁志. 人与森林~ 森林调节环境的作用[M]. 北京: 林业出版社, 1992. 276~ 278.]
- [6] Wang Zhengfei, Zhu Tingyao, Zhu Jinwei, et al. Forest meteorology. Beijing: Chinese forestry press, 1985, 178~ 185. [王正非, 朱廷曜, 朱劲伟, 等. 森林气象学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1985. 178~ 185.]
- [7] Wang Youmin. On the canopy interception of precipitation in china: a review. *Journal of northwest forestry university*. 2000, **15**(3): 1 ~ 7. [王佑民. 我国林冠降水再分配研究综述(1)[J]. 西北林学院学报, 2000, **15**(3): 1~ 7.]
- [8] Wei Debao. Forest and environment. Beijing: Chinese environmental science press. 1989, 20~ 21. [魏德保. 森林与环境[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1989. 20~ 21.]
- [9] Fu Huian, Che Kejun. On the effects of forest on the hydrology in the northern slope of Qilian Mountain. In: Collected works of Chinese forest hydrology symposium. Beijing: surveying and mapping press, 1989, 51~ 55. [傅辉恩, 车克钧. 祁连山(北坡)森林水文效应研究[A]. 见: 全国森林水文学术讨论会文集[C]. 北京: 测绘出版社, 1989. 51~ 55.]
- [10] Che Kejun, Fu Huian, He Hongyuan. Study on the mechanism of the effect of forest on conservation water in the northern slope of Qilian Mountain. In: Long term research on china's forest ecosystem. Haerbin: Northeast forestry university press. 1994, 280 ~ 287. [车克钧, 傅辉恩, 贺红元, 祁连山北坡森林涵养水源机理的研究[A]. 见: 中国森林生态系统定位研究[C]. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 1994. 292~ 299.]
- [11] Chen Zhongquan, Zhan Qiren. The oases in Gansu province. Beijing: Chinese forestry press, 1995, 65~ 70. [陈仲全, 詹启仁. 甘肃绿洲[M]. 北京: 中国林业出版社, 1995, 65 ~ 70.]

Study on One of Ecological Services of Forest Ecosystem in Arid Region Water Resource Conservation

ZHAO Chuan-yan, FENG Zhao-dong, and LIU Yong

(National Laboratory of Western China's Environmental Systems, Lanzhou University, Lanzhou 730000 China)

Abstract Forests serve human in two important functions: ecological service and direct economic supply. The main object of this paper is to analyze the function of water conservation of the forest, one of ecological service function in Qilian Mountain. The results show that: the rate of precipitation intercepted by crown canopy is 25.86% in *Picea crassifolia* community, 28.95% in *Sabina przewalskii* community, and 66.1% in bush. Water retained by litter is 9.7mm in *Picea crassifolia*, 1.7mm *Sabina przewalskii*, 6.5mm in bush. The rate of soil infiltration is 105.67mm/min in *Picea crassifolia*, 7.27mm/min in *Sabina przewalskii*, 4.44 mm/m in bush. Our results also show that forests can not only reduce the peak discharge in a storm, but also stabilize the normal discharge. However, the economic supply function has been long overexploited and the ecological service function ignored. Although the ecological service function is being increasingly realized, its quantitative definition and scientific essences are not fully explored.

Key words: forest ecosystem; water resource conversation forest; ecological service function