

中国森林生态系统水源涵养功能

鲁绍伟¹, 毛富玲², 靳芳¹, 余新晓¹, 饶良懿¹

(1 北京林业大学水土保持学院水土保持与荒漠化防治教育部重点开放实验室, 北京 100083;

2 河北省林业局, 石家庄 050081)

摘要: 森林是巨大的绿色宝库, 是全球维持生态平衡的主体和人类赖以生存的重要自然资源, 对调解生物圈、地圈和大气圈平衡具有重要的不可替代的作用。森林以其高耸的树干和繁茂的枝叶组成的林冠层, 林下茂密的灌木植物形成的灌、草层和林地上富集的枯枝落叶层截持和蓄积大气降水, 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文功能。该项研究根据森林水源涵养的机理, 森林的水文效应, 对我国森林生态系统水文涵养功能及其价值进行了分析及评价。

关键词: 森林生态系统; 水源涵养功能; 分析; 价值

中图分类号: S715.5

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2005)04-0223-04

The Water Resource Conservation of Forest Ecosystem in China

LU Shao-wei¹, MAO Fu-ling², JIN Fang¹, YU Xin-xiao¹, RAO Liang-yi¹

(1. Key Laboratory of Soil and Water Conservation and Desertification Combating, Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. Hebei Forestry Bureau, Shijiazhuang 050081, China)

Abstract: Forests are great green thesaurus, and the main body of keeping ecological balance in the whole world and important natural resource for human being, and have the important function which have accommodated the balance of biosphere, terra circle and atmosphere circle. The canopy layer of high trunk and many branches and leaves, and the shrub and grass layer formed by flourish shrub and grass can intercept and accumulate atmosphere precipitation, which can newly distribute and effectively adjust precipitation and exert special function of hydrological ability. Basing on the mechanism of forest water-source conservation and the effect of forest hydrology, the authors analyze and estimate the function and value of water-source conservation of forest ecosystem in China.

Key words: forest ecosystem; function of water-source conservation; analysis; value

森林是人类赖以生存与发展的重要环境资源之一, 是陆地生态系统中面积最大、分布最广的自然生态系统, 具有物种繁多、结构复杂、类型多样、稳定性强、生产力高、现存量大的特点。森林作为陆地生态系统的主体和重要的可再生资源, 在人类发展中起着极其重要的作用, 不仅为人类的生产生活提供木材及林副产品等物质资源, 还具有净化空气、调节气候、涵养水源、防风固沙、固土保肥以及保护环境、维护生物多样性和维持生态平衡等生态功能与效益^[1]。然而, 由于人口、需求的剧增及其人为的破坏从而使有限的森林资源过量消耗和森林生态环境持续恶化, 水资源匮乏及水土流失等一系列的环境问题。目前我国已把大规模的林业生态环境建设作为解决水问题和改善水环境的重要举措。深入分析森

林水源涵养机理, 森林的水文效应及其对森林生态系统水源涵养服务功能进行评估, 对合理指导林业生态环境建设、尽快将自然资源和环境因素纳入国民经济核算体系而最终为实现绿色 GDP 具有重要的现实意义。

1 我国森林植被的水文响应

森林水文响应是指在森林生态系统中水分受森林的影响而表现出来的水分分配和运动过程, 包括降雨、降雨截持、干流、蒸散、地表径流等。这类研究开展较早, 是传统水文学的主要内容, 其目标在于揭示森林水文特征, 为探讨水分运动过程机制提供基础资料, 也是当前森林水文学研究中的一个重要方面。

* 收稿日期: 2005-04-30

基金项目: 国家重大基础研究前期专项“我国森林生态系统服务功能及其价值评估”项目(2003CB00500); 国家“十五”攻关“都市重要水源地水源涵养型植被建设技术与示范”项目(2001BA510B02-02)

作者简介: 鲁绍伟(1972-), 男, 在读博士, 主要研究方向为森林生态与森林水文; 责任作者: 余新晓(1961-), 男, 博士生导师, 教授, 主要研究方向为森林水文与流域治理。

1.1 林冠层对降雨的再分配

大气垂直降水落到森林表面,受到林冠截留,引起降水的第一次分配。最初到达林冠的降水,湿润枝叶,透过林冠的很少,随着降雨量的增加,林冠充分湿润后,才有水分透过林冠到达林地。林冠截留的降水,一部分直接蒸发到大气中,另一部分浸润枝叶形成一层水膜,并逐渐在叶缘形成水滴,当重力超过附着于叶面的表面张力时,即下落到林地;还有一部分顺着枝条、树干流到林地,形成树干径流,或称树干截流^[2]。

不同地区、不同类型、不同生长发育阶段的森林生态系统冠层对不同类型和不同强度的降雨再分配差异较大。一般来说,森林生态系统林冠截留水占10%~40%,冠层穿透水占15%~60%,径流水占5%~20%。统计资料表明,我国主要森林生态系统的林冠截留量平均值变动在134.0~626.7 mm之间,变动系数为14.27%~40.53%;我国主要森林生态系统林冠截留率的平均值变动在11.40%~34.34%,变动系数为6.86%~55.05%^[3]。我国主要森林生态系统林冠截留量由东南沿海向西北内陆、由南向北逐渐递减,而林冠截留率则与之相反,呈逐渐递增趋势。

1.2 森林下层灌木与草本截流降水效应

林下灌草层不仅能截留一定量的雨水,而且对于分散、减弱林内的降雨动能,减缓降水对林地地面的直接冲击有重要的作用,是森林截流降水的重要组成部分。从目前的研究资料来看,林下冠草层的截留量与盖度成正比,同时还受林分郁闭度的制约并与之成负相关,其截留量约为林冠截留量的1/10。林冠郁闭度高的类型,灌木草本层稀少、覆盖度低,灌木草本层的截留量小^[4]。刘向东(1983)研究六盘山区森林的结果表明:下层植被的截留率为1.7%~17.2%。山西吉县对灌木林的截留量测定,其结果截留率在20%左右。内蒙古准格尔皇甫川试验站测定柠条灌丛和沙柳灌丛的平均截留率分别为53.9%和49.7%。可见林冠下层植被种类不同、密度不同其降雨截留量也不同。

1.3 森林枯落物涵养水源

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。枯枝落叶层上部是很少腐烂的落叶枯枝,疏松而有弹性;下部是半分解的残体,有菌丝缠绕,较疏松,透水性强^[5]。

林地枯落物的水分截流功能很强,枯落物的截持能力和水分蓄持能力取决于枯落物的现存量及其最大持水能力。如成熟林的枯落物量比弱龄林和过熟林多,因此其林下枯落物蓄存多,蓄水能力强;混交林和复层林下的枯落物也高于纯林和单层林^[6]。

枯落物的最大持水能力通常与树种、枯落物厚度、干燥程度、分解程度及枯落物组成成分等有密切关系。一般的持水量可达自身干重的2~4倍,各种森林枯落物的最大持水率平均为309.54%,变动系数为23.80%;不同森林枯落物的最大持水量相差较大,其最大持水量为4.18 mm,平均为47.21%。枯落物的最大持水量与其现存量呈极显著的正相关关系,表现为林下枯落物现存量越大,其蓄持的水就越多。在寒温带和西部亚高山针叶林和落叶阔叶林区,由于气候寒冷,枯落物不易分解,枯死地被物积累量大,枯落物持水能力也较强,其最大持水能力常常大于4 mm;而热带亚热带森林由

于水热条件适宜,枯落物分解较快,林地枯落物少,因而林内枯落物层持水能力也较弱,最大持水能力还不到1 mm。

1.4 林下土壤涵养水源

降落到林地地面上的雨水,大部分直接从裂开的土壤孔隙渗入到土层中,由于森林的存在,增加和保持了土壤的孔隙,从而增加和保持了降水土壤的渗透性能,因此即使是激烈骤雨,也不至于激速流出而是缓慢流出。森林可也缓解洪水的同时而对涵养水源也起了良好的作用,这是森林非常重要的功能^[7]。

土壤是林地水分蓄持的主体。林地土壤多孔隙,物理性质好,孔隙度高,具有较强的透水性。林地土壤的水分蓄持能力与土壤的厚度和土壤的孔隙度状况密切相关。其中,土壤非毛管孔隙度是土壤重力水移动的主要通道,与土壤蓄水能力密切,不同林地蓄水能力差异较大。根据我国森林土壤0~60 cm土层的蓄水量观测结果,非毛管孔隙度变动值在36.42~142.17 mm,平均为89.57 mm,变动系数为31.06%;最大蓄水量相应为286.32~486.6 mm、382.22 mm和17.19%。不同区域森林蓄水量以热带亚热带地区的阔叶林较高,其中非毛管孔隙蓄水量均在100 mm以上,而寒温带、温带山地落叶针叶林和温带山地落叶与常绿针叶林,其林地土壤层非毛管孔隙蓄水量最低,分别为36.42 mm和59.28 mm,其他森林生态系统平均在80~100 mm,这说明热带亚热带的阔叶林生态系统,土壤孔隙发育较好,林地土壤蓄水能力强^[8]。热带山地育林土壤具有较强的土壤水分渗透性,当降水在10~30 mm,进入林地70 cm厚土层的降水几乎全部被土壤吸持;当降水量为102.0~132.0 mm,70 cm土层深的渗透水量的降水加权平均为54.6 mm。这就是说,在大雨、暴雨时,土壤的水文性能是以滞留储存水分体现,这种特性延长了水分渗透到下层的时间,起到了调蓄径流的作用^[9]。

2 森林对径流、消减洪峰及水质的影响

2.1 森林调节径流、消减洪峰的作用

森林植被的存在能否提高流域的径流量是国内外学术界长期争论的焦点。从国外的研究资料和结论来看有三种观点:森林对年径流量影响不大(匈牙利);森林增加年径流量(前苏联);森林减少年径流量(日本、美国、马来西亚、德国)。我国学者也有两种完全对立的意见,周晓峰等对寒温带、温带、亚热带开展的森林植被率变化对小集水区年径流量影响的研究结果表明,森林覆盖率的减少会增加流域的年径流总量^[10];但在四川西部米亚罗高山林区、岷江上游冷杉林集水区,采伐森林,使年径流量减少^[11]。

森林调节径流、消减洪峰的作用表现在两个方面。其一,当降雨透过林冠后,直接进入枯枝落叶层。枯枝落叶层吸收水分并达到饱和后产生积水,一部分渗入土壤,另一部分沿土壤表面在重力作用下产生流动,形成地表径流。然而这种地表径流不同于裸露地面上的水流,它受到了枯枝落叶的阻拦,不仅减少其量,而且降低了汇流速度。其二,由于森林土壤具有很强的透水性和持水性,所以土壤包气带将对入渗水分进行第2次调蓄^[12]。森林以其林冠层、林下灌草层、枯枝落叶层、林地土壤层等通过拦截、吸收、蓄积降水从而改变了降水的分配形式,从而涵养了水源。依据我国现有森林生态定位站监测资料,我国热带、亚热带、温带和寒温带4种气候带

54 种森林综合涵养降水能力值在 40 93~ 165 84 mm, 中间值在 103 40 mm; 华北、西北、华中等地区一般在 100 mm 以下; 华南、东南、西南等地一般在 100 mm 以上^[13]。

森林依靠其径流和水源涵养能力, 可以削减洪峰流量, 推迟洪峰到来时间, 增加枯水期流量, 推迟枯水期到来时间, 减少枯洪比, 增加水资源的有效利用效率。研究表明, 小流域森林覆盖率每增加 2% 时, 约可以削减洪峰 1%, 当流域森林覆盖率达到最大值 100%, 森林削减洪峰极限值为 40% ~ 50%^[14]。

2.2 森林改善水质的作用

森林生态系统不仅因为有林层、地被物层和土壤层, 对污染物有较强的截留过滤作用, 能有效地防止水资源的物理、化学和生物的污染, 而且能有效地减少地表径流, 使得输出的水质具有较高的净化效果。首先是减少进入水体的泥沙, 然后降水通过林冠或沿树干流下, 渗入土壤, 由土壤中或地下流出, 这一过程中降水的化学成分发生了变化。如田大伦等^[15]研究表明, 大气降水中有 85 种以上有机化合物, 且大多数为环境污染物, 其中二氯丁烷、苯等为主要污染物, 还有重金属元素如铅、镉等, 经过林冠层、地被物和土壤层的过滤、截留作用, 这些污染物不仅种类减少, 而且浓度大为降低, 可使上述有害物质的浓度低于 1 $\mu\text{g/L}$, 铅和镉的浓度远低于生活饮用水标准中的限制浓度。

森林生态系统对水化学性质的影响也十分明显, 主要包括截获和淋溶两个作用过程。纵览我国各森林生态系统林层对降水化学组成的影响, 可以得出: 降水中的养分元素经林层进入林地的雨水中, 养分含量一般均有所增加^[16~18]。日本在滋贺县花岗岩地区赤松林流域观测结果表明, 降水通过林冠或沿树干流下, 然后由溪流流出, 在此过程中化学成分的含量已发生变化。林内降雨和树干径流中的钠、钾、钙、镁、磷、硝态氮等的含量均所增加, 而且树干径流增幅较大, 地表径流中钠含量有较大的增加, 而氨态氮、硝态氮含量有较大的减少, 降在经过森林流域时, 能增加各种化学成分, 也能除去某些原有的溶解成分。

3 我国森林生态系统水源涵养功能的区域特征

我国幅员辽阔, 自然地理条件复杂, 森林生态系统水源涵养功能的作用大小、影响程度与气候条件、土壤条件、植被条件、地质地貌等因素直接相关。由于地域自然条件的分异性在研究我国森林生态系统水源涵养功能的时候, 需要从多方面进行考虑, 归纳相似性、发现趋同性, 对我国森林生态系统的水源涵养功能做出合理性的评价。我国在这方面的研究起步较晚, 80 年代后我国森林水文研究出现高潮, 正在迅速缩短与世界先进水平的差距。经过多年的研究, 我国科学工作者在森林生态系统水源涵养功能方面做出了一些可喜的成果, 从水量平衡法来考虑森林水源涵养的功能来看, 森林蒸散及降水是衡量水源涵养的重要指标。

由于森林面积大, 层次多, 根系分布层次也多, 导致森林生态系统在很大空间层次上出现水分的输出。一般的讲, 森林蒸散发要大于无林地的蒸散发, 但实际上, 森林总蒸散量与无林地的自由水面的蒸散量接近(齐亚东, 1987)。据大多数研究者的研究结果表明: 森林生态系统的蒸散量达约占降雨量的 40% ~ 80% 之间(包括截流蒸发)(朱劲伟等, 1982; 徐

德应等, 1985; 齐亚东等, 1991; 马雪华, 1993; 周国逸, 1989; 刘世荣, 1992)。

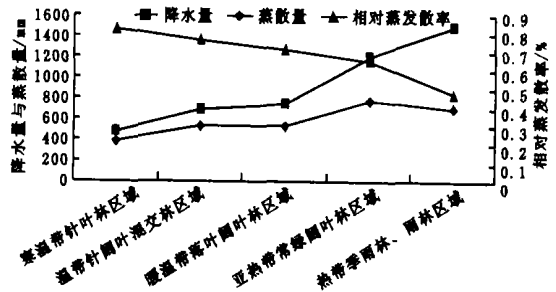


图 1 我国森林蒸发散变化

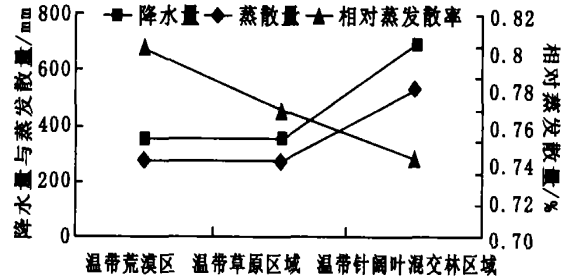


图 2 我国森林蒸发散变化

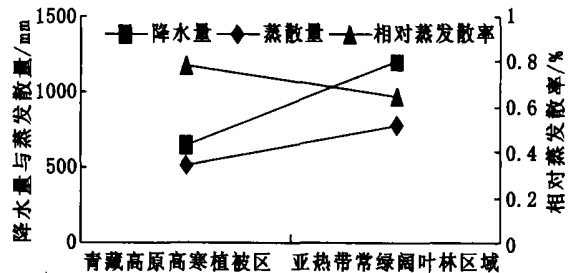


图 3 我国森林蒸发散变化

(数据来源: 靳芳, 余新晓《我国森林生态系统服务功能及其价值评估研究》课题)

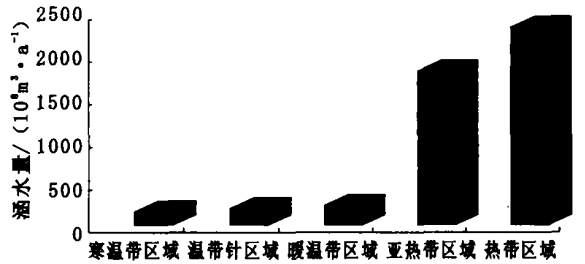


图 4 我国森林涵水量变化

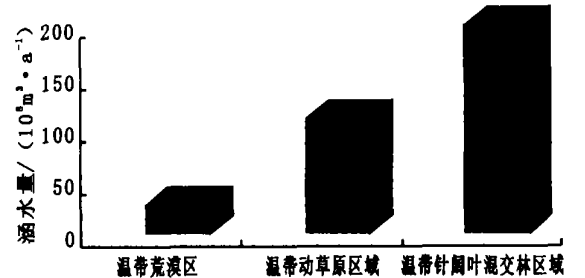


图 5 我国森林涵水量变化

根据所收集的大量资料表明:随着由南到北、由西向东降水量的增加,森林蒸散略显增加趋势;相对蒸发散率(蒸发散占同期降水量之比)变化在47%~82.3%,蒸散量有随降水量增加而减少的规律性变化。具体变化规律如下,降水量变化为:热带雨林、季雨林>亚热带常绿阔叶林区域>暖温带落叶阔叶林区域>温带针阔混交林区域>寒温带针叶林区域;温带针阔混交林区域>温带草原区域>温带荒漠区域;亚热带常绿阔叶林区域>青藏高原高寒区^[19]。相对蒸散率变化为:寒温带针叶林区域>温带针阔混交林区域>暖温带落叶阔叶林区域>亚热带常绿阔叶林区域>热带雨林、季雨林;温带荒漠区域>温带草原区域>温带针阔混交林区域(见图1,图2,图3)。从以上的分析可以看出相对蒸散率的变化规律与徐德应(1993)综合分析世界97个森林蒸发散测定数据得出的结论一致,即随降水量逐步增加,蒸散占降水的比例逐步下降。

表1 我国主要森林生态系统水分涵养量及其价值量

| 森林类型 | 寒温带针叶林区域 | 温带针阔混交林区域 | 暖温带针阔混交林区域 | 亚热带常绿阔叶林区域 | 热带季雨林、雨林区域 | 青藏高原高寒植被区 | 温带草原区域 | 温带荒漠区 | 合计 |
|---|----------|-----------|------------|------------|------------|-----------|--------|--------|-----------|
| 水量/(10 ⁸ m ³ ·a ⁻¹) | 147.131 | 197.4 | 235.126 | 1797.6089 | 2315.581 | 106.704 | 107.8 | 25.9 | 4933.2059 |
| 价值/(10 ⁸ 元·a ⁻¹) | 98.5778 | 132.258 | 157.534 | 1204.3979 | 1551.439 | 71.492 | 72.226 | 17.353 | 3305.2781 |

(资料来源:靳芳,余新晓《我国森林生态系统服务功能及其价值评估研究》课题)

4 我国森林生态系统水源涵养功能价值评估分析

正是由于我国森林水源涵养量呈现出由北到南、由西向东逐渐增大的趋势,从而导致了其水源涵养经济价值出现相似的分布规律。从表1可以看出,我国主要森林生态系统类型水分涵养价值量以热带雨林、季雨林为最大1 551.439×10⁸元/a;以温带荒漠区为最小72 226×10⁸元/a;每年我国森林生态系统的水源涵养价值量总计为3 305 2781×10⁸

参考文献:

[1] 张秋根,王桃云,钟全林.森林生态环境健康评价初探[J].水土保持学报,2003,17(5):16-18

[2] 张佩昌,袁嘉组,等.中国林业生态环境评价、区划与建设[M].北京:中国经济出版社,1996.386-387.

[3] 温光远,刘世荣.我国主要森林生态系统类型降雨截流规律的数量分析[J].林业科学,1995,31(4):289-298

[4] 鲍文,包维楷,何丙辉,等.森林生态系统对降水的分配与拦截效应[J].山地学报,2004,22(4):483-491.

[5] 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(增):8-13

[6] 饶良懿.三峡库区理水调洪型防护林空间配置与优化技术研究[D].北京:北京林业大学,2003.3-5

[7] 中野秀章.森林水文学[M].北京:中国林业出版社,1983

[8] 刘世荣,温光远.中国森林生态系统水文生态功能规律[M].北京:中国林业出版社,1996

[9] 曾庆波,李意德,陈步峰,等.热带森林生态系统研究与管理[M].北京:中国林业出版社,1997.

[10] 周晓峰.森林生态系统定位研究(第一集)[M].哈尔滨:东北林业大学出版社,1991.

[11] 马雪华.森林生态系统定位研究方法[M].北京:中国科学技术出版社,1994

[12] 范世香,蒋德明,等.论森林在水源涵养中的作用[J].辽宁林业科技,2001,(5):22-25

[13] 赵同谦.中国陆地生态系统服务功能及其价值评估研究[D].北京:中国科学院生态环境研究中心,2004.40-41.

[14] 中国可持续发展林业战略研究项目组.中国可持续发展林业战略研究总论[C].北京:中国林业出版社,2002

[15] 马雪华.森林与水质[M].北京:测绘出版社,1989.31-35

[16] 姜志林.下蜀森林生态系统定位研究论文集[C].北京:中国林业出版社,1993

[17] 蒋有绪.中国海南岛热带林生态系统[M].北京:科学出版社,1991.

[18] 祝志勇,季永华.我国森林水文研究现状及发展趋势概述[J].江苏林业科技,2001,28(2):42-45

[19] 李景文.森林生态学[M].北京:中国林业出版社,1994

从计算森林涵养水源水量平衡法公式 $W = (R - E) \cdot A$ 及其估算结果(表1)可以看出,森林涵养水源量受林地面积、降水量及蒸散量三个指标影响,因而导致我国森林涵养水源量呈现从北向南、从西向东逐渐增大的局面(图4,图5,图6),这正与我国降水量的地理分布呈明显的正相关。

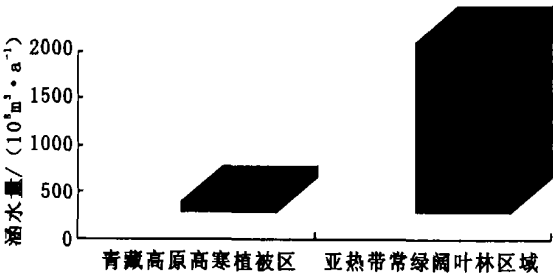


图6 我国森林涵水量变化