

# 森林植被的水分自营作用及其观测试验论证方法

程根伟<sup>1</sup>, 田雨<sup>1, 2\*</sup>

(1. 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041; 2. 四川省环境保护科学研究院, 四川 成都 610041)

**摘 要:** 作为陆地生态系统的主体, 森林对地表圈层的水循环产生了重要的影响, 其涵养水源、防止水土流失和维持水质的作用为多数学者所公认, 但是对于森林是否增加或减少河川径流量, 在学术界还存在较大的争议。作者根据国内外学者在森林水文效应方面的观测结果和理论分析, 提出了森林植被的水分自营作用理论。该理论认为, 森林具有对环境的正向改造作用, 森林植被通过对林区水分分布场的自主营造(改造)机制来增加林地的有效水分供应, 改善林区的水文气象环境, 创造出有利于森林植被生存的条件, 同时引起河川径流量的增加或者降低。森林植被的水分自营作用理论较好地综合了森林影响径流形成的各个因素, 能够统一解释森林水文效应中相互矛盾的试验结果。为了更进一步地认识和完善该理论, 为森林水文效应评价服务, 还提出了验证该理论的野外观测试验方法, 包括典型森林区辐射能量和水分通量的精细测量、森林流域分布式蒸散发计算模式研究、森林水分调节的主要环节及其计量标定、林地水分调节关系解析和森林生态系统水文过程模拟。

**关键词:** 森林植被; 水分自营作用; 水文效应; 观测试验

**中图分类号:** P343, Q948

**文献标志码:** A

森林与水的关系问题是当今生态学与水文学研究的中心议题之一, Bormann 和 Likens 于 20 世纪 60 年代提出了森林小集水区技术, 试图从宏观上阐明水的时空变化规律, 建立基于森林水文物理过程的分布式参数模型, 为森林资源管理和生态工程建设服务, 开创了森林生态系统研究和森林水文学研究相结合的先河<sup>[1-3]</sup>。

20 世纪末, 生态水文学成为了国际水文研究和生态研究的焦点和热点。Swanson<sup>[4]</sup>、Boon<sup>[5]</sup>、刘昌明<sup>[6]</sup>等、李文华<sup>[7]</sup>等、高甲荣<sup>[8]</sup>等、李昌哲<sup>[9]</sup>等国内外学者相继指出了森林生态过程对水文循环影响这一关键问题, 即生态系统结构变化对体系中水分传输、水量转换和水文循环机制的影响, 以及基于物理过程的森林生态学过程与水文学过程耦合模型, 推动了生态系统水文学相关方面的研究。

## 1 森林植被的水文效应概述

森林作为陆地生态系统的主体, 对地表圈层的水循环产生了重要的影响, 特别是其涵养水源、保持水土和维持水质的作用为多数学者所公认, 但是森林分布是增加或减少河川径流量, 目前并没有形成一个定论<sup>[7, 10-11]</sup>。从世界各国研究来看, 森林与径流的关系主要有以下 3 种不同的观点。

### 1.1 森林增加会减少年径流量

国际上大多数国家的研究者在不同地理区域得出的结论大多认为植被的增加会使径流量减少<sup>[12-23]</sup>。美国北卡罗来那州的 Coweeta 集水区是世界上持续研究历史最长的集水区。长期的水流量记录结果显示, 清除森林可以增加 Coweeta 大约 15% 的平均水流量和洪峰流量<sup>[13]</sup>。Hubbard Brook

收稿日期(Received date): 2012-06-09; 改回日期(Accepted): 2012-09-04。

基金项目(Foundation item): 国家自然科学基金资助项目(No. 31070405)。[The project is supported by National Natural Science Foundation of China (No. 31070405).]

作者简介(Biography): 程根伟, 博士, 研究员。[Cheng Gengwei, Ph.D., J.E-mail: gwcheng\_cas@imde.ac.cn]

\* 通信作者(Corresponding author): 田雨, 博士, 主要从事森林生态水文的研究工作。[Tian Yu, Ph.D., mainly engaged in forest ecology and hydrology. J.E-mail: rain\_cas@126.com]

森林集水区多年对比试验结果则表明,当砍伐流域内20%的森林后可以观测到流域年径流量的增加,当砍伐面积达到流域面积的45%时,流域年径流深增加100 mm以上,当将流域内的森林全部砍伐后,流域年径流深增加250 mm以上,砍伐面积每增加10%,流域年径流深增加18 mm<sup>[14]</sup>。Sander<sup>[15]</sup>在俄亥俄州的Dayton所进行的研究中也发现:现有林分的林冠覆盖率为22%时,减少地表径流大约为7%,如果林冠覆盖率增加到50%,将能减少地表径流大约12%。程根伟<sup>[16]</sup>等对加拿大Carnation-Creek流域森林砍伐前后共计15 a的对比观测数据分析后发现,90%的清伐后流域年径流系数增大了约15%,年平均产水量增加了300~500 mm。德国在Krofdorf集水区开展的采用校核观测的办法来剔除其他因素对森林采伐实验影响的研究结果表明,分段采伐流域内96%山毛榉林后的第二年,流域年径流深增加86 mm<sup>[17]</sup>。英国的Balqhidder集水区实验结果发现森林植被的存在同样会减少产水量<sup>[18]</sup>。Chirino<sup>[19]</sup>等比较了西班牙Ventós集水区裸地、草地、灌木林和人工松树林的产流效应,结果表明,裸地的径流深为有植被林地径流深的4倍。Mohammad & Adam<sup>[20]</sup>对巴勒斯坦Hebron市的研究也表明森林增加会显著减少年径流量。我国黄土高原区森林覆盖度增加会普遍降低河川径流量,森林覆盖率平均每增加10%将减少径流量1.67 mm,增加流域降水量4.12 mm<sup>[21]</sup>。此外,澳大利亚、西非、日本等地区的小流域结果也表明径流量随森林的皆伐、择伐而增加<sup>[7, 22-23]</sup>。

### 1.2 森林会增加径流量

前苏联的许多研究结果认为,森林覆盖率增加能提高河川流量,并引用大量由于采伐森林造成河流水位下降和造成干旱的历史事实加以证明<sup>[7]</sup>。Harr<sup>[24]</sup>在美国俄勒冈西部的研究表明,森林采伐后,年径流量减少。我国的多数研究表明在长江中上游湿润地区,森林对径流量具有正效应。长江中上游流域多组多林和少林流域(674~5322 km<sup>2</sup>)的对比分析结果表明,多林流域的年径流量比少林流域的大,多林流域的年径流系数比少林流域的增加33%~218%<sup>[25]</sup>。在岷江上游的米亚罗高山森林生态系统中,森林砍伐显著的降低了流域的产水量,森林覆盖度降低10%,径流量降低70 mm左右,森林砍伐降低河川径流效应明显<sup>[26]</sup>。马雪华<sup>[26]</sup>在西南地区岷江上游冷杉林集水区内也观察到,采伐森

林会使年径流量减少。在我国其他地区,也有一些相同的观测分析结果。对我国东北地区黑龙江、松花江水系20个面积为101~170000 km<sup>2</sup>流域10 a测定的多元回归分析结果表明,森林覆盖率增加1%会引起年径流量1.46 mm的增加<sup>[25]</sup>。朱道光<sup>[27]</sup>等采用大流域径流测定与小流域对比实验相结合的方法,利用35 a的径流和森林资源变化资料,对小兴安岭林区森林采伐后河川径流发生的一系列变化进行了全面系统的研究。结果表明,森林采伐后营造落叶松人工林,造林初期10 a内,河川径流量表现为增加趋势;随着落叶松人工林的不断生长和郁闭成林,采伐流域的径流量逐渐减少,并趋于采伐前水平或低于采伐前水平。位于我国西北地区秦岭北坡的石头河和黑河流域,在20世纪50—60年代,由于流域的林分质量都经过较大的破坏,流域径流量分别下降23.6%和32.6%。但石头河流域有较多林地被划为保护区,林分质量有较大提高,每公顷年产流量6405.9 m<sup>3</sup>,而黑河流域每公顷产流量为4364.5 m<sup>3</sup>,前者比后者高出46.8%<sup>[7]</sup>。

### 1.3 森林覆盖率与径流量没有明显的关系

前苏联西北部和上伏尔加河流域等集水区的观测,提出森林对小流域年径流量无明显影响,或发现不出明显的规律性<sup>[7]</sup>。Ngah & Reid<sup>[28]</sup>在马来西亚Langat、Linggi和Bernam流域的研究结果表明,虽然这三个流域的森林覆盖变化很大,但是42年来,径流系数却基本没有变化。我国的一些研究也得到了相似的结果,东北林业大学在帽儿山的蒙古栎采伐实验表明,疏伐对总径流量影响较小。经50%疏伐,使郁闭度从0.95降低到0.60,径流量增加1.9 mm,仅增加了0.88%<sup>[25]</sup>。海南岛万泉河乘坡水文站和昌化江毛枝水文站的观测资料也表明森林植被变化对河川径流量的影响并不十分明显<sup>[7]</sup>。

## 2 森林水文效应研究中的理论困难

森林分布是否能增加(或减少)河川径流量,不同的研究者或者在不同地区所做的工作结论迥然不同,观点和结论存在较大的分歧。例如美国学者在多个实验流域长期的对比观测发现,森林砍伐后径流量增加,森林恢复径流量减少。而在原苏联所作的大流域对比观测则支持径流量随森林覆被率增大的结论。我国也在这方面进行了大量的径流观测和

对比分析工作,初步结果是北方干旱区(例如黄土高原)植树造林降低天然径流,而南方湿润区(例如岷江上游)森林砍伐减少河川径流,但同时也出现了相反的观测结果<sup>[29]</sup>。

要确切地评价森林对水文的贡献,存在着理论和技术上的困难<sup>[30]</sup>。近百年以来,世界上大量的径流试验和模型对比分析表明,很难直接用相似流域的空间对比或时间序列分析来评价不同森林条件产生的水文过程差异。用于对比的流域之间存在气候和地理环境的差异,评价结果呈现纷杂难辨的情况;不同大小和形状的流域试验结果差异很大,各个小流域的水量之和不等于大流域观测的结果,尽管大流域是由其中各个小流域组成,但小流域的合成洪水通常大于大流域出口观测值,而小流域的年径流量或枯水流量之和又小于大流域值(部分之和不等于总体)<sup>[31]</sup>,即小流域的结果不能简单外推到大流域。此外,山区与平原、南方与北方、石质土壤与深厚黄土等流域自然条件的差异都会对分析结果产生根本的改变(空间特异性困难)<sup>[32]</sup>,在试验分析的理论和方法上,还存在宏观的简单性和微观的复杂性的矛盾,要完全根据影响水文作用的环境-生态参量来解决森林水文效应评价问题,将会遇到关联要素越来越多的难题(维数发散灾难)。因此,关于如何准确地评价和预测大规模生态变化(森林砍伐、林地退化、自然恢复、防护林建设)的水文影响,在学术界和行业管理部门都存在很大的争议,影响了生态建设工程的效益评估和实施决策。

作者通过对上述这些相互对立的研究结果的深入分析后认为,森林对径流的影响在不同地区的不同表现不能简单地加以肯定或否定,这些结果在一定程度上都是成立的,它们反映了森林水文作用的区域分异特性,也是森林水文效应复杂性的体现,特别是其中反映的森林水文作用机制方面,很可能存在现在还没有完全认识的重要规律,各地的观测现象用现有的理论还难以统一解释,需要在评价理论和数学描述上加以深化,揭示出森林影响径流的核心原理,为不同森林水文现象找到统一的解释。

### 3 森林植被的水分自营作用假说

根据国内外在森林水文效应方面的大量观测试验和理论分析工作,作者发现,森林对径流的影响除了普遍认识到的蒸散发变化和径流调节作用以外,

森林群落还具有对环境的正向改造作用,这种环境改造体现了生态系统的自适应性,其的目的是形成有利于森林生存的水分环境条件,即森林通过对林区水分分布场的自主营造(改造)机制来增加林地的有效水分供应,改善林区的水文气象环境,创造出有利于森林生态系统的生存条件,同时也可能增加(或者降低)河川径流量。我们将森林植被对水分的这种作用称之为森林植被的水分自营作用,简称为森林水分自营作用。

森林水分自营作用假说包括森林对地面土壤贮水能力的调节、对地被层下渗能力的调节、对林区辐射平衡的调节,以及对林地蒸散发组成的调节(表1)。其中前两种调节主要是森林通过根系和凋落物的物理和生物化学作用,改造了林地的下垫面结构,调整了水分在林分地下的空间与时间上的分配,增加了根系层水分的有效供应量和供应时间,这已经在众多的野外观测试验中得到确认和定量模拟;而关于森林对辐射平衡的调节及其对蒸散发的影响是作者近年来的重要发现,即植物在漫长的进化史中形成了一种有利于光合作用的光谱响应特性,植物叶面产生出对有效光波段(可见光)高吸收(低反射率)和对无效光波段(热红外)高反射率的特征,参见图1。

由图中各种反射光谱特征可见,植物在可见光谱区(0.3~0.6 μm波段)的反射系数较小(约0.1,与土壤的反射率相当),而在近红外光波段却存在反射率跃增,即从0.7 μm的波长开始,植物叶面的反射系数陡然增大到0.4~0.6,而且无论植物的种类和枝叶结构如何,都存在这种反射率的跃升,而水体、土壤或岩石则不具有这个特性。植物在近红外光波段的高反射率是生物长期进化的结果。植物光合作用只能利用太阳光谱中的高能(短波)部分,低能(红外)光子达不到光合作用的量子阈值。而且红外光还有强烈的热效应,可引起植物体温升高,呼吸和异化代谢加强,不利于植物生长和营养物的积累。植物增大红外光反射率可有效地避免这种不利作用,获得最佳光能利用效益。

林地的辐射平衡是决定蒸散发潜能的关键。在气象因素不变的前提下,净辐射由地表覆盖物的反射系数决定。一般来说,林地与裸地蒸散发的差异,归根结底是由二者的反射率来决定。反射率低,吸收能量多,可供蒸发的能量就大,蒸发能力强,反之则小。

表 1 森林水分自营作用的机制  
Table 1 Mechanism of water self-support of forest

森林作用层次	环境要素调节	调节物理机制	调节结果	对水分的影响	水分贡献
林冠叶面	地表反射率	叶绿素生物物理效应	减少热能输入	降低林冠蒸散发量	增加有效供水量
林冠叶面	蒸散发面积	叶面重叠,气孔作用	增加蒸散发面积	增加林冠蒸散发量	增加水分消耗
林冠、树干	地表粗糙度	枝叶空气阻力,边界层阻力	减少气流交换	增大林区湿度	增加有效供水量
根系、凋落物	地表水汽通道	凋落枝叶覆盖	减少地面热量和水汽交换	降低地面蒸发量	增加有效供水量
根系、土壤	地表蓄水能力	增大土层厚度,增加孔隙率	提高土壤蓄水能力	增大土壤蓄水量,延长水分滞留时间,增加壤中流	延长有效供水时间
根系、土壤	地面下渗能力	增大孔隙率,增加大孔隙量	增大地面土壤下渗能力	减少地面漫流,增加土壤和地下径流	延长有效供水时间

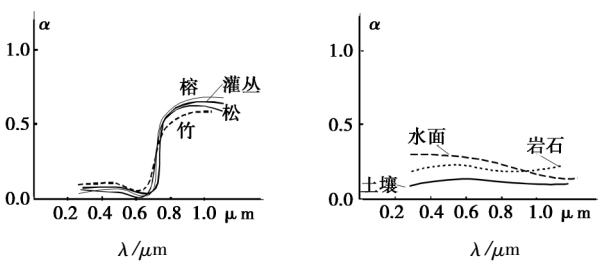


图 1 植物和地面光谱反射特性

Fig. 1 Reflectivity of plant and land surfaces at different wavelengths

通常,径流量的变化是由流域实际耗水量决定的,而实际耗水量又是由系统供水量和植被需水量两者中的较小者决定的。从森林水分自营作用假说的角度可以圆满地解释不同气候条件下植被覆被变化对流域径流量的影响。

1. 干旱条件

在干旱条件下,水分亏损严重,森林的耗水量主要由系统供水量决定。森林增加后导致系统供水能力大增,因此,系统的实际耗水量会大幅增加,径流量严重减少(图 2a)。

2. 湿润条件

在湿润条件下,水分供应充足,植被生长不会受到干旱胁迫。森林增加后,虽然供水能力增加了,然后由于植被需水量下降,使得实际耗水量减少,这部分水分会转化为径流,使得径流量增加(图 2b)。

3. 半干旱条件

在半干旱条件下,水分一般会有一定程度的亏损,森林覆盖增加后系统供水能力增加,这些水分可以部分或者全部用来弥补亏损,致使实际径流量减少(图 2c)。然而,在有些半干旱地区,由于植被增加导致森林系统需水量降低,以至于原本不足的水分供应变得充足,导致径流量增加(图 2d)。

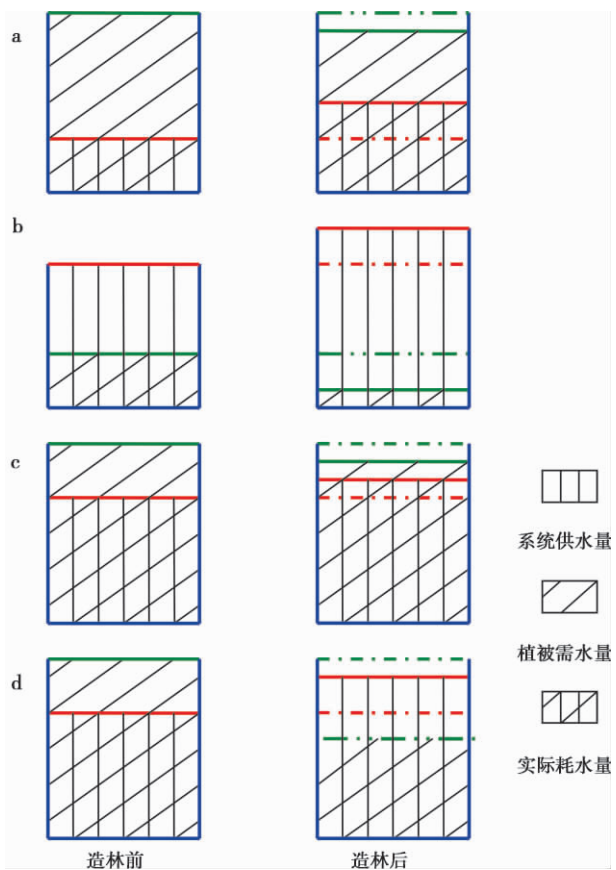


图 2 不同区域气候条件下造林对径流的影响

Fig. 2 Effect of afforestation on runoff yield under different regional climate conditions

4 森林水分自营作用的观测验证

森林水分自营作用假说比较好地综合了森林影响径流量的各个因素,能够统一解释森林水文效应中相互矛盾的试验结果。但是,要将该假说加以完善,提升到自调节原理上还需要做一些基础性的工作,解决森林自调节的作用条件、主要的调节变量、

调节的范围和程度等,也就是还需要建立森林水分自营作用的定量关系,解决不同流域尺度上自营作用的定量模拟问题。

根据水分自营作用的主要环节,可以在以下方面开展相关的观测试验。

#### 4.1 典型森林区辐射能量和水分通量的精细测量

对天然林和原始林等典型试验区布设配套的观测试验系统,采用多波段光谱测量仪,多波段辐射表,热红外温度计,热红外成像仪,土壤水分仪,土壤热通量仪,林下径流观测场和林冠涡度相关分析仪等仪器设备,将一个林分作为一个完整的系统,对其中的辐射能量输入输出、水分输入输出,系统内部水分的存贮和转换过程进行全面的测量,基本掌握影响森林生态系统的主要能量和水分要素及其变化动态,为研究森林蒸散发平衡和水分调节机制提供关键的野外观测数据。

#### 4.2 森林流域分布式蒸散发计算模式研究

目前计算森林区蒸散发的代表性模式是彭曼-蒙特斯公式,该模式可以比较好地计算出森林区的蒸散发能力(潜在蒸散发量),但是对于实际蒸散发计算,还必须考虑到森林和地面供水能力的限制,而这个因素在一个流域呈现空间变化的特点,因此,应该建立考虑到流域供水能力分布特点的森林蒸散发改进模式,森林对蒸散发的改变是影响水量平衡的关键机制,因此建立森林蒸散发模型将解决森林水分调节的重要问题。

#### 4.3 森林水分调节的主要环节及其计量标定

重点研究森林对水分调节的几个重要环节,解决各个环节上的调节程度(数量变化)和相互之间的关联。主要是森林对林冠蒸散发的影响,对林下地面的蒸散发影响,对土壤厚度和结构的影响,对土壤孔隙率和蓄水能力的影响,对土壤优势流和地下水流动性的影响等等,而这些作用的大小和程度受到森林群落结构和流域(林地)尺度的影响。项目将通过典型森林试验场的精细观测,确定森林植被要素和水分因素的关系,建立这些要素之间的数学公式,将森林水分调节的作用量化。

#### 4.4 林地水分调节关系解析

在对典型流域森林要素和水分特征观测试验的基础上,分别对森林区的辐射和蒸散发、森林凋落物和根系分布、林下土壤的机械结构和水理性能、林地水源分配迁移等环节进行专题研究,获得关于森林水文作用的系统观测数据。采用相关分析和方差分

析技术,研究植物枝叶特征与林冠蒸腾的关系,树木覆盖率(叶面指数)与地面土壤蒸发的关系,分析森林根系和凋落物对土壤厚度和结构的影响,测量不同林地下的土壤孔隙率和蓄水能力变化特征,揭示树木根系和土壤粒径对土壤优势流和地下水流动性的影响。对主要的调节环节,确定森林群落参数和水分因素之间的定量关系,建立这些要素之间的关系式或计算模式,将森林水分调节的作用量化。

#### 4.5 森林生态系统水文过程模拟

在以上观测和分析基础上,建立森林小流域的水文数学模型,集成以上关于森林要素对辐射能量和蒸散发的作用机制和水分调节函数,对林地土壤水分入渗和存贮迁移进行精细化模拟,并且考虑到土壤壤中流的作用。研发的森林水文模型是以生态系统动力学为基础,将更精细地反映植物生理-生态过程对环境的改造作用,在结构和参数中体现生态系统界面作用对水文过程的影响,在功能模块计算中解决环境因子和水分要素相互反馈问题,实现森林地区小流域的降雨-蒸散发-土壤水-地下水-沟溪径流的数学模拟仿真。

## 5 结 论

森林植被的水分的自营作用是作者在国内外森林水文效应方面的大量观测试验和理论分析工作的基础上,结合长期以来的实际经验提出的一种全新的理论。该理论认为:森林群落具有对环境的正向改造作用。森林植被通过对林区水分分布场的自主营造(调节)机制来增加林地的有效水分供应,改善林区的水文气象环境,创造出有利于森林生态系统的生存条件,同时引起河川径流量的增加或者降低。森林水分自营作用理论比较好地综合了森林影响径流量的各个因素,能够统一解释森林水文效应中相互矛盾的试验结果。为了完善和验证该理论,作者还提出了验证该理论的野外观测试验方法,包括典型森林区辐射能量和水分通量的精细测量、森林流域分布式蒸散发计算模式研究、森林水分调节的主要环节及其计量标定、林地水分调节关系解析和森林生态系统水文过程模拟。通过对这些系统的观测试验,可以进一步检验该理论的可靠程度,加深对森林对环境适应性的认识,提高森林水文效益评价的科学性。

## 参考文献(References)

- [1] Bonell M. Progress in the understanding of runoff generation dynamics in forests [J]. *Journal of Hydrology* ,1993 ,150: 217 – 275
- [2] McCulloch J S G ,Robinson M. History of forest hydrology [J]. *Journal of Hydrology* ,1993 ,150: 189 – 216
- [3] Whitehead P G ,Robinson M. Experimental basin studies—an international and historical perspective of forest impacts [J]. *Journal of Hydrology* ,1993 ,145: 217 – 230
- [4] Swanson R H. Forest hydrology issues for the 21st Century: a consultant's viewpoint [J]. *Journal of American Water Resources Association* ,1998 ,34(4): 755 – 763
- [5] Boon P J ,Calow P ,Petts G E. River conservation and management [M]. New Jersey: John Wiley & Sons ,1992.
- [6] Liu C M ,Dou Q C. Method of evapotranspiration estimation in soil – Plant – Atmosphere Continuum ( SPAC ) [J]. *Advances in Water Science* ,1992 ,3(4): 256 – 263 [刘昌明,窦清晨. 土壤 – 植物 – 大气连续体模型中的蒸散发计算[J]. *水科学进展* ,1992 ,3(4): 256 – 263
- [7] Li W H ,He Y T ,Yang L Y. A summary and perspective of forest vegetation impacts on water yield [J]. *Journal of Natural Resources* 2001 ,16(5): 398 – 406 [李文华,何永涛,杨丽韞. 森林对径流影响研究的回顾与展望 [J]. *自然资源学报* ,2001 ,16(5): 398 – 406]
- [8] Gao Jiarong ,Xiao Bing ,Zhang Dongsheng ,et al. Review on forest hydrology study in world [J]. *Journal of Soil and Water Conservation* 2001 ,15(5): 60 – 64 [高甲荣,肖斌,张东升,等. 国外森林水文研究进展评述[J]. *水土保持学报* 2001 ,15(5): 60 – 64]
- [9] Li Chanzhe ,Guo Weidong. Hydrologic effects of forest vegetation [J]. *Chinese Journal of Ecology* ,1986 ,5(5): 17 – 21 [李昌哲,郭卫东. 森林植被的水文效应[J]. *生态学杂志* ,1986 ,5(5): 17 – 21]
- [10] Bosch J M ,Hewlett J D. A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration [J]. *Journal of Hydrology* ,1982 ,55: 3 – 22
- [11] Cheng Gengwei ,Yu Xingxiao ,Zhao Yutao ,et al. The hydrological cycle and its mathematical models of forest ecosystem in mountains [M]. Beijing: Science Press ,2004. [程根伟,余新晓,赵玉涛,等. 山地森林生态系统水文循环与数学模拟[M]. 北京: 科学出版社 2004. ]
- [12] Mishra A ,Kar S ,Singh V P. Prioritizing structural management by quantifying the effect of land use and land cover on watershed runoff and sediment yield [J]. *Water Resources Management* ,2007 ,21: 1899 – 1913
- [13] Swank W T ,Crossley D A. Forest hydrology and ecology at Coweeta [M]. New York: Springer – verlag ,1988.
- [14] Botmonn F H ,Likens G F. Pattern and progress in a forested ecosystem [M]. New York: Springer – Verlag ,1979.
- [15] Sander R A. Urban Vegetation impacts on the hydrology of Dayton , Ohio. [J]. *Urban Ecology* ,1986 ,9: 361 – 376
- [16] Cheng Gengwei ,Hetherington E. The exploration of logging impacts on stormflow characteristics in West Pacific coast watershed [J]. *Journal of Mountain Research* ,1997 ,15(3): 167 – 172 [程根伟, Hetherington E. 太平洋西海岸森林砍伐对洪水特征的影响 [J]. *山地研究(现山地学报)* ,1997 ,15(3): 167 – 172]
- [17] Brechtel H M ,Fuehrer H W. Water yield control in beech forest: a pairedwatershed study in the Krofddorf forest research area [J]. *Interactions between Atmosphere ,Soil and Vegetation* ,1991 ,204: 477 – 484
- [18] Johnson R C ,Whitehead P G. An introduction to the research in the Balquhider experimental catchments [J]. *Journal of Hydrology* ,1993 ,145: 231 – 238
- [19] Chirino E ,Bonet A ,Bellot J ,et al. Effects of 30 – year-old Aleppo pine plantations on runoff ,soil erosion ,and plant diversity in a semi – arid landscape in south eastern Spain [J]. *Catena* 2006 ,65: 19 – 29
- [20] Mohammad A G ,Adam M A. The impact of vegetative cover type on runoff and soil erosion under different land uses [J]. *Catena* ,2010 ,81: 97 – 103
- [21] Liu Changming ,Zhong Junxiang. Effects of forest on annual runoff on the Loess Plateau [J]. *Acta Geographica Sinica* ,1978 ,33(2): 112 – 116 [刘昌明,钟骏襄. 黄土高原森林对年径流影响的初步分析[J]. *地理学报* ,1978 ,33(2): 112 – 116]
- [22] Ruprecht J K ,Schofield N J. Effects of partial deforestation on hydrology and salinity in high salt storage landscapes. II. Strip ,soils and parkland clearing [J]. *Journal of Hydrology* ,1991 ,129: 39 – 55
- [23] Li K Y ,Coe M T ,Ramankutty N ,et al. Modelling the hydrological impact of land use changes in West Africa [J]. *Journal of Hydrology* 2007 ,337: 258 – 268
- [24] Harr R D. Stream flow after patch logging in small drainages within the Bull Run municipal watershed Oregon [R]. Res. Pap. PNW – 268Pac. Northwest For. And Range Exp. St. Portland Oregon U. S. Dep. Of Agric ,1980.
- [25] Zhou Xiaofeng ,Zhao Huixun ,Sun Huizhen. Proper assessment for forest hydrological effect [J]. *Journal of Resources* 2001 ,16(5): 420 – 42 [周晓峰,赵惠勋,孙慧珍. 正确评价森林水文效应 [J]. *自然资源学报* ,2001 ,16(5): 420 – 426]
- [26] Ma Xuehua. Forest hydrology [M]. Beijing: Forestry publishing house of China ,1993. [马雪华. 森林水文学[M]. 北京: 中国林业出版社 ,1993. ]
- [27] Zhu Daoguang ,Cai Tiji ,Yao Yuefeng ,et al. Effects of forest harvesting on river runoff in Xiaoxing'anling [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology* 2005 ,16(12): 2259 – 2262 [朱道光,蔡体久,姚月峰,等. 小兴安岭森林采伐对河川径流的影响[J]. *应用生态学报* 2005 ,16(12): 2259 – 2262]
- [28] Ngh M S Y C ,Reid I. The impact of land use change on water yield: the case study of three selected urbanised and newly urbanised catchments in Peninsular Malaysia [G]//Zdruli P. et al. Land degradation and desertification: assessment ,mitigation and remediation ,DOI 10. 1007/978 – 90 – 481 – 8657 – 0\_26 2010
- [29] Cheng Gengwei ,Zhong Xianghao. The quantitative indexes of the ecological effects of protective forest system [J]. *Journal of Soil and Water Conservation* ,1992 ,6(3): 79 – 86 [程根伟,钟祥浩. 防护林生态效益定量指标体系研究[J]. *水土保持学报* ,1992 ,

- 6(3): 79–86]
- [30] Huang Bingwei. Correct assessment of the importance of forest [J]. Knowledge of Geography, 1981, (1): 1–3 [黄秉维. 确切地估计森林的作用[J]. 地理知识, 1981, (1): 1–3]
- [31] Cheng Genwei, Zhong Xianghao, He Yucheng. The review and recent progress in forest-hydrology [J]. Exploration of Nature, 1996, 15(56): 81–85 [程根伟, 钟祥浩, 何毓成. 森林水文研究中的悖论及最新认识[J]. 大自然探索, 1996, 15(56): 81–85]
- [32] Liu C M. The influence of forest cover upon annual runoff in the Loess Plateau of China [J]. Acta Geographica Sinica, 1978, 33(2): 112–116 [刘昌明. 黄土高原森林对年径流影响的初步分析[J]. 地理学报, 1978, 33(2): 112–116]

## The Water Self-supporting Effects of Forest and Its Field Experimental Verification

CHENG Genwei<sup>1</sup>, TIAN Yu<sup>1, 2</sup>

(1. Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS, Chengdu 610041, China;

2. Sichuan Academy of Environmental Sciences, Chengdu 610041, China)

**Abstract:** As the main body of the terrestrial ecosystem, forests play an important role in the water cycle of the epigeosphere. It is generally acknowledged by the scholars that the forest has such ecological functions as water and soil conservation, water resources conservancy and water quality improvement. However, it is still controversial in the academic circles whether forests increase or decrease the stream flow. Based on the extensive domestic and foreign observation and theoretical analysis in the field of hydrological effect of forest, a hypothesis which is called water self-supporting effects of forest was propounded. The hypothesis holds that forests can positively improve water environment. Forest vegetation can add available moisture supply to woodland, modify the forest hydro-meteorological conditions and create favorable living conditions for plant survival through self-building/adjusting the water distribution of the forest ecosystem, leading to the increase or decrease of the river runoff. The hypothesis synthetically considers the various factors affecting runoff formation in forest ecosystem and also can systematically explain the contradictory experimental results in hydrological effects of forest. To further understand and perfect the theory and contribute to forest hydrological effects assessment, some experiment verification methods, such as accurate measurement of radiation energy and water flux in typical forest, researches on distributed forest watershed evaporation calculation model, studies on the key links of the water self-adjusting effects of forest and its quantification, analysis on water self-adjusting relations in forestland and hydrological process simulation of forest ecological system, were proposed.

**Key words:** forest community; water self-management function; hydrological effect; experimental verification methods