

森林生态系统对降水的分配与拦截效应

鲍文^{1, 2}, 包维楷^{1*}, 何丙辉², 穗蓉²

(1. 中国科学院成都生物研究所, 成都 610041; 2. 西南农业大学, 重庆 北碚 400716)

摘 要: 森林生态系统对降水的截留、分配与拦截一般通过降水在森林生态系统中的乔木层、灌草植物、枯落物和土壤等组分间的转移过程来实现, 阐明森林生态系统各组分对降水的分配效应是正确评估森林水文效应的关键。本文系统综述了森林生态系统各组分对降水分配效应的国内外主要研究成果, 并指明了目前该方面研究存在的问题和努力方向。对乔木层的大量观测研究表明, 林冠截留率在 9.0%~69.1% 左右, 树干茎流率在 0%~5% 间, 并受森林类型、林分特征以及降水事件等因素的综合影响。林下灌草层、枯落物层以及土壤层对降水的截留分配研究不足, 还难于得出可靠的结论, 已经制约着我们对整个森林生态系统对降水的分配截留效应的评估。森林对降水分配过程的建模及其优化研究相对缺乏, 这无法使研究结果由点向面进行尺度转换和应用。目前已有的大多数研究还处于实验观测与现象揭示阶段, 缺乏对过程与机理的深入研究, 也很少进行多因素的动态综合研究和系统分析, 限制了对森林生态系统水文过程的内在运行机制和客观规律的正确认识和评估。强化对目前最薄弱的环节——灌草层、凋落物层、土壤以及整个系统对降水的分配截留贮存效应的综合定量监测与建模研究是阐明森林水文效应的关键。

关键词: 森林生态系统; 截留效应; 降水; 影响因素

中图分类号:

文献标识码: A

水是森林生态系统中最活跃、最有影响的因素, 是人类生存与发展的重要物质基础, 一直是当今林学和生态学领域研究的核心要素。水作为载体, 在森林生态系统中的循环与分配整合了能量流动和养分循环等生态功能过程。因此水文功能(水源涵养水土保持)是森林生态系统的作用中人们最为关注的一个重要服务功能。森林的水文作用一般通过森林生态系统对降水的分配、拦截和贮存等生态过程来实现的。

探讨森林生态系统的水文作用不仅有助于从理论上阐明森林的水源涵养水土保持的生态过程及其机制, 更重要的是将有助于加深人们对森林作用的认识, 促进森林的合理保护和恢复重建。自 20 世纪 50 年代以来, 世界各国从多方面对森林的水文作用进行了富有成就的探索, 并取得了许多研究成

果^[1-3]。虽然我国对森林水文作用的研究起步较晚, 但从 20 世纪 80 年代以来, 随着林业部森林生态系统网络建设、中国科学院生态系统研究网络建设以及我国长江防护林工程等的建设和研究, 森林水文作用研究一直是最重要的研究方向之一, 开展了很多研究。涉及的主要森林类型有油松林^[4-10]、马尾松林^[11-15]、杉木林^[16-19]、山杨林^[20-22]、杉阔混交林^[23, 24]、冷杉林^[25]、温带落叶阔叶林^[26]、亚热带常绿阔叶林^[18, 19, 27]、热带雨林等等。这些为我们正确认识和客观评价森林水源涵养水土保持的效果提供了依据。

本文的主要目的是基于前人的研究成果及资料, 分析森林林冠层、灌草层、枯枝落叶层及土壤层的截留效应, 探讨森林生态系统不同层次对降水的分配、拦截、贮存涵养能力。从森林生态系统的角

收稿日期(Received date): 2003- 12- 04; 改回日期(Accepted): 2004- 03- 11。

基金项目(Foundation item): 中国科学院知识创新工程项目(KSCX1- 07- 01)、国家科技攻关项(2001BA606A- 05- 03)以及中国科学院茂县山地生态系统定位研究站共同资助。[Supported by The Knowledge Innovation Projection of CAS(No. KSCX1- 07- 01), state key item of researching on science & technology (2001BA606A- 05- 03), Maoxian Mountain Ecosystem Research Station, CAS.]

作者简介(Biography): 鲍文(1977-), 男, 硕士研究生, 主要从事森林水文、水土保持等方面研究。[Bao Wen(1977-) male, master, works mainly on hydrology of forest and water and soil conservation. Email: baowen6634@sina.com]

© 1994- 2008 China Academic Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

度,分析其水文效应,发现存在问题,为深入研究提供依据。

1 森林对降水的分配、拦截、贮存的一般过程

大气降水通过森林植被,首先落在树木的叶、枝、干等树体表面,在表面张力与重力均衡时,水被吸附并积蓄在枝叶分杈处及表面。达到一定数量后,表面张力与重力失去均衡,其中一部分受重力或风力影响从树上滴落(drip),或从叶转移到枝,再转移到树干并通过茎流或树干流(Stem flow)而转移到林地表面;降水过程中也有一部分未接触树体,而直接穿过林冠间隙落到林地,此量称为穿透雨(through fall)^[30]。滴落量、穿透雨量之和即为林内雨量。在降雨连续某段时间内林冠上空的雨量(即林外雨量),减去林内雨量和茎流雨量,剩下部分是该段降雨时间内从树体表面通过蒸发返回到大气中的雨量和降雨终止时树体表面还保留的雨量,这部分雨量称为树冠截留雨量(crown interception)^[31]。经过林冠、树干截留之后流下的雨水到达林地后,其中一部分被枯枝落叶吸附,随后即蒸发到大气中,这部分雨量叫做林地枯枝落叶截留雨量(litter interception),另一部分透过枯枝落叶层达林地土壤。此外,部分降雨也被森林生态系统中的植物吸收利用而进入植物内循环。因此,降水在森林生态系统中的分配、拦截、贮存的一般过程可归纳为如图1所示的过程。

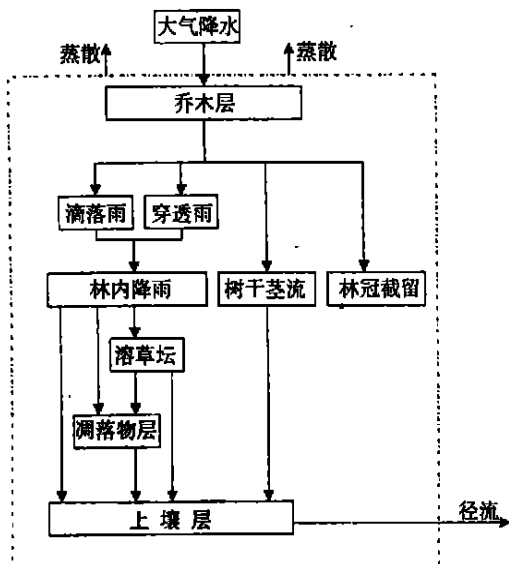


图1 森林生态系统对降水的截留、分配与贮存的一般过程

Fig. 1 The procession of interception, distribution and storage of rainfall in the forest ecosystem

2 乔木层对降水的生态效应

2.1 冠层截留效应及其影响因素

冠层是大气降水进入森林后的第一个作用面,其对降水的截留量是森林水文效应的一个重要方面,直接影响降水在森林生态系统中的整个循环过程。对森林植被截留研究已发表的资料(1982~1993年)分析表明,林冠截留率在11.4%~36.5%间变化^[32],其他许多作者认为,林冠截留占总降水量的9.0%~69.1%左右^[3, 15, 33-38]。

林冠截留的基本特点是,旱季的截留率大于雨季,截留量随着降雨量的增大而增加,但截留率减小,林冠截留率区域性差异明显^[39, 40]。许多研究表明,林冠截留主要受包括森林类型、林分特征(如树种、林冠郁闭度、林木密度、林冠贮水能力、叶面积系数、枝叶湿润度)、降水特征(降水形态、降水强度、降水过程)等等在内的诸多因素影响^[20, 41-46]。大量的研究集中在研究林冠截留与降雨事件(强度、过程与历时等)的关系方面,林冠截留量与降水量存在着紧密的线性或幂函数式关系^[17, 22, 42, 47-50],雨量强度越小,林冠拦截率越高,尤其是当降雨量小,历时较长时,截留率越高,对降水的涵养比率越高^[32]。通常林冠截留率随郁闭度和林分密度的增加而增加,例如,油松人工林郁闭度从75%增加到85%时,截留量从51.1 mm增加到56.7 mm,截留率增加7.7个百分点^[51]。就降水形态而言,降雪截留和降雨截留的过程大致相同,但林冠对降雪和降雨的储存方式不同^[52],一般认为同一林冠层对降雪的截留量较降水的大。

建立截留模型预测林冠截留效应,探讨一般性规律是林冠截留研究从实验走向应用实践的关键。在林冠层对降水的截留的模型发展上,国外有大量研究^[39, 53-59]。其中以Rutter和Gash林冠截留模型物理意义明确、涵盖面广、实用性强、应用最广、误差最小^[2, 8, 57, 58, 60-64]。一个重要的发展趋势是模型中经验参数也越来越少^[65, 66],建模过程不断更新和改进,考虑的影响因素也是在不断的完善,为模型适用不同区域特点,解决林冠截留区域性问题的提供了一条重要途径。值得一提的是,Domingo等^[67]把修正后的Rutter模型(1971)应用到半干旱地区的灌丛截留,为研究很少且较困难的灌丛截留效应奠定了一定的基础。

从目前大量的林冠截留研究来看,我国的相关研究更多的是处于定位实验与现象的揭示的初步阶段,考虑的影响因素主要是降水特征以及林分郁闭度等少数因素上,普遍关心的是林冠对降水的月或年截留量大小,而不是林冠对一次降雨截留的大小,没有讨论林冠截留与除降水量、郁闭度以外的因素(如林冠湿润度,林冠贮水能力,枝叶量,等)的定量关系,且大多数尚停留在定性的单因素分析水平上。国外在林冠截留方面的研究,不仅考虑了影响林冠截留的降水(降水量、降水强度、降水历时)、林冠特征(郁闭度、湿润度、林冠储水能力)等众多因素,分析过去和现在森林对降水的截留效应,而且更注重截留模型的建立,能够很好的预测林冠截留效应。已经从定位的实验与现象揭示阶段发展到通过模型探讨林冠截留的过程与机理的深入阶段。

2.2 树干截留

树干茎流在森林对降水的分配各个分量中只是一个微小的部分,在定量研究里常常被忽视^[55, 68, 69],但这部分在生态系统中的作用却是不容低估的。树干径流不仅是引起局部地段产生蓄满径流的源,更重要的是它对森林生态系统养分、矿质元素的输入影响很大^[70-72],对林内树干附生植物如苔藓地衣等的生存与发展的影响尤为关键。一般树干茎流可以数倍于林外的降水量进入林木根系富集的树根周围,补偿林木蒸腾耗散所需水分,对林木生长发育也有着重要的意义^[11, 20]。

森林中茎流率的高低主要受两个因素影响:(1)林分特征。树干茎流主要与树皮吸水性能、分枝角度、树干胸径、树皮粗糙度以及立木密度有关^[50, 73, 74],与郁闭度关系不显著^[75],在郁闭度相近时,不同林型的树干茎流量差异极为显著,亚热带主要林型的树干茎流量为 6.2~66.7 mm/a,约占林外降水量的 0.5%~3.3%,以毛竹林最大,是其它林型的 3~10 倍,其中针叶林最小^[74]。刘文耀等^[28]在滇中的研究发现,常绿阔叶林的茎流率(0.5%)显著高于针叶林(0.3%)。马尾松林的树干茎流率(0.15%)也大大低于同一地区的季风常绿阔叶林(1.8%~2.1%)^[76]。(2)降水特点。树干茎流随着林外降水量的增加呈现增大的趋势,在东北老山人工红松林的研究发现,林外降雨量<2 mm 时,几乎不发生树干茎流,在林外降水量<13 mm 以前,随着林外降雨量的增加,树干茎流率增加迅速,此后趋于稳定^[45]。在杉木林的观测发现,其树干茎流量很

小,对于 10 mm 以下的一次性降水将不会发生树干茎流,15~20 mm 的一次性降水茎流率也只有 0.2%,达 40 mm 降水量的一次性降水的茎流率为 0.6%^[77];而南亚热带的马占相思人工林的树干茎流率却比较大,只有在降水量<0.6 mm 时,才观测不到树干茎流的发生,产生茎流时茎流量与林外降水有明显的线性关系。马祥庆等^[16]在福建的研究表明,杉木幼林(6 a 生,3 600 株/hm²) 在降水量<4 mm 时,茎流量为 0,雨量级在 4~6 mm 时,树干截留率为 1.15%,其后树干截留率随雨量增加而增加。可以看出,只考虑影响茎流的降雨因素,不同区域的不同树种之间差异显著,产生树干茎流时的林外降水量在 2~10 mm 间波动。归纳起来,森林树干茎流量占林外降水的比例较小,一般变动于 0%~5% 间^[78],茎流量与林外降水、林木胸径有着很大的相关性。由于影响茎流的因素多且复杂,在不同区域测定所得的结果差异较大,在同一地区不同树种间的差别也很明显^[27, 37, 65]。

利用我国不同区域已有的观测资料^[7, 8, 15, 16, 27, 44, 45, 79],我们对 61 组月降水数据进行了统计分析发现,树干平均茎流率为 5.59%,茎流量与林外降水量之间有着紧密线性相关关系 $y(\text{树干茎流量 mm}) = 0.0593x(\text{林外降水量 mm}) - 0.2735$,相关系数达 0.869。一般产生树干茎流的最小林外降水量为 4.6 mm,同已有研究成果^[31, 65]一致。同时也发现,树干茎流量与胸径之间的相关系数也达 0.866,并且茎流率随着胸径的增大而增加,平均胸径为 6.7 cm 时,茎流率是 4.94%,胸径增加到 16.6 cm,茎流率为 6.88%,增加了近 2 个百分点。

3 林下灌木与草本层的生态效应

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。灌草层对降水的截留处于森林乔木层下面,其截留规律与林冠截留有很大的不同。主要是因为林下植被体积小,无明确的冠形,并且还易于变形,导致可信赖的测定相当困难,同时与林冠截留相比,各方面的重要性也都较低^[77]。目前有关这方面的研究资料少见,可以供参考进行对比分析的冠草层截留实例不多,也没有统一的测定方法。但从有限的对林下灌草层对降水截留效应的

研究来看,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^[80],其截留量约为林冠截留量的 $1/10$ ^[74]。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^[81]。采用人工模拟降水方法测定结果表明灌木层截留量为 27.2 mm/a , 占林外降水量的 1.77% ^[82]。

4 林下凋落物层的截留效应

凋落物层在森林植被截留拦蓄作用中占主导地位,由于凋落物的存在,不仅能直接截留降水,减少输入林地土壤的雨量,更重要的是它能削弱降水动能,降低雨滴对土壤表面的直接冲击,减少了水土流失^[9,81,83]。经过林冠、下草截留之后漏下的雨水到达林地,其中一部分被枯枝落叶吸附,随后即蒸发到大气中,这部分雨量叫做林地枯枝落叶截留雨量(litter interception);对这部分雨量进行测定的实例还不多,在现场测定这部分“截留”非常困难,通常是选取样品在实验室用实验方法进行测定和推算^[31,77]。

枯枝落叶的截留能力除取决于林地枯落物的持水能力、蓄积量、分解程度等^[84],与其自身湿润度、林外降水特征有关^[10]。Putuhen^[85]观测辐射松(*Pinus radiata*) 27 a (1967~1993 年)的研究结果表明,随着林内枯落物量的增加,截留率呈现明显的上升趋势,1978 年的枯落物年截留量为 1.5 mm , 占林外降水的 0.2% , 到 1991 年,截留率增至 13.7% 。赵鸿雁等^[21]对山杨枯枝落叶的截留研究表明,其自身持水率可达 256.9% ;在两年的观测中,降水总量为 477.4 mm , 枯枝落叶的截留量为 90.0 mm , 平均截流率为 18.9% 。并且对 25 次降雨进行分析,得出枯枝落叶截留量(I_l)与林外降水量(p)单因子的指数关系($I_l = 0.661p^{0.483}$ $n = 25, r = 0.84$)。吴钦孝等人在陕西宜川对山杨林的 6 年研究发现,枯枝落叶截留总量为 176.3 mm , 占林外降水的 7.7% ;同时在该区对人工油松林 5 a (1996~2000 年)的定位观测发现,枯枝落叶年平均截留量 54.2 mm , 占大气降水的 12.4% ^[9,20]。进一步证明了同一地区不同树种之间枯落物层截留效应存在显著差异。大量研究表明, (1) 其截留量与枯枝落叶的种类、厚度、持水性、降雨特点、湿度及分解程度有密切关系; (2) 随着降雨强度的增加,其截留量的百分比相应减

少; (3) 其截留量是有一定限度的。

国内外在枯枝落叶截留总量方面的研究较多,对枯枝落叶截留的动态过程的研究极少^[40,86-88],而枯枝落叶截留的动态过程对正确评价森林涵养水源及其环境效应又是不可缺少的重要指标,同时又对产流产沙的过程有深刻的影响。因此,研究枯枝落叶的截留过程对正确评价森林水文效应及其水土保持功能有重要的意义。

5 林下土壤层的生态效应

森林内土壤层的截留是对降水的第三次分配,其截留效应受乔木层、枯落物层截留的间接影响^[89],此外土壤截留量取决于土壤孔隙度的大小和数量^[80],对它的研究相对较少,目前对森林内土壤层截留相关的研究主要集中在一段时间或空间土壤水分的动态变化^[43],归纳起来主要体现在三个方面:土壤水分的季节变化、土壤水分的垂直变化以及土壤水分有效性研究^[90]。因此,土壤层对降水截留效应的比较案例还没有。而森林土壤是森林生态系统水分贮藏的主要场所^[32,74,91],是森林生态系统截留降水的主要场所^[80,92,93],其对降水截留效应的研究应引起足够的认识,同时土壤层的截留也是整个森林生态系统不可缺少的一部分,有必要进一步加强研究。

6 结论

森林生态系统对降水的分配截留作用(水文效应)相当明显,主要通过林冠截留、树干截留、灌草层、凋落物以及土壤的储存等过程来实现。已有大量的研究集中于对林冠截留、树干截留的效果。一般林冠截留率在 $9.0\% \sim 69.1\%$ 左右,树干截留率在 $0\% \sim 5\%$ 间,不同树种之间存在很大的差异,同一树种在不同地区也明显不同,并且每一个层次截留效应的影响因素都与林外降水(降水量、降水强度、降水持续时间等)密切相关。此外,林冠截留还与林冠特征(郁闭度、林冠贮水能力、枝叶量、枝叶湿润度)有关;而树干截留与树皮吸水性能、分枝角度、树干胸径等因素有关;对林下灌草层对降水的截留分配研究由于研究方法与定位研究的困难,目前研究相对很少。作为森林生态系统水文效应的关键组分的土壤对降水的分配作用的相关研究较少,而对

枯落物层的截留作用主要通过模拟实验来进行,由于影响因子很多目前还没有统一的结论。

从已有的研究来看,森林生态系统对降水的分配、截留与分配效应远未阐明。大多数研究孤立对森林生态系统各组分(如冠层、灌木层、草本层、凋落物等)开展监测研究,缺乏对森林生态系统整体的监测研究,我们甚至还无法准确回答诸如在特定的降雨事件下一个特定的森林生态系统究竟能截留多少降雨量,更不用说阐明森林生态系统的水文过程和机制。需要对目前最薄弱的环节——灌草层、凋落物层、土壤以及系统开展深入定量的监测研究。更重要的是,要定量说明森林生态系统对降水的分配、截留与贮存的生态效应,客观准确评价一个森林生态系统的水文作用,需要加强从整个森林生态系统的角度,全面研究各组分(乔、灌草、凋落物以及土壤)综合对降水的水文分配效应。目前已有的大多数研究还处于实验观测与现象的揭示,缺乏对过程与机理的深入研究,也很少进行多因子连续不断的动态综合研究和系统分析,已经限制了我们揭示森林生态系统的内在运行机制和客观规律,无法使研究结果由个别定位站点向面(地区性、区域性、全国性乃至全球)上进行尺度转换和应用。

参考文献(References):

- [1] Bosch J. M., Hewlett J. D. A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration[J]. *J. Hydrol.*, 1982, 55: 3~ 23.
- [2] Franklin J. Toward a new forestry[J]. *American Forests*, 1989, (5): 37~ 44.
- [3] Hornbeck J W, Swank W T. Watershed ecosystem analysis as a basis for multiple use management of eastern forest [J]. *Ecol. Appl.*, 1992, 2: 238~ 247.
- [4] Gao Jiarong, Zhang Dongsheng, Xiao Bin, et al. Nutrient distribution and accumulation pattern of Chinese Pine plantation ecosystems in the loess region[J]. *Journal of Beijing forest university*, 2002, 24(1): 26~ 30. [高甲荣,张东升,肖斌,等.黄土区油松人工林生态系统营养元素分配格局和积累的研究[J].北京林业大学学报,2002,24(1):26~ 30.]
- [5] Chen Yunming, Wu Qinxiao, Liu Xiangdong. A study on redistribution of precipitation by artificial Chinese Pine in loess hilly region [J]. *Journal of north China institute of water conservancy and hydroelectric power*, 1994, 1: 62~ 68. [陈云明,吴钦孝,刘向东.黄土丘陵区油松人工林对降水再分配的研究[J].华北水利水电学院学报,1994,1: 62~ 68.]
- [6] Wei Tianxing, Zhu Jinzhao, Zhang Xuepei, et al. The regularity of water consumption of black locust and Chinese Pine on loess slope in southwestern of Shanxi province[J]. *Journal of Beijing forestry university*, 1998 20(4): 36~ 40. [魏天兴,朱金兆,张学培,等.晋西南黄土区刺槐油松林地耗水规律的研究[J].北京林业大学学报,1998 20(4): 36~ 40.]
- [7] Zhao Huanying, Zhu Jinwei, Wang Weihua. Effects of rainfall interception of *Pinus tabulaeformis* in semi-arid area[J]. *Journal of northeast forestry university*, 1997, 25(6): 66~ 70. [赵焕胤,朱劲伟,王维华.半干旱地区油松人工林带降水截留作用分析[J].东北林业大学学报,1997,25(6): 66~ 70.]
- [8] Dong Shiren, Guo Jingtang, Mna Rongzhou. Study on the through-fall, stem-flow and crown interception of artificial *Larix principis ruppechtii* forest plantation [J]. *Journal of Beijing forestry university*, 1987, 9(1): 58~ 67. [董世仁,郭景唐,满荣州.华北油松人工林的透流、干流与树冠截留[J].北京林业大学学报,1987,9(1): 58~ 67.]
- [9] Zhao Hongyan, Wu Qinxiao, Liu Guobin. Studies on soil and water conservation function of litter in Chinese Pine stand on Loess Plateau[J]. *Scientia silvae sinicae*, 2003, 39(1): 168~ 172. [赵鸿雁,吴钦孝,刘国彬.黄土高原人工油松林枯枝落叶层的水土保持功能研究[J].林业科学,2003,39(1): 168~ 172.]
- [10] Zhao Hongyan, Wu Qinxiao, Liu Guobin. Studies on hydro-ecological effects of artificial Chinese Pine stand in Loess Plateau[J]. *Acta ecologica sinica*, 2003, 23(2): 376~ 379. [赵鸿雁,吴钦孝,刘国彬.黄土高原人工油松林水文生态效应[J].生态学报,2003,23(2): 376~ 379.]
- [11] Mo Jiangming, Fang Yunting, Feng Zhaonian, et al. Eco-hydrological functions of a human disturbed *Pinus massoniana* forest in Dinghushan Biosphere reserve[J]. *Journal of tropical and sub-tropical botany*, 2002, 10(2): 99~ 104. [莫江明,方运霆,冯肇年,等.鼎湖山人为干扰下马尾松林水文生态功能[J].热带亚热带植物学报,2002,10(2): 99~ 104.]
- [12] Huang Chengbiao, Wei Binger, Li Jiejian. A study on surface runoff of different types of vegetation in Guangxi autonomous region[J]. *Scientia silvae sinicae*, 1991, 27(5): 490~ 497. [黄承标,韦炳二,黎洁娟.广西不同植被类型地表径流的研究[J].林业科学,1991,27(5): 490~ 497.]
- [13] Zhou Chongguang, Cai Xizhou, Shen Xinzuo, et al. The preliminary investigation on the effects of forest soil hydro-ecology in Tianmu mountain[J]. *Forest research*, 1990, 3: 215~ 221. [周重光,柴锡周,沈辛作,等.天目山森林土壤的水文生态效应[J].林业科学研究,1990,3: 215~ 221.]
- [14] Li Fei, Wang Yingfang, Chen Yongrui, et al. Study of hydrological characters and movement of mineral elements of *Pinus massoniana* forest watershed[J]. *Journal of soil erosion and soil and water conservation*, 1996, 2(3): 78~ 82. [李飞,王英芳,陈永瑞.马尾松林水文特征及其矿物质元素迁移研究[J].土壤侵蚀与水土保持学报,1996,2(3): 78~ 82.]
- [15] Ma Xuehua, Yang Maorui, Hu Xingbi. A study on hydrological function of subtropical plantations of *Cunninghamia lanceolata* and *Pinus massoniana*[J]. *Scientia silvae sinicae*, 1993, 29(3): 199~ 206. [马雪华,杨茂瑞,胡星弼.亚热带杉木、马尾松人工林水文功能的研究[J].林业科学,1993,29(3): 199~ 206.]
- [16] Ma Xiangqing, He Zhiyin, Yu Xintou, et al. Study on

- hydrological benefit of the ecosystem of thicket Chinese fir plantation[J]. *Journal of Fujian college of forestry*, 1994, **14**(1): 35~39. [马祥庆, 何智英, 俞新妥, 等. 杉木幼林生态系统水文效应研究[J]. 福建林学院学报, 1994, **14**(1): 35~39.]
- [17] Fan Houbao. Precipitation interception by Chinese fir plantation[J]. *Journal of Fujian college of forestry*, 1998, **18**(1): 92~95. [樊后保. 杉木人工林对降水的截留作用[J]. 福建林学院学报, 1998, **18**(1): 92~95.]
- [18] Xiao Jinxi, Song Yongchang. The hydrological effects in a monsoon evergreen broad-leaved forest of Tiantongshan forest park[J]. *Journal of Shanxi teachers university* (Natural science edition), 1993, (supp): 84~89. [肖金喜, 宋永昌. 天童山森林公园常绿阔叶林水文作用的初步研究[J]. 山西师大学报(自然科学版), 1993, (增刊): 84~89.]
- [19] Jin Bowen, Wang Jinye, Chang Zongqiang, et al. A study on hydrologic function of canopy of *Picea crassifolia* in Qilian mountains[J]. *Journal of northwest forestry university*, 2001, **16**(supp): 39~42. [金博文, 王金叶, 常宗强. 祁连山青海云杉林冠层水文功能研究[J]. 西北林学院学报, 2001, **16**(增刊): 39~42.]
- [20] Zhao Hongyan, Wu Qinxiao, Liu Guobin. Studies on hydro-ecological effects of *Populus Davidiana* stand[J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2002, **26**(4): 497~500. [赵鸿雁, 吴钦孝, 刘国彬. 山杨林的水文水生态效应研究[J]. 植物生态学报, 2002, **26**(4): 497~500.]
- [21] Zhao Hongyan, Wu Qinxiao, Liu Xiangdong. Hydrological and water conservative function of litter-fall in the stands of *Populus Davidiana*[J]. *Scientia silvae sinicae*, 1994, **30**(2): 176~180. [赵鸿雁, 吴钦孝, 刘向东. 山杨枯枝落叶的水文水保作用研究[J]. 林业科学, 1994, **30**(2): 176~180.]
- [22] Zhao Hongyan, Wu Qinxiao, Liu Xiangdong. Study on hydrology and soil conservation effects of mountain Poplar forests[J]. *Yellow river*, 1994, (4): 27~30. [赵鸿雁, 吴钦孝, 刘向东. 山杨林的水文水保作用研究[J]. 人民黄河, 1994, (4): 27~30.]
- [23] Zheng Yushan, Zhang Weiying. Study on hydrology of mixed forest of *Cunninghamia lanceolata* and *Tsoongiodendron odorum*[J]. *Fujian college of forestry*, 1998, **18**(03): 215~218. [郑郁善, 张炜银. 观光木杉木混交林水文特征研究[J]. 福建林学院学报, 1998, **18**(03): 215~218.]
- [24] Liu Shouqiang. The hydrology of mixed forest of *Magnolia biloba* and *Cunninghamia lanceolata*[J]. *Journal of Fujian College of forestry*, 2001, **21**(3): 245~248. [刘寿强. 凹叶厚朴杉木混交林的水文特征[J]. 福建林学院学报, 2001, **21**(3): 245~248.]
- [25] Zhang Hu, Ma Li, Wen Yali. Precipitation and its re-distribution of *Picea crassifolia* in Qilian mountain[J]. *Journal of Gansu forestry science and technology*, 2000, **25**(4): 27~30. [张虎, 马力, 温娅丽. 祁连山青海云杉林降水及其再分配[J]. 甘肃林业科技, 2000, **25**(4): 27~30.]
- [26] Wan Shiqiang, Chen Lingzhi. Canopy distribution of precipitation in warm temperate deciduous broad-leaved forests[J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 1999, **23**(6): 557~561. [万师强, 陈灵芝. 暖温带落叶阔叶林冠层对降水的分配作用[J]. 植物生态学报, 1999, **23**(6): 557~561.]
- [27] Yu Sijun, Xu Liqun, Hang Yunya. Study on hydrological effect of evergreen broadleaf forest ecological system[J]. *Journal of Zhejiang forest science and technology*, 1994, **14**(3): 32~35. [俞似军, 许利群, 杭韵亚. 常绿阔叶林生态系统水文效应研究[J]. 浙江林业科技, 1994, **14**(3): 32~35.]
- [28] Liu Wenyao, Liu Lunhun, Zheng Zheng, et al. Preliminary study on hydrologic effect of evergreen broad-leaved forest and *Pinus Yunnanensis* forest in central Yunnan[J]. *Acta Phytocologica Et Geobotanica Sinica*, 1991, **15**(2): 160~167. [刘文耀, 刘伦辉, 郑征, 等. 滇中常绿阔叶林及云南松水文作用的初步研究[J]. 植物生态学与地植物学学报, 1991, **15**(2): 160~167.]
- [29] Huang Chengbiao, Wei Feng. Climatic and eco-hydrologic functions of forest vegetation in subtropics of Guangxi[J]. *Chinese journal of applied ecology*, 1995, **6**(supp): 1~8. [黄承标, 韦峰. 广西亚热带主要森林植被气候及水文生态功能规律的研究[J]. 应用生态学报, 1995, **6**(增刊): 1~8.]
- [30] Li Jingwen. Forest ecology[M]. Beijing: Chinese forestry press, 1994, 107~110. [李景文主编. 森林生态学[M]. 第2版. 北京: 中国林业出版社, 1994. 107~110.]
- [31] Nakao H, ed. Li Yunsen, trans. Forest hydrology[M]. Beijing: China forestry publishing house, 1983. [中野秀章(李云森译). 森林水文学[M]. 北京: 中国林业出版社出版, 1983.]
- [32] Wen Yuanguang, Liu Shirong. Quantitative analysis of the characteristics of rainfall interception of main forest ecosystems[J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 1995, **31**(4): 289~298. [温远光, 刘世荣. 我国主要森林生态系统类型降水截留规律的数量分析[J]. 林业科学, 1995, **31**(4): 289~298.]
- [33] Teklehaimanot Z, et al. Rainfall interception and boundary conductance in relation to tree spacing[J]. *J. Hydrol.*, 1991, **123**: 261~278.
- [34] Viville D., et al. Interception on a mountainous declining spruce stand in the Strengbach catchment (Voges, France)[J]. *J. Hydrol.*, 1993, **144**: 273~282.
- [35] Liu Chuangmin, Li Changzhe, Chen Junhua, et al. A study of on hydrological functions of the major vegetation types in Jiulong mountain, Beijing[J]. *Forest science and technology*, 1994, (7): 10~12. [刘创民, 李昌哲, 陈军华, 等. 北京九龙山主要植被类型水文作用的研究[J]. 林业科技通讯, 1994, (7): 10~12.]
- [36] Zhao Hongyan, Wu Qinxiao. Interception dynamic processes of artificial *Pinus tabulaeformis* forest canopy on Loess plateau[J]. *Chinese journal of ecology*, 2002, **21**(6): 20~23. [赵鸿雁, 吴钦孝. 黄土高原人工油松林林冠截留动态过程研究[J]. 生态学杂志, 2002, **21**(6): 20~23.]
- [37] Huber A., Iroume A. Variability of annual rainfall partitioning for different sites and forest covers in Chile[J]. *Journal of Hydrology*, 2001, **248**: 78~92.
- [38] Wang Zhenhong, Duan Changquan, Chen Ming, et al. Hydrological law of three manmade forest communities in central Yunnan province[J]. *Journal of soil and water conservation*, 2003, **17**(1): 148~151. [王震洪, 段昌群, 陈明, 等. 云南中部三种典型人工林生态系统水文生态规律研究[J]. 水土保持学报, 2003, **17**(1): 148~151.]

- 17(1): 148~ 151.]
- [39] Asdak C, Jarvis P. G, Gardingen P. van, et al. Rainfall interception loss in unlogged and logged forest areas of Central Kalimantan, Indonesia[J]. *Journal of Hydrology*, 1998, 206: 237~ 244.
- [40] Asdak C, Jarvis P, Gardingen P V. Evaporation of intercepted precipitation based on an energy balance in unlogged and logged forest areas of central Kalimantan, Indonesia[J]. *Agricultural and forest meteorology*, 1998 **92**(3): 173~ 180.
- [41] He Hanxing, Wei Binger. Studies on hydrologic benefits of different vegetation types in Longqiao forest district, Guangxi[J]. *Journal of central-south forestry college*, 1991, **11**(1): 25~ 34. [何汉杏, 韦炳斌. 广西龙桥林区不同植被类型水文效益的研究[J]. 中南林学院报, 1991, **11**(1): 25~ 34.]
- [42] Zhang Ling, Wang Zhenhong. Hydrological and ecological effect of three man-made forests in Muding county of Yunnan province[J]. *Research of soil and water conservation*, 2001, **8**(2): 69~ 73. [张玲, 王震洪. 云南牟定三种人工林森林水文生态效应的研究[J]. 水土保持研究, 2001, **8**(2): 69~ 73.]
- [43] Meng Guangtao, Lang Nanjun, Fang Xiangjing, et al. Soil and water conservation effect of protection forest system in plateau and mountainous region of central Guizhou province[J]. *Bulletin of soil and water conservation*, 2001, **21**(1): 66~ 69. [孟广涛, 郎南军, 方向京, 等. 滇中高原山地防护林体系水土保持效益研究[J]. 水土保持通报, 2001, **21**(1): 66~ 69.]
- [44] Meng Guangtao, Lang Nanjun, Fang Xiangjing, et al. Hydrological properties and water balance of Pinus amandii plantation in central Dian Plateau, Yunnan province[J]. *Forest research*, 2001, **14**(1): 78~ 84. [孟广涛, 郎南军, 方向京, 等. 滇中华山松人工林的水文特征及水量平衡[J]. 林业科学研究, 2001, **14**(1): 78~ 84.]
- [45] Chen Xiangwei, Wang Qinghegn, Liu Qiang. Hydrologic effects of Korean pine plantation[J]. *Journal of northeast forestry university*, 1994, **22**(1): 24~ 30. [陈祥伟, 王庆成, 刘强. 红松人工林水文效应的初步研究[J]. 东北林业大学学报, 1994, **22**(1): 24~ 30.]
- [46] Huang Chengbiao, Wen Shouchun. Climatic and hydrological effects of evergreen broad-leaved and artificial Chinese Fir forests in Liliu forested region[J]. *Chinese journal of ecology*, 1993 **12**(3): 1~ 7. [黄承标, 文受春. 里骆林区常绿阔叶林和人工杉木林气候水文效应[J]. 生态学杂志, 1993 **12**(3): 1~ 7.]
- [47] Samba Arona Ndiaye Samba, Claude Camire, Hank A. Margolis. Allometry and rainfall interception of Cordyla pinnata in a semi-arid agroforestry parkland, Senegal[J]. *Forest ecology and management*, 2001, **154**(1~ 2): 277~ 288.
- [48] Yan Shunguo. A research on the water conserving function of the Chinese pine in the forest of Qiaoshan mountain[J]. *Acta conservation soil et aquae sinica*, 1989, **3**(2): 57~ 64. [阎顺国. 桥山林区油松林水源涵养功能的探讨[J]. 水土保持学报, 1989, **3**(2): 57~ 64.]
- [49] Yang Maosheng, Chen Haibin, Gao Jiarong. Characteristics of water reservoir function of Quercus aiene var. acuteserrata forest in Xinjiang forest region, Qinling mountain[J]. *Journal of northwestern college forestry*, 1991, **6**(1): 1~ 7. [杨茂生, 陈海宾, 高甲荣. 秦岭辛家山林区锐齿栎林水源涵养功能的若干特点[J]. 西北林学院学报, 1991, **6**(1): 1~ 7.]
- [50] Chang Xuexiang, Zhao Aifen, Wang Jinye, et al. Precipitation characteristic and interception of forest in Qilian mountain[J]. *Plateau meteorology*, 2002, **21**(3): 274~ 280. [常学向, 赵爱芬, 王金叶, 等. 祁连山林区大气降水特征与森林降水的截留作用[J]. 高原气象, 2002, **21**(3): 274~ 280.]
- [51] Zhao Hongyan, Wu Qinxiao, Liu Xiangdong. The hydrologic action of canopy on Chinese pine plantations[J]. *Soil and water conservation in China*, 1993, (2): 40~ 43. [赵鸿雁, 吴钦孝, 刘向东. 油松人工林林冠层的水文作用[J]. 中国水土保持, 1993, (2): 40~ 43.]
- [52] Lundberg A, Halldin S. Snow interception evaporation review of measurement techniques, processes, and models[J]. *Theoretical and Applied Climatology*, 2001, **70**(1~ 4): 117~ 133.
- [53] Calder Ian R. Dependence of rainfall interception on drop size: 1. Development of the two-layer stochastic model[J]. *Journal of Hydrology*, 1996, **185**: 363~ 378.
- [54] Abol Jesus R., Jimenez M. Soledad, Domingo Morales, et al. Rainfall interception in laurel forest in the Canary Islands[J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 1999, **97**: 73~ 86.
- [55] Llorens P., Gallart F. A simplified method for forest water storage capacity measurement[J]. *Journal of Hydrology*, 2000, **240**: 131~ 144.
- [56] Ogee J. & Brunet Y. A forest floor model for heat and moisture including a litter layer[J]. *Journal of Hydrology*, 2002, **255**: 212~ 233.
- [57] Valente F., David J. S., Gash J. H. C. Modelling interception loss for two sparse eucalypt and pine forests in central Portugal using reformulated Rutter and Gash analytical models[J]. *Journal of Hydrology*, 1997, **190**: 141~ 162.
- [58] Scheltekens J. The Interception and Runoff Generating Processes in the Bisley catchment, Luquillo Experimental Forest, Puerto Rico[J]. *Phys. Chem, Earth (B)*, 2000, **25**(7~ 8): 659~ 664.
- [59] Jackson N. A. Measure and modelled rainfall interception loss from an agroforestry in Kenya[J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2000, **100**: 323~ 336.
- [60] Gash J H C. Comparative estimates of interception loss from three coniferous forests in Great Britain[J]. *J Hydrol*, 1980, **48**: 89~ 105.
- [61] Hetherington E D. The importance of forests in the hydrological regime. In: Healy and Wallace(editors)[J]. *Canadian Bulletin Fisheries and Aquatic Sciences*, Ottawa, 1987, **215**: 1~ 533.
- [62] Bryan Navar J B. Fitting the analytical model of rainfall interception of Gash to individual shrubs of semi-arid vegetation in north-eastern Mexico[J]. *Agriculture and Forest Meteorology*, 1994, **68**: 133~ 143.
- [63] Stednick J D. Monitoring the effects of timber harvests on annual water yield[J]. *J. Hydrol.*, 1996, **176**: 79~ 95.
- [64] Dik A. I. J. M. van, Bruijnzel L. A. Modelling rainfall interception

- tion by vegetation of variable density using an adapted analytical model Part 1. Model description[J]. *Journal of Hydrology*, 2001, **247**: 230~ 238.
- [65] Liu Shuguang. A new model for the prediction of rainfall interception in forest canopies[J]. *Ecological Modelling*, 1997, **99**: 151~ 159.
- [66] Gash J. H. C., Lloyd C. R., Lachaud G. Estimating sparse forest rainfall interception with an analytical model[J]. *Journal of Hydrology*, 1995, **170**: 79~ 86.
- [67] Domingo F., Sanchez G., Moro M. J., et al. Measurement and modelling of rainfall interception by three semi-arid canopies[J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 1998, **91**: 275~ 292.
- [68] Fang Shixiang, Pei Tiefan, Jiang Deming, et al. Rainfall interception capacity of forest canopy between two different stands[J]. *Chinese journal of applied ecology*, 2000, **11**(5): 671~ 674. [范世香, 裴铁番, 蒋德明, 等. 两种不同林分截留能力的比较研究[J]. 应用生态学报, 2000, **11**(5): 671~ 674.]
- [69] Xie Chunhua, Guan Wenbin, Wu Jianan, et al. Interception capability of dark coniferous forest ecosystem in Gongga mountain[J]. *Journal of Beijing forest university*, 2002, **24**(4): 68~ 71. [谢春华, 关文彬, 吴建安, 等. 贡嘎山暗针叶林生态系统林冠截留特征研究[J]. 北京林业大学学报, 2002, **24**(4): 68~ 71.]
- [70] Tian Dalun, Yang Wanhua, Fang Haibo. A study on nutrient leaching in the secondary generation young Chinese Fir plantation[J]. *Journal of Hubei institute for nationalities*, 1999, **17**(1): 1~ 5. [田大伦, 杨晓华, 方海波. 第二代杉木幼林中降雨对养分的淋溶作用[J]. 湖北民族学院学报(自然科学版), 1999, **17**(1): 1~ 5.]
- [71] Liu Shihai, Yu Xinxiao, Hu Chunhong, et al. Study on precipitation chemical elements property of water resources protection forest in Miyun reservoir watershed[J]. *Journal of soil and water conservation*, 2002, **16**(1): 100~ 103. [刘世海, 余新晓, 胡春宏, 等. 密云水库北京集水区人工水源保护林降水化学性质研究[J]. 水土保持学报, 2002, **16**(1): 100~ 103.]
- [72] Ma Xuehua, Yang Maorui, Wang Jianjun. A study on hydrologic function of Cunninghamia lanceolata and mason pine in the subtropical zone. In: Collected works of Chinese forest hydrology symposium, 1994: 346~ 353. [马雪华, 杨茂瑞, 王建军. 亚热带杉木、马尾松人工林水文功能的研究[A]. 见: 中国森林生态系统定位研究[C], 1994: 346~ 353.]
- [73] Yang Maorui. Interrelations of forest precipitation, crown interception and trunk stem flow in sub-tropical plantations of Cunninghamia lanceolata and Pinus massoniana[J]. *Forest research*, 1992, **5**(2): 158~ 162. [杨茂瑞. 亚热带杉木、马尾松人工林的林内降雨、林冠截留和树干茎流[J]. 林业科学研究, 1992, **5**(2): 158~ 162.]
- [74] Liu Shirong, Wen Yuanguang, Wang Bing, et al. Eco-hydrological functions of forest ecosystems in China[M]. Beijing: China forestry publishing house, 1996. [刘世荣, 温远光, 王兵, 等. 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.]
- [75] Zeng Jie, Guo Jingtang. Study on the first distribution of precipitation by Pinus tabulaeformis plantation in the Taiyue forest region[J]. *Journal of Beijing forest university*, 1997, **19**(3): 21~ 27. [曾杰, 郭景唐. 太岳山油松人工林生态系统降雨的第一次分配[J]. 北京林业大学学报, 1997, **19**(3): 21~ 27.]
- [76] Huang Zhongliang, Kong Guohui, Yu Qingfa, et al. Hydrological function and nutrient dynamics in lower subtropical monsoon evergreen broad-leaved forest[J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2000, **24**(2): 157~ 161. [黄忠良, 孔国辉, 余清发, 等. 南亚热带季风常绿阔叶林水文功能及其养分动态的研究[J]. 植物生态学报, 2000, **24**(2): 157~ 161.]
- [77] Zhou Guoyi. Water and heat principles and applications of ecosystem[M]. Beijing: Meteorology press, 1997, 65~ 67, 79~ 80. [周国逸. 生态系统水热原理及其应用[M]. 北京: 气象出版社, 1997, 65~ 67, 79~ 80.]
- [78] Carlyle-Moses D. E., Price A. G. An evaluation of the Gash interception model in a northern hardwood stand[J]. *Journal of Hydrology*, 1999, **214**: 103~ 110.
- [79] Li Shuren, Zhao Yong, Qi Zongjian, et al. Effect of canopy interception of larix kaempferi on atmosphere precipitation[J]. *Acta agriculturae universitatis Henanensis*, 1995, **29**(4): 319~ 323, 347. [李树人, 赵勇, 齐宗俭, 等. 日本落叶松林冠对大气降水的调节作用[J]. 河南农业大学学报, 1995, **29**(4): 319~ 323, 347.]
- [80] Lu Shihong, Xiang Wusheng, Li Xiankun, et al. Hydrological characteristics and ecological function estimation of upper reaches of Lijiang river[J]. *Bulletin of soil and water conservation*, 2002, **22**(5): 24~ 28. [吕仕洪, 向悟生, 李先琨, 等. 漓江上游植被类型的水文特征与功能评价[J]. 水土保持通报, 2002, **22**(5): 24~ 28.]
- [81] Liu Xiangdong, Wu Qinxiao, Zhao Hongyan. The vertical interception function of forest vegetation and soil and water conservation[J]. *Research of soil and water conservation*, 1994, **1**(3): 8~ 13. [刘向东, 吴钦孝, 赵鸿雁. 森林植被垂直截留作用与水土保持[J]. 水土保持研究, 1994, **1**(3): 8~ 13.]
- [82] Huang Chengbiao, Li Xinxian. The water constitution, distribution and balance of Cunninghamia lanceolata artificial forest ecosystem in Longsheng of Guangxi[J]. *Guangxi Sciences*, 1994, **1**(2): 24~ 28. [黄承标, 李信贤. 广西龙胜县里骆林场杉木人工林生态系统的水量结构、分配与平衡[J]. 广西科学, 1994, **1**(2): 24~ 28.]
- [83] Shen Weijun, Peng Shaolin, Zhou Guoyi, et al. Eco-hydrological functions of litter in man-made Acacia mangium and Pinus elliotii plantations[J]. *Acta ecologica sinica*, 2001, **21**(5): 846~ 862. [申卫军, 彭少麟, 周国逸, 等. 马占相思与湿地松人工林枯落物层的水文生态功能[J]. 生态学报, 2001, **21**(5): 846~ 862.]
- [84] Wei Hongbo, Li Rui, Yang Qinke. Research advances of vegetation effect on soil and water conservation in China[J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2002, **26**(2): 489~ 496. [韦红波, 李锐, 杨勤科. 我国植被水土保持功能研究进展[J]. 植物生态学报, 2002, **26**(2): 489~ 496.]
- [85] Putuhen W. M. & Conlery I. Some hydrological effects of changing forest cover from eucalypts to Pinus radiata[J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2000, **100**: 59~ 72.

- [86] Beschta R L. Forest hydrology in the Pacific Northwest: additional research needs[J]. *Journal of the American Water Resources Association*, 1998, **34**(4): 729~ 741.
- [87] Onda Y, Yamamoto T. The mechanism for the infiltration lowering on soils with litter coverage[J]. *Journal of the Japanese forestry society*, 1998, **80**(4): 302~ 310.
- [88] Zhao Hongyan, Wu Qinxiao, Cong HuaJun. A study on interception processes of artificial Chinese pine forest litter on the loess plateau[J]. *Journal of natural resources*, 2001, **16**(4): 381~ 385. [赵鸿雁,吴钦孝,从怀军.黄土高原人工油松林枯枝落叶截留动态研究[J]. 自然资源学报, 2001, **16**(4): 381~ 385.]
- [89] Putuhen W M, Cordery I. Estimation of interception capacity of the forest floor[J]. *Journal of Hydrology*, 1996, **180**: 283~ 299.
- [90] Niu Yun, Zhang Hongbin, Liu Xiande, *et al.* Dynamic characteristic on space-time of soil water of main vegetation in Qilian mountains[J]. *Journal of mountain science*, 2002, **20**(6): 723~ 726.
- [牛云,张宏斌,刘贤德,等.祁连山主要植被下土壤水的时空动态变化特征[J]. 山地学报, 2002, **20**(6): 723~ 726.]
- [91] Chen Shaoshuan, Chen Shurong. Functions of the mixed forest of *Cunninghamia lanceolata* and *schima superba* in water conservation and soil fertility buildup[J]. *Acta pedologica sinica*, 2002, **39**(4): 599~ 603. [陈绍栓,陈淑容.杉木木荷混交林涵养水源功能和土壤肥力[J]. 土壤学报, 2002, **39**(4): 599~ 603.]
- [92] Liu Shirong, Sun Pengsen, Wen Yuanguang. Comparative analysis of hydrological functions of major forest ecosystems in China[J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2003 **27**(1): 16~ 22. [刘世荣,孙鹏森,温远光.中国主要森林生态系统水文功能的比较研究[J]. 植物生态学报, 2003 **27**(1): 16~ 22.]
- [93] Jin Menggui, Zhang Renquan, Sun Lianfa, *et al.* Temporal and spatial soil water management: a case study in the Heilonggaang region, PR China[J]. *Agricultural Water Management*, 1999, **42**: 173~ 187.

Interception Effects of Forest Ecosystems to Precipitation: a Review

BAO Wen^{1,2}, BAO Weikai¹, HE Binghui², DING Derong²

(Chengdu Institute of Biology, the Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041;

Southwest Agricultural University, Beibei, Chongqing 400716)

Abstract: Forest ecosystems controlled and intercepted precipitation often by forest crown, tree trunks, shrubs, herbs, litter and soil. It is key to understand the allocation effects of all components in forest ecosystems to rainfall for assessing the hydrological service functions of forests. In the paper interception effects of forest ecosystems to precipitation by tree layer, undergrowth, the litter and the soil were reviewed in order to find out the existing problems and promote further research. Large amount of works focusing on the tree layer displayed forest canopy could intercept about 9.0% ~ 69.1% of rainfall and tree trunks captured 0% ~ 5%. There were many factors influencing the allocation process synthetically, including forest types, structural features and precipitation characteristics. Insufficient works on undergrowth and soil layer resulted that effects of the whole forest ecosystems to allocate rainfall kept poorly understood. Most researches focused on the experimental observations and the phenomenon explanation and neglected the researches on the allocation process and reasonable simulation models on forest ecosystem controlling precipitation restricting us to understand the mechanisms and the nature of forest ecosystem to allocate precipitation. In order to expound the interception effects of forest ecosystems to rainfall, the important works are to study rainfall allocation by undergrowth (herbs and shrubs), litter, soil and the whole forest ecosystems and to integrate all factors to develop simulation models for explaining the process and mechanism of forest ecosystem controlling precipitation.

Key words: Forest ecosystem; effect of interception; rainfall; influencing factors