

九万山自然保护区森林植被涵养 水源效益的初步研究

蒋运生, 宁世江, 唐润琴

(广西壮族自治区 广西植物研究所, 广西桂林 541006)
中国科学院

摘要: 研究与分析了广西九万山自然保护区森林植被在涵养水源方面的生态效益。结果表明, 该保护区森林通过林地土壤根际层、枯落物层和林冠层等三个水文层次, 贮蓄的量为 $18\ 368.07 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$, 直接或间接带来的生态社会效益价值为 2.44 亿元; 水源涵养效益显著, 对维护地方生态安全极为重要。

关键词: 水源涵养; 效益; 森林植被; 九万山自然保护区

中图分类号: Q948.1 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2004)05-0396-06

Study on the water conservation benefit of forest vegetation in Jiuwanshan Natural Reserve

JIANG Yun-sheng, NING Shi-jiang, TANG Run-qin

(Guangxi Institute of Botany, Guangxi Zhuangzu Autonomous Region and Academia Sinica, Guilin 541006, China)

Abstract: This paper studied the benefit of water conservation of the forest in Jiuwanshan Natural Reserve. The results showed that this forest could conserve a total of water source from precipitation $18\ 368.07 \times 10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$ in three hydrological layers—canopy, litter and soil, which values $2.44 \times 10^8 \text{ yuan} \cdot \text{a}^{-1}$ accordingly. This indicates that the forest has a notable ecological profit, and it is significantly important for ecological security in the area.

Key words: water conservation; benefit; forest vegetation; Jiuwanshan Natural Reserve

森林不仅是陆地生态系统的重要组成部分, 而且其本身又是一个相对独立、结构复杂、功能健全、稳定性大的生态系统, 它对蓄水、保水及水分循环乃至整个生物圈的生态平衡都具有极其重要的作用。

九万山自然保护区是广西森林植被保存比较完整的自然保护区之一, 区内森林生态系统复杂多样, 原生性、稳定性较强, 并且保护区又处在融江、柳江、西江等众多江河的上游, 对涵养水源的作用和地位十分突出。为此, 2003~2004年初, 我们对广西九万山自然保护区森林植被的涵养水源功能进行了考察研究, 同时以货币形式, 应用“相关替代法”(森林所具有的涵养水源效益与产生等量效益的相关工程费用比较)进行分析, 以期使人们深入地了解本区森林生态

系统在广西区域经济发展中的重要意义, 为进一步强化保护与管理好森林资源提供理论和科学依据。

1 自然条件特点

九万山自然保护区位于广西北部的融水、环江与罗城等三县交界处 ($108^{\circ}35'32'' \sim 108^{\circ}48'49'' \text{ E}$, $25^{\circ}01'55'' \sim 25^{\circ}19'54'' \text{ N}$), 总面积 252.43 km^2 。按地貌形态特征、外营力、地质构造和切割深度, 属于侵蚀褶皱深至中等切割中山类型; 域内地势西北高、东南低; 崇山峻岭、峰峦叠嶂、谷深坡陡、谷岭交错、河溪纵横、地形复杂、变化错综。山峰海拔多在 $1\ 000 \text{ m}$ 以上, 谷底 $250 \sim 300 \text{ m}$ 之间, 大于 $1\ 500 \text{ m}$ 的山

收稿日期: 2004-03-24 修订日期: 2004-04-25

作者简介: 蒋运生(1966-), 男, 广西恭城县人, 助理研究员, 从事植物种质资源调查、收集、良种选育、引种栽培等研究。

峰有 14 座,最高峰为无名高地海拔 1 693 m,次为老高山海拔 1 683 m,岭谷高差悬殊。

九万山自然保护区处在中亚热带季风气候区内,多年的平均气温为 12~17.1℃,最冷月(1月)的平均气温 4~6℃,极端最低气温-8~-10℃,最热月(7月)的平均气温 22~25℃,极端最高气温为 37℃,气温的年较差为 19℃;日照时数 1 000~1 200 h,≥10℃的年均积温 4 600~5 000℃,与本区边缘的三防、四堡、且兴和龙岩等地相比较,其年平均气温、最冷月与最热月均温都低 2~5℃,极端最低温偏低 5℃。年均降雨量为 1 600~2 100 mm,降雨最多年份可达 2 313.7 mm,较上述三县城的降雨量多 210~400 mm;相对湿度为 82%~90%,比附近县城偏高 8%~12%,表现出冬寒夏凉,相对湿度大的山地气候特点。

区内土壤类型比较复杂,除了地带性的红壤外,尚有山地红壤、山地红黄壤、山地黄壤、山地黄棕壤和山地矮林土等多种土类。优越的气候条件及复杂多样性的生境,为各种植物的生存和森林的发育创造了有利条件。

2 主要森林植被类型

根据考察结果,九万山自然保护区的森林植被丰富多样,从大类上划分,有森林、灌丛和草丛等类型,其中森林是本区生态系统的主体。在森林植被类型中,有常绿阔叶林、中山常绿落叶阔叶混交林、针阔叶混交林、亚热带针叶林和山顶矮林。常绿阔叶林的多样性尤为突出,类型也很丰富,按乔木层优势树种来划分有以栲类如细枝栲(*Castanopsis carlesii*)、硬叶栲(*C. tibetana*)、红椎(*C. hystrix*)、栲树(*C. fargesii*)、毛栲(*C. fordii*)、元江栲(*C. neocavaleriei*)等为主的森林类型和以荷木(*Schima superba*)、银荷木(*S. argentea*)、木莲(*Manglietia fordiana*)、桂南木莲(*M. chingii*)、阔瓣含笑(*Michelia platypetala*)、桂北木姜子(*Litsea subcoarctata*)、红苞木(*Rhodoleia parvipetala*)、马蹄荷(*Exbucklandia populnea*)、云贵山茉莉(*Huodendron biaristatum*)、西藏山茉莉(*H. tibeticum*)、乐东拟单性木兰(*Parakmeria lotungensis*)等为主的森林类型。常绿阔叶林是所在气候带内的地带性植被类型,占的比例最大,为主要植被类型,分布在海拔 1 200 m 以下的地段。中山常绿落叶阔叶混交林出

现在山体上部,海拔为 1 300~1 600 m,由较耐寒的常绿阔叶树种类和落叶阔叶树种混合组成。其中常绿阔叶树以铁椎栲(*Castanopsis lamontii*)、银荷木、桂南木莲、榕叶冬青(*Ilex ficoidea*)、马蹄参(*Diplolanax stachyanthus*)等为主,落叶阔叶树则由长柄水青冈(*Fagus longipetiolata*)、陀螺果(*Melioidendron xylocarpum*)、广东木瓜红(*Rehderodendron kwangtungensis*)、缺萼枫香(*Liquidambar acalycina*)、腺毛泡花树(*Meliosma glandulosa*)、五裂槭(*Acer oliverianum*)和青榨槭(*A. davidii*)等组成。中山针阔混交林除了短叶罗汉松(*Podocarpus wangii*)、红岩杜鹃(*Rhododendron haofui*)林外,尚有长苞铁杉(*Tsuga longibracteata*)、红苞木林和海南五针松(*Pinus fenzeliana*)、广西大头茶(*Gordonia kwangsiensis*)林及福建柏(*Fokienia hodginsii*)、栲树林等。山顶矮林分布在海拔 1 500 m 以上的山顶和山脊,以杜鹃属(*Rhododendron*)的种类为主,如羊角杜鹃(*Rhododendron cavaleriei*)林、六角杜鹃(*Rh. westlandii*)林、南华杜鹃(*Rh. simiarum*)林和红岩杜鹃林等。

3 森林涵养水源功能

3.1 枯落物层持水功能

森林涵养水源的功能是通过枯落物层吸水和森林土壤根际层持水及林冠截留降雨来实现的,其中枯落物持水力的大小是反映森林蓄水功能作用的一个重要指标。

本研究采用样方收获法,按未分解层和半分解层调查了九万山自然保护区不同森林植被类型枯落物的现存量,同时以样品浸水法测定了其持水能力。调查结果显示,本区森林植被的枯落物较多,天然阔叶林枯落物现存总量明显高于针叶林。在天然阔叶林中,以山顶山脊矮林的枯落物层现存总贮量最高,为 42.10 t/hm²;其次是中山针阔混交林和中山常绿落叶阔叶混交林,分别为 29.91 t/hm² 和 28.57 t/hm²;常绿阔叶林 24.46 t/hm²,中山次生落叶阔叶林 24.16 t/hm²。针叶林尤其是杉木(*Cunninghamia lanceolata*)人工林则随着林龄及人为干扰影响程度的不同而差别较大,在人为干扰程度较轻的情况下,12 年生的杉木人工林枯落物现存总量为 15.10 t/hm²;马尾松(*Pinus massoniana*)中龄林的枯落物总量 10.14 t/hm²,毛竹(*Phyllostachys edu-*

lis)林枯落物总量 7.39 t/hm²。灌丛和草丛的枯落物相对很少,分别为 4.22 t/hm² 和 0.96 t/hm²(表 1)。与其他地区相比较,本区常绿阔叶林的枯落物现存总量远多于浙江省午潮山和天童山林区相应森林类型的 14.80~18.42 t/hm²(沈辛作等,1986),略高于滇中山地常绿阔叶林的 24.61 t/hm²(刘文耀等,1991);而针叶林的枯落物现存总量则与浙江宁波天童山的 9.89 t/hm² 接近,而远低于滇中云南松林的 21.59 t/hm²。

从枯落物持水力测定结果看,不同森林类型枯落物层的持水能力都很强(表 1)。其中阔叶林枯落物吸水量是其本身(干物质重)的 3 倍左右,针阔叶混交林接近 2.5 倍,针叶林和毛竹林、灌丛与草丛的枯落物层吸水量也为其自身干物质重的 2 倍以上。但是,无论是针叶林或是阔叶林,均以半分解状态的

枯落物持水率最高,其中阔叶林半分解层枯落物的持水率可达 317.63%~372.46%,未分解层枯落物持水率只有 201.63%~259.07%;针叶林半分解层的持水率为 221.35%~257.35%,未分解层相对较低,为 188.01%~202.67%。

森林枯落物的蓄积越多,其截留降水的能力就越大。对一次降雨而言,保护区的阔叶林枯落物层的最大吸水量 85.57 t/hm²,相当于 8.6 mm 的降雨量;针阔叶混交林枯落物层的最大吸水量 73.36 t/hm²,相当于 7.3 mm 的降雨量;杉木林和马尾松林的枯落物层的最大吸水量分别为 33.21 t/hm² 和 20.48 t/hm²。按各类森林面积推算,整个保护区森林植被枯落物层对一次降雨的最大吸水量可达 186.85×10⁴ t(表 1)。由此可见,本区阔叶林的枯落物不仅现存总量较大,而且蓄水保水的作用特别明显。

表 1 九万山自然保护区不同森林类型枯落物干重及其持水能力

Table 1 The dry weight of the litter on forest floor and their water retaining capacity in different forest types

森林类型 Forest type	分布面积 Area (hm ²)	枯落物量 Litter mass (t/hm ²)	吸水量 Absorbing water capacity			
			吸水率 Rate(%)	单位面积吸水量 Denomination area (t/hm ²)	吸水深 Depth (mm)	总吸水量 Total (×10 ⁴ t)
阔叶林 Broad-leaved forest	20 039	29.82	296.91	85.57	8.56	171.47
针阔混交林 Coniferous broad-leaved forest	445	29.91	245.28	73.36	7.34	3.27
马尾松林 <i>Pinus massoniana</i> forest	40	10.14	202.05	20.48	2.05	0.08
杉木林 <i>Cunninghamia lanceolata</i> forest	3 379	15.10	219.94	33.21	3.32	11.22
毛竹林 <i>Phyllostachys edulis</i> forest	228	7.39	214.03	15.82	1.58	0.36
灌丛 Shrubbery	407	4.22	208.92	8.82	0.88	0.36
草丛 Herbosa	492	0.96	199.17	1.91	0.19	0.09
合计 Total	25 030	—	—	—	3.42	186.85

3.2 森林土壤蓄水能力

土壤根际层是森林蓄水的另一个极其重要的层次,其蓄水能力的大小,主要取决于其非毛管孔隙度多少,土壤根际层中的非毛管孔隙度越多,对降雨的贮存量就越大。本文用常规方法(环刀法),按土壤剖面发生层次,测定了保护区不同森林植被类型的土壤物理性质和蓄水能力。结果表明,本区各类不同阔叶林地表层土壤的非毛管孔隙度除了中山次生落叶阔叶林略小(15.80%)外,其余都在 23.04%以上,最高可达 29.8%。这是由于其域内森林枯枝落叶层较厚(5~10 cm)、苔藓植物较茂盛,环境湿润,微生物活动活跃,较明显地改善了土壤的物理性状,使土壤容重降低,总孔隙度增大,非毛管孔隙增多,从而大大地提高了土壤的蓄水能力。

若土壤非毛管孔隙内全都贮满水分,森林土壤根际层的蓄水能力大小可通过公式:贮水量(m³/hm²)=10 000(m²)×土层厚度(m)×非毛管孔隙

度(%)进行计算(中野秀章,1983)。

保护区的土壤类型和分布都比较复杂,各类土壤在不同的地段上其土层厚度也很不一致,通常山体下部、山坳和山麓的土层较深,常在 100 cm 以上,中上坡为 60~80 cm,而山顶和山脊地段的土层则相对较薄(40~60 cm)。为方便计算,本文将本保护区各类土壤的土层深度均以 100 cm 作为标准,结合各森林类型的分布面积,土壤剖面发生层次的非毛管孔隙度,按比例计算出本区森林土壤的静态贮水量为 4 247.57×10⁴ m³(表 2)。其中针阔叶混交林由于土壤根际层中的非毛管孔隙度较大,因而其贮水量最多,单位面积蓄水深可达 206.5 mm;其次阔叶林 178.3 mm、杉木林 147.1 mm。

根据气象观测资料,保护区附近地区的三防镇每 1 h 降雨量极值为 90.0 mm,要达到 178.3 mm 和 147.1 mm 雨量,阔叶林和针叶林内分别需要极值降雨 1.8 h 和 1.5 h 后,区内林地土壤吸水才能

表 2 不同森林植被类型土壤非毛管孔隙度及贮水量
Table 2 The soil noncapillary and water holding capacity of different forest vegetation types

森林类型 Forest type	面积 Area (hm ²)	非毛管 孔隙度 Noncapillary (%)	贮水量 Water holding capacity		
			单位面积蓄水量 Retained(m ³ /hm ²)	蓄水深度 Depth(mm)	总蓄水量 Total(×10 ⁴ m ³)
阔叶林 Broad-leaved forest	20 039	17.83	1 783.00	178.30	3 572.95
马尾松林 <i>Pinus massoniana</i> forest	40	10.34	1 034.00	103.40	4.14
针阔混交林 Coniferous broad-leaved forest	445	20.65	2 065.00	206.50	91.89
杉木林 <i>Cunninghamia lanceolata</i> forest	3 379	14.71	1 471.00	147.10	497.05
毛竹林 <i>Phyllostachys edulis</i> forest	228	9.74	974.00	97.40	22.21
灌丛 Shrubbery	407	4.46	446.00	44.60	18.15
草丛 Herbosa	492	8.37	837.00	83.70	41.18
合计 Total	25 030				4 247.57

注: 保护区以常绿阔叶林为主, 阔叶林贮水量以常绿阔叶林土壤的非毛管孔隙度计算。

Note: Water holding capacity of Broad-Leaved forest is calculated by the soil's noncapillary of ever-green Broad-Leaved forest(main species in this area).

达到饱和状态, 也就是说极值降雨为 1.5~1.8 h 时, 林内不会产生地表径流, 所降的雨水可以全都被林地根际层土壤的渗透作用贮存起来, 然后再以地下径流的方式缓慢不断地补给河溪, 起到调节河流径流的作用。

3.3 林冠层截留雨能力

林冠层也是森林水文研究的一个重要层次, 根据里骆生态定位站观测的结果(温远光等, 1988), 针叶林(杉木林)降雨量 > 1.8 mm 时, 林内开始出现冠流; 而常绿阔叶林则在降雨量增至 2.5 mm 时才出现冠流; 如果降雨量强度由小雨(日降雨量 < 10 mm)到大雨甚至是大暴雨(日降雨量 100~200 mm)时, 常绿阔叶林对降雨的截留率 20.00%~11.13%, 杉木林 36.54%~10.00%, 平均截留率针叶林略优于阔叶林。

保护区的森林比较茂密, 且受人为干扰影响的程度较轻, 森林群落结构复杂, 成层现象明显, 通常乔木层有 3 个亚层, 包括灌木和草本层至少有 5~7 个层次, 林冠层较厚, 对降雨的截留量可能比里骆林区相应的森林类型还要大一些。按里骆林区森林林冠层对降雨的截流率(取其平均值阔叶林 15.57%, 针叶林 23.27%)计算(温远光等, 1988), 就一次大雨(降雨量 100 mm)过程来说, 本区阔叶林(含针阔混交林)林冠可截留的水量为 $318.94 \times 10^4 \text{ m}^3$, 针叶林(含竹林)为 $84.87 \times 10^4 \text{ m}^3$, 两类森林的林冠层共截留降水 $403.91 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。显然, 森林林冠层对降雨也有着很强的拦截能力。不仅可以大大地削减地表径流量, 延缓径流时间, 而且对长期保持林区内有较高的相对湿度、促进森林植被生长发育起到了相当重要的作用。

4 森林涵养水源效益计量与评价

4.1 森林蓄水保水效益

森林涵养水源效益较为准确的计量问题, 涉及到诸多方面的因素, 比如林地土壤的水分蒸发、树木的蒸腾作用、地表径流、地下渗流以及水的合理价格等。本文只是从森林林冠截流量、枯落物层吸水量以及森林土壤贮水量等三个方面来衡量计算本区森林涵养水源的效益。

根据上述森林林冠层、枯落物层和土壤根际层涵养水源能力, 本区森林涵养水源总的计量值为:

$$\text{阔叶林 } W_f = W_0 + W_u + W_s = 2.50 + 8.56 + 178.30 = 189.36 \text{ mm}$$

$$\text{针叶林 } W_f = 1.80 + 3.32 + 147.10 = 152.22 \text{ mm}$$

式中: W_f 为森林涵养水源能力, W_0 、 W_u 、 W_s 分别为森林林冠层、枯枝落叶层、土壤根际层涵养水源能力。按现有各类森林面积推算, 本区森林对降雨贮蓄的水量为 $4 399.29 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。这一计量值是本区森林三个水文层次对一次的降雨过程吸蓄降雨的理论值。实际上这三个水文层次从开始吸水到饱和状态, 需要有一个过程, 也就是说森林涵养水源的功能是在不断地吸收和输出(为溪河补水)过程中产生的, 它的蓄水、补水作用是动态而不是静态的。

九万山自然保护区是以常绿阔叶林为主, 针叶林分布的面积仅占森林总面积的 13.6%, 因此, 区内的森林可以全都视为阔叶林, 森林贮蓄的水量相当于 189.36 mm。根据附近气象站观测资料, 所在地年均降雨量为 1 890 mm, 按此推算, 本区降雨的总量为 $47 709.27 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。年雨量多集中在 5~8

月,占全年的52.4%;在这一期间,通常连降暴雨,降雨往往超出森林枯落物层吸收水量和土壤渗透能力;此外,在干旱季节,尤其是每年11月至翌年1月,降雨量过小,日降雨量尚未能达到进入林地土壤的容量就被林冠或地被物截留而蒸发掉。据张建国等(1994a)、中山哲之助等(1987)研究,各消耗因素相加,占年总降水的30%。按此结果计算,保护区森林吸收降雨贮蓄的水量可估算为年降雨量的70%,即 $33\,396.49 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。这是在动态吸收情况下,本区森林对年度降雨的贮存量,实际上还应扣除15%的森林植被生理水分消耗和30%的森林地表水分蒸发(黄承标等,1994),最后余下的贮存量,才是森林通过林冠层、枯落物层、林地土壤层的蓄水能力贮存补给下游江河的水量,所以,本区森林涵养水源效益的实际计量值为 $18\,368.07 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。按产生等量效益相关水利工程所需的费用估算,相当于要修建183座库容 $100 \times 10^4 \text{ m}^3$ 的小型水库。据水利部门统计资料,按一般小型水库建设造价1.20~1.50元/ m^3 计算,森林涵养水源效益的货币价值至少也有2.20亿元。可见,本区森林植被在蓄水保水作用方面的效益是相当显著的。

4.2 削减洪峰效益

九万山自然保护区是柳江许多一级支流或二级支流的发源地,为柳江水量补给的重要区域。这些河流在正常年间3~4月份开始涨水,5月份水量大增,6~7月份出现最大洪峰,直至8月底才开始回落,汛期为4个月左右。汛期期间,本区的日降雨极值可达311.50 mm(1976年),此时林区的降雨总量达到 $7\,863.20 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。假定在无森林覆盖的情况下,扣除无林地(草地或灌丛地)土壤层吸收的雨量(83.70 mm),还有 $5\,750.36 \times 10^4 \text{ m}^3$ 的雨量将直接汇入贝江、中洲河、小东江河和阳江河,然后进入柳江,造成柳江出现最大洪峰,而在森林作用下,现有森林植被可滞留 $4\,780.02 \times 10^4 \text{ m}^3$ 的降雨于林冠层、枯落物层和林地土壤根际层中,缓慢地向下渗透成为地下径流,比无林的情况下削减了46.38%(即 $2\,667.18 \times 10^4 \text{ m}^3$)的降水量直接汇入江河,使下游江河不致于受到最大洪峰的危害,有效保障柳江流域乃至西江两岸广大地区人民生命财产的安全。如果防洪期的排涝费用为0.10~0.15元/ m^3 ,现有森林的防洪效益则为333.40万元。可见,本区森林的滞洪、减洪效益是十分明显的。

4.3 减免旱灾效益

森林有利于降雨,在水分循环过程中起着重要作用(东北林学院,1981)。大面积森林通过林冠层的蒸腾作用,不断地向大气中输送水蒸汽,增加其周围空气中的水分含量;与此同时,森林中林木的光合作用,又需要消耗大量的热能,使森林上空的气温下降;此外,森林对气流的移动亦起到阻碍的作用,迫使暖气流上升,加速冷热气流的运动,从而促进空气中的水汽达到饱和状态,为凝云致雨创造条件。

在陆地生态系统中,森林覆盖率每增加1%,可增加降雨量7.70 mm,森林地带比无林地可多降雨量约4%(张建国等,1994b)。本区的森林覆盖率很高,为95.59%,按上述研究结果推算,每年降雨量至少可增加 $1\,908.37 \times 10^4 \text{ m}^3$,在缺水季节里,周边地区的耕地和农田灌溉用水便可得以解决。按现行的抽水灌溉费用2.00元/ 100 m^3 计算,本区森林在减免旱灾方面的效益价值为38.17万元。

4.4 对耕地增产效益

据中国林业科学研究院情报所(1979)研究结果,农田防护林带、林网对农田的增产效益明显,大面积的森林通过调节降雨和小气候环境,某种程度上对周边地区耕地农作物生产起到的促进作用,比单一的防护林带还要强。森林覆盖率为30%~50%时,周边农田增加的产量为5.0%~7.0%。受保护区直接或间接影响的农田有 $4.74 \times 10^4 \text{ hm}^2$,按平均单产粮食6000 kg/ hm^2 、现行市场粮食价格120元/100kg计,周边地区每年至少可增产粮食达 $1\,706.40 \times 10^4 \text{ kg}$,农田增产效益达2047.68万元。

5 结语

保护区现状的森林生态系统,尤其是常绿阔叶林生态系统结构复杂,原生性状较强,处在自我演化和自我协调的稳定状态,它除了具有其它同类自然保护区在调节气候、保持水土、净化空气、保护环境、种质保护、科学研究等方面的功能作用外,其涵养水源的功能效益特别明显。综合上述各项计量值可知,本保护区森林生态系统仅在涵养水源方面,每年给社会带来的效益价值就能达到2.44亿元。

本文对保护区森林涵养水源的效益进行估价,只是从其现状森林的蓄水保水、削减洪峰、减免旱灾、农业增产增收等4方面考虑;其实本保护区森林涵养水源的功能贡献还体现在调节西江支流柳江河

流量的同时,具有保证柳江河航运正常进行等方面的重要作用。

涵养水源效益只是本保护区森林诸多生态效益的一部分,若把其所具有的生态功能(如保持水土、防止江河水库淤积、土壤养分流失、提高土壤肥力、制氧及医疗保健等)与效益完全计量出来的话,本保护区的生态效益或者说社会效益是相当巨大的。由此可见,森林对地方国民经济发展和人民生活安定具有特别重要的地位和突出的保护意义。如果本保护区的森林得不到很好的保护管理,其涵养水源功能一旦丧失后,受害的不仅仅是贝江、融江、柳江流域及其周边地区,而且还将危及西江流域的生态安全。因此,必须进一步强化保护与管理好保护区的森林植被。

致谢:蓝万刚、韦世良、韦生军、欧卫宁、赵成顺、章裴参加了部分野外工作。

参考文献:

- 中山哲之助(日),陈大夫. 1987. 森林公益性效能的计量及评价[J]. 生态经济, (1): 47-49.
中国林业科学研究院情报所. 1979. 国外农田防护林[M]. 北

京: 农业出版社.

- 中野秀章(日). 1983. 森林水文学[M]. 北京: 中国林业出版社.
东北林学院. 1981. 森林生态学[M]. 北京: 中国林业出版社.
沈辛作,周晓丽,王 卉. 1986. 浙江省山地主要森林类型枯枝落叶层水文特征研究[J]. 浙江林业科技, 6(2): 1-5.
张建国,杨建洲. 1994a. 福建森林综合效益计量与评价[J]. 生态经济, (5): 1-6.
张建国,杨建洲. 1994b. 福建森林综合效益计量与评价[J]. 生态经济, (5): 10-16.
温远光,黄承标. 1988. 里骆森林涵养水源功能的初步分析[J]. 林业科技通讯, (5): 19-20.
Huang CB(黄承标), Huang WJ(黄文俊), Wei F(韦 峰). 1994. Study on the vertical changes of the water-heat conditions and the ecological benefit of forest in the south slope of Laoshan mountain of Tianlin in Guangxi(田林老山南坡水热条件垂直变化及森林生态效益研究)[J]. *Acta Phytocologica sinica*(植物生态学报), 18(2): 147-160.
Liu WY(刘文耀), Liu LH(刘伦辉), Zhen Z(郑征), et al. 1991. Preliminary study on hydrologic effect of evergreen broad-leaved forest and *Pinus yunnanensis* forest in central Yunnan(滇中常绿阔叶林及云南松林水文作用的初步研究)[J]. *Acta Phytocologica et Geobotanica sinica*(植物生态学与地植物学学报), 15(2): 159-167.

(上接第 406 页 Continue from page 406)

- et al. 1998. Changes in isoperoxidase patterns of *Davidia involucrata* seeds during stratification(珙桐种子层积期间过氧化物酶同工酶的变化)[J]. *Journal of Southwest Forestry College*(西南林学院学报), 3(18): 143-147.
Guan ZJ(关卓今), Pei TF(裴铁幡). 2001. Edge effect and the developing direction of ecosystem balance(生态边缘效应与生态平衡变化方向)[J]. *Chinese Journal of Ecology*(生态学杂志), 20(2): 52-55.
He JS(贺金生), Lin J(林洁), Chen WL(陈伟烈). 1995. The current of endemic and endangered species *Davidia involucrata* and the preserving strategies(我国珍稀特有植物珙桐的现状及其保护)[J]. *Chinese Biodiversity*(生物多样性), 3(4): 213-221.
Ma KP(马克平). 1994. The method of measure of biodiversity(first); 1 α -method of measure of diversity(1)(生物多样性的测度方法(上))[J]. *Chinese Biodiversity*(生物多样性), 2(3): 162-168.
Ma KP(马克平), Huang JH(黄建辉), Yu SL(于顺利), et al. 1995. Plant community diversity in Dongling mountain, Beijing, China; II. species richness, evenness and species diversities(北京东灵山山区植物群落多样性研究(II)—丰富度、均匀度和物种多样性指数)[J]. *Acta Ecologica Sinica*(生态学报), 15(3): 68-277.
Magurran AE. 1988. Ecological diversity and its measurement [M]. New Jersey: Princeton University press.
Peng SL(彭少麟). 2000. Studies on edge effect of successional communities and restoration of forest fragmentation in low sub-tropics(南亚热带演替群落的边缘效应及其对森林片段化恢复的意义)[J]. *Acta Ecologica Sinica*(生态学报), 20(10): 1-2.
Shi PL(石培礼), Li WH(李文华), Wang JX(王金锡), et al. 2000. Species-abundance relation of herb community in sub-alpine timberline ecotone of Wolong Natural Reserve, Sichuan Province, China(四川卧龙亚高山林线生态交错带群落的种-多度关系)[J]. *Acta Ecologica Sinica*(生态学报), 20(3): 385-386.
Wang DP(汪殿蓓), Ji SY(暨淑仪), Chen FP(陈飞鹏). 2001. A review on the species of plant community(植物群落多样性研究综述)[J]. *Chinese Journal of Ecology*(生态学杂志), 20(4): 55-56.
Wei DF(魏东峰). 1997. The analysis and evaluation on atmosphere of environment of Wolong Natural Reserve, Sichuan Province, China(卧龙自然保护区大气环境现状分析与评价)[J]. *Journal of Sichuan Forestry and Technology*(四川林业科技), 18(3): 75.