

广西猫儿山国家级自然保护区 森林涵养水源功能及其经济价值估算

黄承标¹, 张建华², 罗远周², 蒋得斌², 玉伟朝², 李保平¹

(1. 广西大学林学院, 广西 南宁 530004; 2. 广西猫儿山国家级自然保护区管理局, 广西 桂林 541002)

摘要: 基于森林植被及土壤类型的垂直分布状况, 根据海拔设置了 18 个标准样地, 对广西猫儿山国家级自然保护区森林乔木冠层、林下灌草层、林地枯枝落叶层和林地土壤层的涵养水源能力进行了调查与估测, 并对该保护区森林涵养水源的经济价值进行了估算。结果表明, 该保护区森林乔木冠层平均截留雨量为 $3\ 097.7 \times 10^4 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$, 占总贮水量的 27.8%。林下灌草层平均截留雨量为 $517.2 \times 10^4 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$, 占总贮水量的 4.6%。各森林类型中枯落物的累积干质量为 $3.00 \sim 15.56 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 最大吸水量和最大净吸水量分别为 $8.64 \sim 45.44$ 和 $5.64 \sim 33.58 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 平均净吸水量为 $19.58 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$; 林地枯枝落叶层的平均吸持贮水量为 $2\ 664.2 \times 10^4 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$, 占总贮水量的 23.9%。不同林地 100 cm 土层的贮水量为 $355.2 \sim 1\ 940.0 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 林地土壤层平均贮水量为 $4\ 876.0 \times 10^4 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$, 占总贮水量的 43.7%。该保护区森林植被 4 个水文层次实际的总贮水量为 $11\ 155.1 \times 10^4 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$, 折算成货币价值后, 则该保护区森林涵养水源总效益应为人民币 $13\ 386.1 \times 10^4 \text{ 元} \cdot \text{a}^{-1}$ 。调查统计结果充分说明, 广西猫儿山国家级自然保护区森林植被的涵养水源功能及其生态经济效益相当显著, 对于维护和保障周边地区的生态安全、维持工农业生产的可持续发展具有非常重要的作用。

关键词: 广西猫儿山国家级自然保护区; 涵养水源; 森林植被; 经济价值

中图分类号: S715.7; S759.9 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2010)01-0069-06

Water conservation function and its economic value estimation of forest in Mao'er Mountain National Nature Reserve of Guangxi HUANG Cheng-biao¹, ZHANG Jian-hua², LUO Yuan-zhou², JIANG De-bin², YU Wei-chao², LI Bao-ping¹ (1. College of Forestry, Guangxi University, Nanning 530004, China; 2. Administration Bureau of Guangxi Mao'er Mountain National Nature Reserve, Guilin 541002, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2010, 19(1): 69-74, 94

Abstract: Based on vertical distribution of forest vegetation and soil types of Mao'er Mountain National Nature Reserve of Guangxi, eighteen standard plots were set according to altitude, and water conservation capacity of arbor canopy layer, shrub-grass layer under canopy, litter layer and soil layer in the forest were investigated and estimated, respectively, and the economic value of water conservation of forest in the nature reserve was also evaluated. The results show that average interception in arbor canopy layer of the forest is $3\ 097.7 \times 10^4 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$, accounting for 27.8% of total system storage. Average interception of shrub-grass layer under canopy is $517.2 \times 10^4 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$, accounting for 4.6% of total system storage. Accumulation dry weight of forest litter in different forest types is $3.00 \sim 15.56 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, maximum holding water storage and maximum net holding water storage is $8.64 \sim 45.44$ and $5.64 \sim 33.58 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, respectively, and average net holding water storage is $19.58 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$. And average holding water storage of the forest litter layer is $2\ 664.2 \times 10^4 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$, accounting for 23.9% of total system storage. The water storage in 100 cm soil depth of different forest types is $355.2 \sim 1\ 940.0 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$. Average water storage of the forest soil layer is $4\ 876.0 \times 10^4 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$, accounting for 43.7% of total system storage. The actual total water storage capacity of four hydrological levels of the forest vegetation is $11\ 155.1 \times 10^4 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$, after converting to monetary value, the total benefit of water conservation of forest in the nature reserve is

收稿日期: 2009-04-14

基金项目: 广西猫儿山国家级自然保护区资助项目(BB180093)

作者简介: 黄承标(1948—), 男, 广西靖西人, 本科, 教授, 主要从事森林水文气象方面的教学和科研工作。

equivalent to RMB 13 386.1×10⁴ yuan · a⁻¹. Statistical survey fully demonstrates that water conservation function and ecological economic benefit of forest vegetation in Mao'er Mountain National Nature Reserve of Guangxi are quite significant, and it plays a very important role in preserving and protecting the ecological security of surrounding areas and sustaining the development of industrial and agricultural production.

Key words: Mao'er Mountain National Nature Reserve of Guangxi; water conservation; forest vegetation; economic value

森林涵养水源能力指森林生态系统对降水的拦截和滞蓄作用,是森林的主要生态效益之一。前人在森林涵养水源能力的功能、机制和相关因素等方面进行了大量的研究工作^[1-10],而对自然保护区森林植被层及土壤层涵养水源能力的研究较少。

广西猫儿山国家级自然保护区是广西森林生态系统中最为复杂、保护最为完整的国家级自然保护区之一,生物多样性程度高、稳定性大,其所具有的涵养水源功能直接关系到周边区域的生态安全与可持续发展。因此,作者对广西猫儿山国家级自然保护区森林植被涵养水源功能进行了调查研究,并按产生等量效益费用进行相应的经济价值估算,为该自然保护区森林涵养水源功能的评估提供科学评价依据和基础数据。

1 研究区概况和研究方法

1.1 研究区概况

广西猫儿山国家级自然保护区位于广西壮族自治区桂林市北部,详细的地理坐标为东经 110°19' ~ 110°31'、北纬 25°48' ~ 25°58',属中亚热带湿润气候区。猫儿山主峰海拔为 2 141.5 m,横跨龙胜、兴安和资源 3 个县,总面积为 17 008.5 hm²。年均气温为 16.4 °C ~ 18.1 °C,7 月均温 26.2 °C ~ 27.6 °C,1 月均温 5.5 °C ~ 7.8 °C,极端低温 -4.8 °C ~ -6.2 °C,极端高温 38.3 °C ~ 39.5 °C; 年均降雨量 1 546.7 ~ 1 829.0 mm; 年均蒸发量为 1 264.1 ~ 1 624.1 mm; 年均相对湿度为 79% ~ 82%; 年均日照时数 1 243.5 ~ 1 467.1 h; 年均风速为 2.1 ~ 3.2 m · s⁻¹; 年均霜日数为 7.3 ~ 15.5 d。

该保护区土壤及森林植被类型的垂直分布状况为:海拔 600 m 以下为山地红壤,植被类型主要为常绿阔叶林、竹林和针叶人工林。海拔 600 ~ 800 m 为山地黄红壤,植被类型主要为常绿阔叶林、竹林和针叶人工林。海拔 800 ~ 1 600 m 为山地黄壤,其中海

拔 800 ~ 1 200 m 的植被类型为常绿阔叶林、竹林和针叶人工林;海拔 1 200 ~ 1 600 m 的植被类型为常绿落叶阔叶混交林和局部常绿阔叶林。海拔 1 600 ~ 1 800 m 为泥炭土和局部草甸土,植被类型为常绿落叶阔叶混交林和局部常绿阔叶林。海拔 1 800 ~ 2 000 m 为山地黄棕壤,植被类型为常绿落叶阔叶混交林及山顶矮林。海拔 2 000 m 以上为山地黄棕壤和局部草甸土,植被类型为山顶灌丛矮林。

1.2 研究方法

1.2.1 样地选择和划分 根据该保护区土壤类型和森林植被类型的面积及垂直分布状况,按海拔高度在保护区南坡的垂直带上设置样地,海拔每升高 100 m 设置标准样地 1 个,共设置 18 个标准样地,样地面积均为 20 m×30 m。常绿阔叶林和常绿落叶阔叶混交林的面积约占 95%,毛竹 (*Phyllostachys heterocyclus* 'Pubescens') 人工林和山顶矮林的面积约占 5%。用 GPS 标定各样地的经度、纬度及海拔,各样地的概况见表 1。

1.2.2 森林乔木冠层截留雨量的估测 在各调查样地内对乔木层进行每木检尺,分别测定树高和胸径等生长量因子。根据各森林植被类型及其面积,运用与广西相似的森林植被类型和降雨量数据,进一步估算该保护区森林乔木冠层截留雨量。其中,常绿落叶阔叶混交林乔木冠层年均截留雨量(202.0 mm)占林外雨量(1 947.6 mm)的 11.4%^[11],常绿阔叶林乔木冠层年均截留雨量(194.2 mm)占林外雨量(1 778.5 mm)的 10.0%^[12],2 种森林乔木冠层年均截留雨量平均值为 198.1 mm,占林外雨量的 10.6%。

1.2.3 林下灌草层截留雨量的估测 在各调查样地内调查记录灌草层的主要种类、高度及其覆盖度。根据各森林植被类型及其面积,运用与广西相似的森林植被类型的观测资料^[13],即林下灌草层年均截留雨量(为 27.2 mm,相当于 272.0 t · hm⁻²)占年均降雨量的 1.77%,估算该保护区林下灌草层的截留雨量。

1.2.4 林地枯枝落叶层现存量及吸水量的测定 在

各调查样地内按对角线设置面积为 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ 的小样方 3 个, 分别收集枯枝落叶并称取质量; 将 3 个样方的枯落物混合后用“四分法”取 500 g 带回实验室, 在 $80\text{ }^\circ\text{C}$ 烘箱内烘干, 称取干质量并计算单位面积累积干质量, 然后将烘干样品浸水 24 h 后再称取质量, 并据此计算其最大吸水量及吸水率^[14]。

1.2.5 林地土壤水文-物理性质的测定 在各样地内分别设置 3 个具有代表性的土壤剖面, 按 0~20、20~40 和 40~100 cm 3 个土壤层次, 用容积 100 cm^3 不锈钢土壤环刀分别取原状土壤带回实验室。参照

文献[15]的方法测定并计算土壤容重和孔隙度等指标, 其中土壤有效贮水量按公式 $Q = P \times D \times R \times 10^4$ ^[11] 进行计算, 式中, Q 为土壤有效贮水量 ($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$); P 为非毛管孔隙度 (%); D 为土层厚度 (m); R 为土壤容重 ($\text{t} \cdot \text{m}^{-3}$)。

1.2.6 森林涵养水源的经济价值估算 森林涵养水源价值评估是采用各种方法对森林涵养水源价值进行估算^[16]。综合国内外有关文献, 该价值估算采用替代方法进行。本研究中按一般小型水库建设造价人民币 $1.20\text{ 元} \cdot \text{m}^{-3}$ 进行计算。

表 1 广西猫儿山国家级自然保护区森林样地概况

Table 1 Status of forest plots in Mao'er Mountain National Nature Reserve of Guangxi

样地号 No.	经度 Longitude	纬度 Latitude	海拔/m Altitude	土壤类型 Soil type	植被类型 ¹⁾ Vegetation type ¹⁾	乔木层密 度/株·hm ⁻² Arbor layer density	盖度/% Coverage	
							灌木层 Shrub layer	草本层 Herb layer
1	E 110°29'06"	N 25°51'30"	438	山地红壤 Red soil	I	3 000	80	65
2	E 110°29'33"	N 25°51'02"	550	山地红壤 Red soil	II	2 000	85	40
3	E 110°29'33"	N 25°51'34"	640	黄红壤 Yellow-red soil	II	1 950	85	20
4	E 110°29'48"	N 25°51'09"	744	黄红壤 Yellow-red soil	II	2 500	75	30
5	E 110°29'37"	N 25°51'48"	868	黄壤 Yellow soil	II	2 833	95	20
6	E 110°29'29"	N 25°52'21"	969	黄壤 Yellow soil	II	2 900	95	40
7	E 110°29'22"	N 25°52'46"	1 069	黄壤 Yellow soil	III	3 333	95	5
8	E 110°29'03"	N 25°53'09"	1 169	黄壤 Yellow soil	III	2 667	40	7
9	E 110°29'03"	N 25°53'37"	1 276	黄壤 Yellow soil	III	3 666	98	2
10	E 110°28'04"	N 25°54'15"	1 380	黄壤 Yellow soil	III	3 333	95	60
11	E 110°27'52"	N 25°54'27"	1 481	黄壤 Yellow soil	III	3 167	98	20
12	E 110°27'38"	N 25°54'45"	1 592	黄壤 Yellow soil	III	4 333	60	2
13	E 110°27'07"	N 25°54'47"	1 681	黄壤 Yellow soil	III	4 000	30	2
14	E 110°26'43"	N 25°54'30"	1 785	泥炭土 Peat soil	III	4 000	5	2
15	E 110°26'11"	N 25°54'08"	1 876	泥炭土 Peat soil	III	4 666	5	65
16	E 110°25'57"	N 25°53'45"	1 937	黄棕壤 Yellow-brown soil	III	2 833	20	2
17	E 110°24'48"	N 25°52'10"	2 004	黄棕壤 Yellow-brown soil	IV	2 167	20	70
18	E 110°24'45"	N 25°51'59"	2 098	草甸土 Meadow soil	IV	-	80	20

¹⁾ I: 毛竹人工林 Artificial forest of *Phyllostachys heterocycla* 'Pubescens'; II: 常绿阔叶林 Evergreen broad-leaved forest; III: 常绿落叶阔叶混交林 Evergreen and deciduous broad-leaved mixed forest; IV: 山顶矮林 Mountain top dwarf forest.

2 结果和分析

2.1 森林乔木冠层对降水的截留作用

森林乔木冠层是对大气降水再分配的第 1 作用层, 是森林涵养水源功能的重要水文层次之一, 水文生态学意义重大。据统计^[11-12], 桂西北田林县岑王老山的常绿落叶阔叶混交林和桂北龙胜县西江坪的常绿阔叶林连续 10~11 a 的林冠层年均截留雨量为 198.1 mm (相当于 $1\,981.0\text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$), 占年均降雨量的 10.6%。采用此值推算, 按广西猫儿山国家级自然

保护区森林面积为 $17\,008.5\text{ hm}^2$ 和年均降雨量为 $1\,718.2\text{ mm}$ 计算, 则该保护区森林乔木冠层年均截留雨量的平均值为 $1\,821.3\text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 那么, 该保护区乔木冠层年均截留雨量应为 $17\,008.5\text{ hm}^2 \times 1\,821.3\text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 即为 $3\,097.7 \times 10^4\text{ t}$, 约相当于 31 座小型水库 ($100 \times 10^4\text{ m}^3$) 的总贮水容量。可见, 广西猫儿山国家级自然保护区森林乔木冠层截留雨量的作用比较显著。

据测定, 林冠层截留雨量与降雨量的关系非常密切^[12]。当大气降水量小于 2.0 mm 时, 几乎被林冠层所截留, 随着降雨量的增加, 其截留率逐渐减小。因

而,森林林冠层的存在不仅能减少到达林内的降雨量,而且对于防止雨水尤其是暴雨对地面的直接冲击、减缓和减少地表径流、保持水土、防止河川水位暴涨暴落、增加邻近地带湿度及增雨等方面都具有十分重要的生态学意义。

2.2 林下灌草层对降水的截留作用

林下灌草层是森林涵养水源功能的第2作用层,也是森林涵养水源功能的重要水文层次之一,但由于观测较困难而往往被一些学者所忽略。据统计^[13],林下灌草层(灌木层高度1.3~2.5 m,盖度25%~30%;草本层高度0.2~0.8 m,盖度60%~80%)的年均截留雨量为27.2 mm(相当于 $272.0 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$),占年均降雨量的1.77%。那么,该保护区森林林下灌草层年均截留雨量应为 $17\ 008.5 \text{ hm}^2 \times 304.1 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ (即 $1\ 718.2 \text{ mm} \times 1.77\% \times 10$),即 $517.2 \times 10^4 \text{ t}$,约相当于5座小型水库的总贮水容量。可见,广西猫儿山国家级自然保护区林下灌草层涵养水源的作用不可忽视。

2.3 林地枯枝落叶层对降水的吸持作用

林地枯枝落叶层是森林涵养水源功能的第3作用层,也是森林涵养水源功能的重要水文层次之一,

它不仅能够有效防止降水对地表的直接击溅,而且对于阻滞和分散地表径流、增大土壤水分渗入、增加地下水贮存与地下径流以及改良土壤理化性质等都具有非常重要的作用。

广西猫儿山国家级自然保护区不同样地中枯落物现存量及持水性能见表2。由表2可见,广西猫儿山国家级自然保护区各森林类型样地间枯落物的累积干质量、最大吸水量、最大吸水率、最大净吸水量、最大净吸水深度有一定的差异。林地枯落物累积干质量为 $3.00 \sim 15.56 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,平均为 $9.15 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$;最大吸水量为 $8.64 \sim 45.44 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,最大净吸水量为 $5.64 \sim 33.58 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,平均净吸水量为 $19.58 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,相当于2.0 mm的降水深度(相对于1次降雨过程而言),是自身干质量的2.14倍。若按平均最大净吸水量($19.58 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$)和该保护区森林面积($17\ 008.5 \text{ hm}^2$)及年平均降水天数(80 d)计算,则该保护区枯枝落叶层年均吸持贮水总量应为 $17\ 008.5 \text{ hm}^2 \times 19.58 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \times 80$,即 $2\ 664.2 \times 10^4 \text{ t}$,约相当于27座小型水库的总贮水容量,这一数值略小于森林乔木冠层的截留雨量。

表2 广西猫儿山国家级自然保护区森林不同样地枯落物累积量及持水性能

Table 2 Forest litter accumulation and holding water property of different plots of forest in Mao'er Mountain National Nature Reserve of Guangxi

样地号 No.	累积干质量/ $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ Accumulation dry weight	最大吸水量/ $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ Maximum holding water storage	最大吸水率/% Maximum holding water rate	最大净吸水量/ $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ Maximum net holding water storage	最大净吸水深度/mm Maximum net holding water depth
1	3.69	17.68	479.13	13.99	1.40
2	9.18	29.54	321.79	20.36	2.04
3	6.78	26.75	394.54	19.97	2.00
4	11.70	45.28	387.01	33.58	3.36
5	12.74	35.80	281.00	23.06	2.31
6	3.93	18.01	458.27	14.08	1.41
7	11.08	35.12	316.97	24.04	2.40
8	8.01	29.32	366.04	21.31	2.13
9	9.04	27.75	306.97	18.71	1.87
10	11.93	34.95	292.96	23.02	2.30
11	15.56	45.44	292.03	29.88	2.99
12	12.42	33.78	271.98	21.36	2.14
13	14.64	38.21	261.00	23.57	2.36
14	6.85	20.96	305.99	14.11	1.41
15	8.19	23.26	284.00	15.07	1.51
16	10.14	28.80	284.02	18.66	1.87
17	5.90	18.00	305.08	12.10	1.21
18	3.00	8.64	288.00	5.64	0.56
$\bar{X} \pm SD$	9.15 ± 3.70	28.74 ± 9.85	327.60 ± 63.49	19.58 ± 6.56	1.96 ± 0.66
CV/%	40.44	34.27	19.38	33.50	33.67

从枯落物的吸水速率来看,不同森林类型的枯落物饱和吸水时间为 50 ~ 100 min,吸水速率间的差异较大,这是由不同森林类型枯落物性质的差异所致。也就是说,有些枯落物吸水速率较快,浸水 50 min 可达到饱和状态;而有些枯落物吸水速率则较慢,浸水 100 min 左右才达到饱和状态。按此预测,当降雨量较小、降雨强度小于枯落物吸水速率时,由于枯落物的吸水、阻滞等作用,有效增加了渗入土壤的水分,使林地不会产生或极少产生地表径流。

2.4 林地土壤层对降水的涵蓄作用

林地土壤层是森林涵养水源功能的第 4 作用层,也是森林涵养水源功能最重要的水文层次,其主要指标包括最大持水量、毛管持水量和最小持水量^[1],其持水性能的强弱主要取决于土壤非毛管孔隙度和毛管孔隙度的大小。土壤最大贮水量是指土壤中全部孔隙被水充满时的贮水量,土壤的静态贮水量取决于土壤非毛管孔隙度及土层厚度。土壤的贮水性能与土壤的前期含水量密切相关,因此,把土壤的饱和贮

水量与土壤平均贮水量之差作为衡量土壤涵蓄降水的指标,称为土壤涵蓄降水量;用非毛管孔隙度来反映土壤的贮水特性,称为有效涵蓄水量,是评价不同森林类型土壤涵养水源及调节水分循环的重要指标之一。

广西猫儿山国家级自然保护区不同样地不同土层深度的贮水量见表 3。由表 3 可见,该保护区森林各类型样地的 100 cm 土层内,0 ~ 20、20 ~ 40 和 40 ~ 100 cm 3 个土层的土壤容重、土壤非毛管孔隙度和贮水量均有一定的差异,并随土层加深,土壤容重和贮水量逐渐增加,而土壤非毛管孔隙度逐渐减小。总体上看,该保护区 100 cm 土层的贮水量变异幅度为 355.2 ~ 1 940.0 t · hm⁻²,平均值为 972.1 t · hm⁻²(相当于 97.21 mm 的降水深度),按区域森林水量平衡及其经验数值^[13]估算,该区域年均降雨量为 1 718.2 mm(相当于 17 182.0 t · hm⁻²),该保护区降雨总量应为 17 008.5 hm² × 17 182.0 t · hm⁻²,也即 29 224.0 × 10⁴ t。那么,该保护区林地土壤层每年贮存的雨量应

表 3 广西猫儿山国家级自然保护区森林不同样地内不同土层深度的土壤容重、土壤非毛管孔隙度和贮水量¹⁾

Table 3 Bulk density, non-capillary porosity and water storage in different soil depth of different plots of forest in Mao'er Mountain National Nature Reserve of Guangxi¹⁾

样地号 No.	0 ~ 20 cm 土层的 3 项指标 Three indexes in 0-20 cm soil layer			20 ~ 40 cm 土层的 3 项指标 Three indexes in 20-40 cm soil layer			40 ~ 100 cm 土层的 3 项指标 Three indexes in 40-100 cm soil layer			Q _T
	R	P	Q	R	P	Q	R	P	Q	
1	0.99	8.9	176.2	1.00	6.1	122.0	1.19	11.1	792.5	1 090.7
2	1.08	16.7	360.7	1.11	17.1	379.6	1.29	15.5	1 199.7	1 940.0
3	1.01	18.2	367.6	1.02	6.7	136.7	1.06	11.6	737.8	1 242.1
4	0.96	15.2	291.8	1.01	14.5	292.9	1.02	10.5	642.6	1 227.3
5	0.98	16.7	327.3	1.08	15.2	328.3	1.25	7.9	592.5	1 248.1
6	0.88	16.5	290.4	0.95	11.4	216.6	1.09	9.9	647.5	1 154.5
7	0.90	15.2	273.6	0.95	12.0	228.0	1.01	17.7	1 072.6	1 574.2
8	1.01	11.5	232.3	1.01	8.2	165.6	1.08	10.4	673.9	1 071.8
9	0.84	9.2	154.6	0.92	10.9	200.6				355.2
10	0.74	9.6	142.1	0.98	14.3	280.3	1.09	10.5	686.7	1 109.1
11	0.76	17.8	270.6	1.01	13.4	270.7	1.17	14.2	996.8	1 538.1
12	0.91	6.4	116.5	1.12	17.0	380.8	1.14	4.5	307.8	805.1
13	1.03	17.0	350.2	1.27	11.7	297.2				647.4
14	1.08	7.8	168.5	1.20	7.4	177.6	1.26	6.1	461.2	807.3
15	0.94	11.7	220.0	1.04	10.8	224.6				444.6
16	1.03	15.5	319.3	1.20	6.5	156.0				475.3
17	1.09	10.2	222.4	1.21	6.6	159.7				382.1
18	1.10	10.1	222.2	1.18	6.8	160.5				382.7
\bar{X}	0.96	13.0	250.4	1.07	10.9	232.1	1.14	10.8	734.3	972.0
SD	0.11	3.9	78.6	0.11	3.8	80.8	0.09	3.7	410.1	464.7
CV/%	11.4	30.0	31.4	10.3	34.8	34.8	7.9	34.2	83.8	47.8

¹⁾ R: 土壤容重 Bulk density (t · m⁻³); P: 非毛管孔隙度 Non-capillary porosity (%); Q: 贮水量 Water storage (t · hm⁻²); Q_T: 总贮水量 Total water storage (t · hm⁻²).

等于区域大气降雨总量(100%)与森林乔木冠层截留雨量(10.6%)、林下灌草层截留雨量(1.77%)、林地枯枝落叶层截留雨量(9.1%)、森林土壤径流(5.25%)和森林蒸散(56.58%)总和的差值,也即 $[29\ 224.0 - (3\ 097.7 + 517.2 + 2\ 664.2 + 1\ 534.2 + 16\ 534.7)] \times 10^4\ \text{t}$,约为 $4\ 876.0 \times 10^4\ \text{t}$,约相当于49座小型水库的总贮水容量,即 $2\ 866.8\ \text{t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。这一数值与宋吉红等^[17]对缙云山自然保护区4种森林类型林地枯落物层及土壤层的有效涵蓄水量($1\ 169.07 \sim 1\ 669.32\ \text{t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)以及王晓明等^[18]对深圳市城市公园涵蓄水量($1\ 524.3\ \text{t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)的估值相比均偏高。显然,广西猫儿山国家级自然保护区林地土壤层贮水量在该保护区整个森林水文生态系统中所占的比重最大。

2.5 森林涵养水源的经济价值估算

将广西猫儿山国家级自然保护区森林乔木冠层、林下灌草层、林地枯枝落叶层和林地土壤层的降水贮量进行合并计算,得出该保护区森林总贮水量为 $11\ 155.1 \times 10^4\ \text{t}$,这是该保护区森林植被贮存补给下游江河及涵蓄的水量。所以,该保护区森林涵养水源效益的实际量为 $11\ 155.1 \times 10^4\ \text{t} \cdot \text{a}^{-1}$,按产生等量效益相关水利工程建设所需的费用估算,相当于修建了112座库容为 $100 \times 10^4\ \text{m}^3$ 的小型水库。根据水利部门的统计资料,按一般小型水库建设造价 $1.20\ \text{元} \cdot \text{m}^{-3}$ 计算,该保护区森林涵养水源效益的货币价值应为 $13\ 386.1 \times 10^4\ \text{元} \cdot \text{a}^{-1}$,也即 $7\ 870.3\ \text{元} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。这一数值与李红云等^[19]对山东省济南市南部山区森林涵养水源的估算值($4\ 330.0\ \text{元} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)以及刘敏超等^[20]对青海省三江源地区森林涵养水源的估算值($1\ 971.8\ \text{元} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)相比都相对偏高。这是由于广西(研究区)地处中亚热带地区,受降雨量较大、降雨天数较多等因素的影响所致。

3 讨论和结论

上述研究结果表明,广西猫儿山国家级自然保护区森林年均有效贮水总量达 $11\ 155.1 \times 10^4\ \text{t} \cdot \text{a}^{-1}$,相当于112个小型水库的总贮水量。其中,乔木冠层涵蓄雨量为 $3\ 097.7 \times 10^4\ \text{t} \cdot \text{a}^{-1}$,占总贮水量的27.8%;林下灌草层涵蓄雨量为 $517.2 \times 10^4\ \text{t} \cdot \text{a}^{-1}$,占总贮水量的4.6%;林地枯落物层涵蓄雨量为 $2\ 664.2 \times 10^4\ \text{t} \cdot \text{a}^{-1}$,占总贮水量的23.9%;林地土壤层涵蓄雨量

为 $4\ 876.0 \times 10^4\ \text{t} \cdot \text{a}^{-1}$,占总贮水量的43.7%。这些森林涵养水源的再分配,对于维持周边区域的工农业生产以及保障人民群众的生命安全和生态安全都具有非常重要的作用,因此,要广泛深入宣传有关森林保护的法律法规,极大提高周边区域民众对森林植被涵养水源功能的认识,使他们充分认识到森林植被是大自然赋予人类的宝贵财富,是人类赖以生存和发展的不可或缺的条件,应加强保护。

作者根据广西的生态环境特点,采用效益替换法估算出广西猫儿山国家级自然保护区森林涵养水源年均价值为 $13\ 386.1 \times 10^4\ \text{元} \cdot \text{a}^{-1}$,单位面积年平均值为 $7\ 870.3\ \text{元} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,这一估算值低于广西九万山国家级自然保护区森林涵养水源的年均价值($24\ 400 \times 10^4\ \text{元} \cdot \text{a}^{-1}$)和单位面积年平均值($9\ 668\ \text{元} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)^[21],但高于山东省济南市和青海省的森林植被涵养水源价值^[19-20],比较适中和客观地反映了广西猫儿山国家级自然保护区森林涵养水源的实际情况,为今后开展相关研究奠定了良好基础。需要说明的是,本研究中设置的调查样点相对较少,难免存在估算上的误差,有待进一步完善和改进。

此外,在广西猫儿山国家级自然保护区边缘及低海拔地段,由于近年来扩大经营毛竹人工林,对20~40 cm表土采取全垦深翻,不同程度地引起了水土流失及土壤退化等现象。因此,要加强对毛竹人工林经营模式的研究,譬如在林下间作绿肥或采取其他有效的耕作方式,对于全垦方式等不合理的经营方式应加以控制或制止,以防止水土流失的加剧。

参考文献:

- [1] 马雪华. 森林水文学[M]. 北京:中国林业出版社,1993:46-140.
- [2] 中野秀章. 森林水文学[M]. 李云森,译. 北京:中国林业出版社,1983.
- [3] 鲁绍伟,毛富玲,靳芳,等. 中国森林生态系统水源涵养功能[J]. 水土保持研究,2005,12(4):223-226.
- [4] Lin T C, Hamburg S P, King H B, et al. Spatial variability of throughfall in a subtropical rain forest in Taiwan[J]. Journal of Environmental Quality, 1997, 26(1):172-180.
- [5] Levia D E, Jr, Frost E E. A review and evaluation of stemflow literature in the hydrologic and biogeochemical cycles of forested and agricultural ecosystems[J]. Journal of Hydrology, 2003, 274:1-29.
- [6] 刘文耀,刘伦辉,郑征. 滇中不同群落结构云南松林的水文作用[J]. 北京林业大学学报,1992,14(2):38-45.