



邓世宗 田永江 苏扬 梁晓峰 龙超云 韦炳斌

广西森林水文及 流域治理论文集

气象出版社

广西森林水文及流域治理 论文集

邓世宗 田永江 苏 扬
梁晓峰 龙超云 韦炳斌 等著

气象出版社

(京)新登字 046 号

内 容 简 介

森林与水是生态系统中最活跃、最有影响的两个因素。森林涵养水源、保持水土、调节流域径流量、净化水质、缩小洪水期与枯水期的水量比,缩短河流的枯水期,维护生态环境平衡,抗御和减轻洪涝和干旱灾害,仅在这些方面就给人类带来巨大的生态效益和经济利益。许多国家的专家指出:某些流域中森林涵养水源、净化水质的价值超过了森林生产木材、饲料及野生动物的价值。本文集是广西壮族自治区的森林水文及流域治理的研究成果,有很高的实用价值和科学意义。

本书可供林业、农业、生态、环保、自然地理、林业气象气候、森林水文及流域治理、水利等部门的各级领导和专业人员、研究人员,以及有关大专院校师生阅读和参考。

广西森林水文及流域治理论文集

邓世宗 田永江 苏 扬 等著
梁晓峰 龙超云 韦炳貳

责任编辑:陶国庆 终审:周诗健

封面设计:严瑜仲 责任技编:席大光 责任校对:王元庆

* * *

气象出版社出版

(北京海淀区白石桥路 46 号 邮政编码 100081)

北京怀柔新华印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行 全国各地新华书店经销

* * *

开本:1092×787 1/16 印张:8 字数:200 千字

1994 年 12 月第一版 1994 年 12 月第一次印刷

印数:1—1000

ISBN 7-5029-1883-3/S · 0264

定价:8.00 元

序

森林与水是生态系统中最活跃、最有影响的两个因素。森林涵养水源、保持水土、调节流域径流量、净化水质、缩小洪水期与枯水期的水量比,缩短河流的枯水期,维护生态环境平衡,抗御和减轻洪涝和干旱灾害,仅在 these 方面就给人类带来巨大的生态效益和经济利益。许多国家的专家指出:某些流域中森林涵养水源、净化水质的价值超过了森林生产木材、饲料及野生动物的价值。

但是,一般说来,过去森林工作者对森林水文研究还是比较少。广西农业大学林学院承担了广西壮族自治区科委、林业厅下达的“广西森林生态系统研究”课题之后,由李治基教授主持总课题,由邓世宗副研究员负责“森林气候”专题的研究,从1986年初开始,又兼负责“森林水文”专题的研究。在有关的地、县林业局和林场的协助下,先后有75人参加过观测工作。在广西壮族自治区内的两个气候带四个区域五个观测点,对7种林型进行了为期10年(有的11年)的林内、外对比的森林水文观测研究工作,取得了一批森林水文观测资料。《广西森林水文及流域治理论文集》就是在这个基础上进行分析研究而获得的一批较好的研究成果。

《广西森林水文及流域治理论文集》除了一般的森林水文效应研究之外,对10种林型林冠对大气降雨量的再分配;7种林型的地面径流特征;7种林型的水量平衡;森林对水资源的生态效益;森林对御防和减轻洪涝、干旱的作用都进行了专门的大量的研究工作。并在这个基础上,根据生态系统的原理,提出治理柳江流域洪水的建议;提出综合治理桂林漓江枯水期扩大、水量减少的建议;论证了提高桂林漓江上游水源径流量、缩短枯水期最优的可行方案;并论证了该方案实施后,漓江年径流量在各月的分配,将会发生趋于比较均匀的变化;丰水期各月的径流量和洪峰径流量将趋于下降;枯水期各月的径流量和年内的最低径流量将趋于上升,达到一定程度的相对平衡,最后达到在枯水期各月内都能提高流量 $4\text{m}^3/\text{s}$,枯水期由现在的6个月缩短为2个月的指标。这是一个有很高实用价值的应用森林水文学的实例,在国内尚为首见。同时还论证了保护、开发漓江水资源与桂林的持续发展。有些研究成果都先后在全国和自治区内的有关学术刊物上和专著内公开发表过。其中有的已被西南交通大学出版社选录编入了《中国实用科技成果大辞典》,在全国同行业中有一定影响,所以《广西森林水文及流域治理论文集》的出版,在全国对一个省、市、自治区来说是不多见的。它既填补了广西区森林水文学研究的空白,对我区生态林业及生态环境建设,森林水资源生态效益的研究及保护开发利用,以及大江大河的综合治理都将具有很高的实用价值和科学意义。

总之,《广西森林水文及流域治理论文集》是广西壮族自治区的森林水文及流域治理的研究成果,有很高的实用价值和科学意义。可供林业、农业、生态、环保、自然地理、林业气象气候、森林水文及流域治理、水利等部门的各级领导和专业人员、研究人员,以及有关大专院校师生阅读和参考。

钟国华

1994年6月20日

前言

随着社会经济发展,人口增多,人们对森林开发利用加剧,采伐量猛增,森林覆盖率迅速缩小,林木蓄积量急剧减少,引起流域洪水期与枯水期的水量比急剧扩大,洪涝与缺水干旱灾害频率增高。这种流域水量向两极分化的结果,与人口增加、经济发展对枯水期水量的需求,以及对洪水期防涝的迫切愿望,形成很鲜明的社会、自然生态失调,而且在日益加剧,成为当今世界各国关注的问题之一。因此,通过地表最强大的自然生态系统——森林生态系统涵养水源,保持水土,调节流域径流量,缩小流域洪水期和枯水期的水量比,缩短枯水期,就越来越引起人们的重视。

作者在负责森林气象和森林水文的多年研究工作中,除了对一般的森林水文效应研究之外,对广西壮族自治区内两个区域五个观测点的 10 种林型林冠对大气降水量的再分配;7 种林型的地面径流特征;森林涵养水源,调节水量的功能;7 种林型的水量平衡;森林对水资源的生态效益;森林对防御和减轻洪涝、干旱的作用,都进行了专门的大量的研究工作。并在这个基础上,根据生态系统原理,提出治理柳江流域洪水的建议;提出综合治理桂林漓江枯水期水量减少的建议;论证了提高桂林漓江上游水源径流量,缩短枯水期的最优可行方案;还进一步论证了该方案实施后,漓江流域年径流量在各月的分配,将会发生趋于比较均匀的变化;丰水期各月的径流量、洪峰径流量将趋于下降,枯水期各月的径流量和年内的最低径流量将趋于上升,达到一定程度的相对平衡;最后达到枯水期各月内都能提高流量 $4\text{m}^3/\text{s}$ ——枯水期由现在的 6 个月缩短为 2 个月的指标。同时又论证了保护、开发漓江的水资源与桂林的持续发展。这是森林水文学向具有很高实用价值的应用森林水文学的发展和成果。是森林生态学的一个重要领域。尽管研究工作刚开始,但是目前森林水文及流域治理的研究在林业科学研究中还是很薄弱的,所以《广西森林水文及流域治理论文集》的出版,对我区的国民经济建设和森林资源尤其是森林水资源的开发利用提供可靠的依据,并推动我区以至全国森林水文及流域治理科学研究与应用的迅速发展,都将是有益的。

本《文集》是广西森林生态系统研究成果之一,共收集了 18 篇森林水文及流域治理方面的论文。它是作者从 1986 年初兼负责“森林水文”专题研究工作以来,在《广西森林气候资源分析与利用》专著中,以及在《林业科学》、《生态学杂志》、《自然资源》、《持续发展与生态学》——全国第一届持续发展与生态学学术讨论会论文集、《北京林业大学学报》——全国森林对水环境影响学术讨论会论文专刊、《林业科技通讯》、《森林水文及流域治理信息》、《广西科学院学报》、《广西自然灾害研究与对策》论文集、《桂林漓江流域水源林及沿江工程预可行性研究报告》等书、学术刊物和研究报告中,已经发表、即将发表和投入应用的论文和论述。

本《文集》的基础是大量的森林气候和森林水文观测资料,这些资料是和作者以及参加过观测的 75 位同志和其他工作人员的艰苦工作分不开的,其中皮顺德、林丽群、熊长德自始至终坚持了 10 年观测工作,韦炳斌、黎洁娟、彭荣军坚持了 7~8 年的观测工作。这项研究之所以能长期坚持,最后按计划完成,与广西壮族自治区林业厅和科委始终一贯的支持,广西农业大学林学院承担,李治基教授主持的“广西森林生态系统研究”课题,桂林地区林业局、龙胜县林业局、梧州地区林业局、岑溪县林业局、百色地区林业局的帮助,生态站所在的龙胜县里骆林场、

岑溪县七坪林场、宜州市庆远林场、田林老山林场大力协作,还有中国科学院植物研究所的协作是分不开的。这本《文集》的出版还得到广西壮族自治区林业厅及其利用外资项目办公室,广西凤山县坡桃林场、广西桂林地区林业局、广西壮族自治区科学技术协会、宜州市庆远林场在经费方面的大力资助,以及广西农业大学林学院党政领导的支持。广西壮族自治区林业厅钟国华副厅长为本《文集》写了序。作者谨此表示衷心感谢!

由于作者水平有限,本书错漏之处在所难免,恳请读者批评指正。

邓世宗

1994年6月

目 录

序

前言

广西不同生态地理区域不同林型水量平衡的研究	钟国华、邓世宗、梁晓峰、苏 扬、田永江(1)
试论广西森林水资源的生态效益.....	邓世宗、苏 扬(14)
保护、开发漓江的水资源与桂林的持续发展.....	邓世宗、唐 俊、梁晓峰(22)
广西桂林漓江流域水量减少的综合治理	邓世宗 梁晓峰(31)
论提高漓江上游水源径流量的可能性.....	邓世宗、唐 俊(35)
从广西森林水文的研究谈柳江流域洪水的治理	邓世宗(41)
广西桂林漓江干枯急待拯救	严 敏、梁晓峰、邓世宗(48)
森林与水.....	梁晓峰、邓世宗(50)
森林的生态效益与御防和减轻洪涝、干旱灾害的战略对策.....	邓世宗、苏 扬、龙超云(52)
广西不同生态地理区域杉木林水量平衡的研究.....	邓世宗、唐 俊(59)
广西不同生态地理区域不同林型林冠对大气降雨量再分配的研究	邓世宗、龙超云、田永江(64)
不同森林类型林冠对大气降雨量再分配的研究.....	邓世宗、韦炳斌(75)
桂东北山地区域不同林型水量平衡的研究	邓世宗、梁晓峰、龙超云(80)
广西不同生态地理区域不同林型地面径流的研究.....	邓世宗、田永江、苏 扬、龙超云(84)
广西不同生态地理区域常绿阔叶林水量平衡的研究	邓世宗(96)
广西龙桥林区不同植被类型水文效应的研究	韦炳斌、邓世宗(102)
桂中丘陵台地区域不同林型水量平衡的研究	邓世宗、田永江、苏 扬、韦炳斌(106)
广西不同生态地理区域常绿阔叶林热量、水分效应研究	邓世宗、龙超云、田永江(111)

广西不同生态地理区域不同林型 水量平衡的研究

钟国华

邓世宗

(广西壮族自治区林业厅) (广西农业大学林学院)

梁晓峰

苏 扬

田永江

(广西桂林地区林业局) (广西壮族自治区林业厅) (广西凤山县坡桃林场)

在广西森林生态系统研究中,我们在龙胜县里骆和西江坪、岑溪县七坪、宜州市龙桥、田林县老山四个生态站进行了杉木林、常绿阔叶林、马尾松林、柠檬桉与马尾松混交林、常绿与落叶阔叶混交林等七个林型的水量平衡观测研究。

一、自然概况

1. 龙胜县里骆和西江坪林区

里骆杉木林区和西江坪常绿阔叶林区同属于桂东北山地区域高炮山岭南坡,是大南山向西延伸的一翼,地势北高南低,逐渐倾斜,最高峰高炮 1703m,最低的里伍塘 210m。河床高度 200m、山地相对高差 1500m。

本区是中亚热带季风湿润山地气候,在 1000m 以下的低山区域,绝大多数为杉木林,1000~1300m 的中山区域则以常绿阔叶林为主,1300m 以上为常绿与落叶阔叶混交林。

里骆杉木林内、外水量平衡的观测研究样地就设置在海拔 370m 的山坡中部,相距约 500m,都处于较开阔的面向东南的马蹄形凹坡地内,其微地形坡向均为 S35°W,坡面 25~27°。植物群落为杉木—东方乌毛蕨—狗脊,以东方乌毛蕨和狗脊为共优势种,土壤为砂页岩发育的山地红壤。杉木为 1957 年营造的人工林,生长良好。1979 年测定,乔木层郁闭度 0.7~0.8,林木密度平均为 1200 株/ha,分布尚均匀,生长也较一致,树干通直完满,枝下高较大,树冠系数 0.25~0.33,高径比 75%~80%,蓄积量 180~225m³/ha,平均树高 14.8m,平均胸径 18.5cm,灌木层覆盖度 20%~30%,高 1~2m,以柃木和荷木占优势。草本层覆盖度 60%~70%,高约 1m,东方乌毛蕨覆盖度 20%~40%,狗脊 20%~30%,分布不均匀。

西江坪海拔高度 1000m,它是第四纪冰川作用遗留下来的中山槽谷地貌类型,长约 2km,宽约 50~100m 不等,是一长条状的宽平谷地,两侧水沟切割较深,冰蚀三角面明显,谷底与山脊线的相对高差约 500m。

常绿阔叶林内、外水量平衡的观测研究样地设置在 1020m 的山坡中部,坡向为 N35°W,坡度 35°。植物群落为米椎、罗浮栲、红润楠为建群种的常绿阔叶林,郁闭度 0.9。乔木层可分三层:第一亚层林木高 20m,胸径 30~50cm,米椎占明显优势;第二亚层林木高 8~15m,胸径 15~25cm,除米椎、红润楠外,羊角杜鹃、岩杜鹃最多;第三亚层林木高 4~7m,胸径 10cm 以下,

岩杜鹃最多。灌木层植物高 2m 以下,覆盖度 30%~40%,以上层乔木的幼树最多,草本地被物层植物高 1m 以下,熊巴耳,镰叶瘤足蕨较多。藤木植物较发达。

2. 岑溪县七坪林区

该林区位于桂东南云开大山西北翼,附近不少山峰在 500m 以上,大多数山峰在 250~500m 之间,沟谷切割较深,多为峡谷、山岭形态陡峻,山地特征明显。属亚热带季风湿润气候。自然植被为亚热带常绿阔叶林,现只有小片残存下来,马尾松林范围较大,杉木林及其它经济林木只占局部区域。

七坪杉木林水量平衡观测研究样地设置在山坡的中上部,海拔 470m,坡向 N40°E,坡面 37°。杉木林为 1968 年全垦营造,据 1988 年调查,为杉木—铁芒其—五节芒群落。杉木林的乔木层优良木较多,树干道直,树冠整齐,生长中等。林木密度 3087 株/ha,平均树高 10.7m,平均胸径 12.2cm,郁闭度 0.7。林内灌木不多,覆盖度为 20%,主要有少数高大的杨梅、盐肤木、荷木、桃金娘等。草本地被物层分布很不均匀,平均覆盖度为 30%,以铁芒其最多,其次为五节芒。

3. 宜州市龙桥林区

该林区位于广西中部稍偏西北的丘陵台地区域。为桂中宜山孤峰林石山和丘陵地貌。孤峰散立在溶蚀平地上,形成 140~160m 和 200~220m 两级台地。龙桥处于亚热带北部边缘,为亚热带季风湿润气候,原生的常绿阔叶林植被已不复存在,林区以马尾松纯林为主,杉木林,阔叶林和针阔叶混交林为小片分布,土壤为红壤,土层厚 2m。

龙桥马尾松林内、外水量平衡观测样地海拔高度 200~220m 坡向 S32°E,坡度 16°,1956 年造林。1985 年测定,林木密度为 863 株/ha,平均树高 20.3m,平均径胸 21.8cm,郁闭度 0.7,蓄积量 262.9m³/ha。林下灌木层高约 2m,以黄杞子、桃金娘为主,覆盖度 20%~30%。草本层高 1m,以淡竹叶、铁芒其为主,覆盖度 40%。

龙桥杉木林内、外水量平衡观测样地的海拔高度 190~200m,坡向 S20°W,坡度 19°。1976 年全垦造林。1985 年测定,林木密度 3350 株/ha,平均树高 7.7m,平均胸径 8.1cm,蓄积量 69.6m³/ha,郁闭度 0.9,林下无灌木,草本植物为地蜈蚣、地稔、高 10cm,盖度 1%。

龙桥柠檬桉与马尾松混交林内、外水量平衡观测样地海拔高度 200m,坡向 S28°E,坡度 21°。1960 年梯级带状挖坑造林。1985 年测定,林木密度 575 株/ha,平均树高 20.2m,平均胸径 11.4cm,蓄积量 200.5m³/ha。马尾松树是后来飞播种子侵入生长起来的,年龄大小不等,胸径 3cm 以上的林木密度与 963 株/ha。平均胸径 9.7cm,平均树高 11.6m,蓄积量 96.2m³/ha,按松比例为 1:1.7,总郁闭度 0.6。林下灌木以桃金娘、桉木为主,高度 2m,覆盖度 0.3。草本植物层以铁芒其、五节芒为主,高度 1.0~1.2m,覆盖度 0.8。

4. 田林县老山林区

该林区位于紧靠云贵高原边缘的桂西北山原山地区域尾火老山,高度 1822m,地势高,周围山峰在 1500m 以上。在 1000m 以上的中山地带,可见 1000m、1200m~1300m、1300~1400m、1600~1750m 四级剥蚀面。山体高大,河谷下切很深,比高 500~700m,具有山高谷深,河谷狭窄,山岭明显分割山原状地貌特征。属亚热带季风湿润山地气候。这里的河谷低地是

广西的少雨区,但山地上部的年雨量仍相当丰富。在山脚河谷丘陵为亚热带常绿阔叶林,原始森林已不存在,现为麻栎林代替。海拔 630~1000m 向中亚热带常绿阔叶林过渡,1100~1500m 为山地常绿阔叶林,1600~1800m 为山地常绿与落叶阔叶混交林。

以铁椎栲和广西木莲为主的常绿与落叶(缺萼凤香)阔叶混交林内、外水量平衡观测样地设置在海拔 1600m 的山坡上部,坡向 S60°E,坡度 44°,郁闭度 0.9。乔木第一亚层林木高 20m,最高达 30m,胸径 30~40cm,最大达 68cm;第二亚层林木高 8~15m,胸径 10~20cm,覆盖度 60%;第三亚层林木高 4~7m,胸径 10cm 以下,覆盖度 60%,灌木层高 3m 以下,覆盖度 60%~80%,小方竹和阔叶箬竹占 50%以上。草本植物种类较多,分布稀疏,覆盖度 10%左右。

二、研究方法

1. 森林水量平衡方程的建立

大气降水到达森林群落后,一部分被蒸散回大气中;一部分形成地面径流;一部分渗入土层中。这种水量收支数量的平衡关系,称为森林的水量平衡。为了便于研究,我们用隔水墙隔断了径流场地面和地下水的流进和流出。在径流场地面上的气柱中,水汽的水平输入与输出,可认为是同时进行,数量近于相等,而且量很微小,可忽略不计,所以我们的水量平衡研究中,大气降水量就是径流场唯一的收入项。空气中水汽量变化的多年平均值可从水汽压的观测值中计算,其量很微小,可视为零。植物体含水量的变化可由林木生长估计,但与降水量相比是很小的,也可忽略不计。土壤贮水量的变化也很小,而且在季风气候控制下,以土壤贮水量最小(土壤最干)的 12 月(降水量为 24~31mm,只占年降水量 2%)作为界线划分水年,其土壤贮水量变化的多年平均值也几乎接近于零。因此,水量平衡的支出项就是蒸散量,地面径流量和下渗土层的水量三项。其平衡方程为:

$$P = e + r + s \quad (1)$$

式中 P 为林外降水量, e 为蒸散量, r 为地面径流量, s 为下渗土层水量。如果把下渗土层水量作为余额项,则方程(1)可改写为:

$$s = P - (e + r) \quad (2)$$

从方程(2)可知,某一林型在一定时期(年、月)内,通过下渗储存而转变为土壤潜水供植物利用,以及转变为地下水补给河流的水源径流量的和,对于了解一个区域的水资源和森林对水资源的生态效益,充分利用森林保护水资源,达到对水资源的长期利用,对经济发展具有重要的科学意义和实用价值。

森林的蒸散量包括林冠(截留)蒸发量,森林蒸腾量和林内地面蒸发量,因此,某一森林的水量平衡方程应为:

$$P = i_c + e_{v(\text{林})} + e_{g(\text{林})} + r_{(\text{林})} + s_{(\text{林})} \quad (3)$$

林外草坡的水量平衡方程则为:

$$P = e_{v(\text{草})} + e_{g(\text{草})} + r_{(\text{草})} + s_{(\text{草})} \quad (4)$$

式中 i_c 为林冠(截留)蒸发量, $e_{v(\text{林})}$ 和 $e_{v(\text{草})}$ 分别为森林和草坡草本植物的蒸腾量, $e_{g(\text{林})}$ 和 $e_{g(\text{草})}$ 分别为林内地面和草坡地面的蒸发量, $r_{(\text{林})}$ 和 $r_{(\text{草})}$ 分别为林内地面径流量和林外草坡地面径流量, $s_{(\text{林})}$ 和 $s_{(\text{草})}$ 分别为林内和林外草地渗入土层的水量。

2. 观测和计算

(1) 林内外定位对比观测。在上述四个区域距林内地面径流场和气象观测场 400~500m 的皆伐迹地上, 设置林外地面径流场和气象观测场, 进行为期 9 年~11 年的连续定位对比观测, 其中径流场观测为 9 年, 气象观测为 10~11 年, 时间为 1980 年 1 月 1 日~1991 年 12 月 31 日。同一区域林内外的海拔高度、微地形、坡向、坡度、土壤等自然条件都基本一致。

(2) 降水量和蒸发量的观测。林外降水量观测在林外气象观测场内, 用口径 20cm 的雨量筒, 并安装有虹吸式自记雨量计进行降水过程的连续观测。

林内的降水量观测: 通过林冠雨量(林内雨量)观测, 在林下等方位置 9 个雨量筒, 取其平均值为通过林冠雨量。

树干茎流雨量观测: 按林木径级比例选定 10~15 株样树, 在树干胸高处安装环形的树干茎流接收器, 并用胶管把雨水导入盖住的塑料桶内称重。计算公式为:

$$P_s = \bar{W} \times \frac{N}{S} \quad (5)$$

式中 P_s 为对树干茎流雨量(mm), $\bar{W}$ 为平均 1 株样树雨水量(kg), N 为样地内达到编号要求的总株数, S 为样地面积(m²)。

林冠截留雨量用计算方法求得, 计算式为:

$$i_c = p - (p_l + p_s) \quad (6)$$

式中 i_c 为冠截留雨量, p 为林外雨量, p_l 为通过林冠雨量, p_s 为树干茎流雨量。

蒸发量在林内外气象观测场内用口径 20cm 的蒸发器进行观测。

(3) 地面径流量的观测。地面径流场面积为 400m², 四周用深度达到不透水层的隔水墙, 隔断径流场柱体地面和土层中水量的流入和流出。在径流场的下方设置集流沟, 三角薄壁溢流堰(60°)和自记水位计, 测定每次降雨过程产生地面径流的水位高度(cm)。根据水力学公式计算流量和径流量:

$$Q_0 = MH^{2.5} \quad (7)$$

$$Q = \sum_{i=1}^n \frac{1}{2} (Q_{0(1)} + Q_{0(2)}) t_i \quad (8)$$

式中 Q_0 为某一水位高度的流量(L/s), M 为流量系数, 平均值为 0.826, H 为水位高度(cm); Q 为某一径流(降水)过程的径流总量, $Q_{0(1)}$ 和 $Q_{0(2)}$ 为水位曲线上相邻两点水位高度(H_1 和 H_2) 的流量(L/s), t 为相邻两点的时间差(s)。 $i=1, 2, 3, \dots, N$, 分别表示某一径流过程从 1, 2, 3, $\dots, N$ 个相邻两点间的径流时段。最后换算为径流深度 r (mm)。

(4) 蒸散量用哈蒙(Hamoin)式计算求得, 其计算式如下:

$$E_{PT} = 0.140 D_0^2 \cdot q_t \cdot d \quad (9)$$

式中 E_{PT} 为月平均蒸散量(mm), q_t 为对应于日平均气温的饱和水汽压(g/m³), D_0 为 1 天的可照时数率, 用 1 天可照时数除以 12 小时求得, d 为 1 个月的日数。

哈蒙式的计算值, 在夏秋季偏大, 在冬春季偏小。我们将计算值与林地蒸发值和林冠(截留)蒸发值之和相比较, 其误差范围是: 当日平均气温 < 10℃ 时, 计算值偏小, 相对误差为 -0.6% ~ -20.0%; 当日平均气温 > 23℃ 时, 计算值偏大, 相对误差为 6.0% ~ 16.0%, 因此(9)式只适用于日平均气温在 11.0~23.0℃ 之间的时期, 相对误差 < 5.0% (夏秋季) 或 > -5.0%

(冬春季)。

(5)植物蒸腾量用计算方法求得,计算式分森林和林外草坡地。

森林计算式为:

$$e_{v(\text{林})} = E_{PT} - (i_c + e_{g(\text{林})}) \quad (10)$$

林外草坡地计算式为:

$$e_{v(\text{草})} = E_{PT(\text{草})} - e_{g(\text{草})} \quad (11)$$

式中 $e_{v(\text{林})}$ 和 $e_{g(\text{草})}$ 分别为森林和林外草坡草本植物的月平均蒸腾量(mm); $E_{PT(\text{林})}$ 和 $E_{PT(\text{草})}$ 分别为森林和草坡地的月平均蒸散量(mm); i_c 为月平均林冠(截留)蒸发量(mm); $e_{g(\text{林})}$ 和 $e_{g(\text{草})}$ 分别为月平均林下地面和草坡地面的蒸发量(实际观测值)(mm)。

(6)下渗土层的水量用计算方法求得,计算式为(3)和(4)式的移项式。

森林计算式为:

$$S_{(\text{林})} = P - (i_c + e_{v(\text{林})} + e_{g(\text{林})} + r_{(\text{林})}) \quad (12)$$

林外草坡地计算式为:

$$S_{(\text{草})} = P - (e_{v(\text{草})} + e_{g(\text{草})} + r_{(\text{草})}) \quad (13)$$

森林水量平衡的研究是比较复杂的问题,尤其是在广西目前的条件下困难更多,因此,本文的研究还存在不足之处,存在一些误差:①我们没有实测的蒸腾值,用哈蒙式求蒸散值,然后用余项法求蒸腾值,由于哈蒙式产生的气候条件与我们的不同,适用范围有限;又由于林地蒸发和林冠(截留)蒸发值也存在观测误差,所以用余项法求蒸腾量,其数值的误差就可能更大。②我们没有测定土壤贮水量的变动量,假设其多年平均值几乎接近于零而忽略不计,与实际情况也不完全相符,造成误差。③在总的平衡式中,下渗土层水量作为余量,忽略了下渗土层水量与气象(降雨强度)、枯枝落叶层吸水性能、土壤(组成、结构、孔隙度)、母岩、地质、地貌等因素的影响,带来一些误差。总之,造成误差的因素较多,水量平衡各分量的数值包含的误差较大,尚待今后研究中解决。

三、结果与分析

1. 里骆杉木林的水量平衡分析

根据(3)和(4)式计算得到的里骆杉木林和林外草坡水量平衡各分量的数值列于表1。从表中可看出如下特点:

(1)在水量平衡中,林分和草坡的最大支出项都是蒸散量,而且草坡的蒸散量大于林分。林分年蒸散量为849.5mm,占年降水量的55.2%,草坡为900.9mm,占58.6%,林分比草坡少51.4mm,为年降水量的3.3%。

(2)在蒸散量中,林分的蒸腾量比草坡大,而蒸发量比草坡小。草坡的年蒸腾量为89.8mm,占年降雨量的5.8%,林分为390.4mm,占25.4%,比草坡大300.6mm,为年降水量的19.5%。但是,林分的年蒸发量为459.1mm,占29.8%;草坡为811.1mm,占52.8%,比林分多352.0mm,为年降水量的22.9%。

(3)地面径流量是水量平衡中的最小支出项,而且林分的径流量小于草坡。草坡年径流量为227.7mm,占年降水量的14.8%,林分为104.0mm,占6.8%,比草坡减少123.7mm,为年

降水量的 8.0%。

(4)下渗土层的水量在水量平衡的支出项中占第二位,而且是林分大于草坡。草坡年下渗土层的水量为 409.3mm,占年降水量的 26.6%,林分为 584.4mm,占 38.0%,比草坡多 175.1mm,为年降水量为 11.4%。

(5)把下渗土层水量中林分比草坡多的量加上径流量中林分比草坡减少的量,再加上蒸散量中林分比草坡少的量,作为林分对水资源的生态效益比草坡大的量。这个量为 350.2mm,为年降水量的 22.8%。在蒸散量中,植物蒸腾量是有效的利用量,应该作为植物生态效益的量,因此,林分对水资源的生态效益比草坡大的量,应该再加上蒸腾量中林分比草坡大的量。这个量为 650.8mm,占年降水量的 42.3%。可见里骆杉木林对水资源的生态效益明显。

(6)一年中水量平衡的逐月变化,各支出项的总和都小于林外降水量,所以林分和草坡的下渗土层水量都是正值,而且都是林分大于草坡。但是,9月由于降水量急剧减少,蒸散量大于降水量,林分和草坡下渗土层水量都出现负值,反映出桂东北的秋季干旱、土层缺水较明显。

表 1 里骆杉木林水量平衡(mm)

项 目	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年合计	占年总量(%)
林外雨量	69.2	98.2	100.6	166.3	259.9	243.3	152.0	155.6	86.3	82.4	87.4	36.6	1537.9	100.0
森林蒸散量														
林冠(截留)蒸发量	14.8	15.2	14.9	23.8	37.8	33.7	23.2	24.9	11.9	13.2	12.4	5.4	231.2	15.0
森林蒸腾量	3.3	2.4	14.2	29.3	45.0	64.9	77.5	72.5	47.1	25.2	5.6	3.4	390.4	25.4
林内地面蒸发量	83	8.7	16.5	14.7	14.8	19.3	25.8	19.2	30.9	26.3	23.0	20.4	227.9	14.8
林外草坡蒸散量														
草本植物蒸腾量	1.6	1.4	3.2	4.3	9.5	20.2	17.4	14.3	10.1	5.6	1.4	0.8	89.8	5.8
地面蒸发量	26.6	26.6	45.5	67.8	94.6	104.3	106.3	109.0	85.2	62.8	52.0	30.4	811.1	52.8
地面径流量														
林内	3.5	5.9	6.4	11.6	20.8	19.7	10.6	10.9	4.4	4.1	4.6	1.5	104.0	6.8
林外草坡	8.4	13.0	14.5	26.6	41.6	41.2	22.8	23.2	11.5	10.2	11.3	3.4	227.7	14.8
下渗土层水量														
林内	39.3	66.0	48.7	86.9	141.5	105.7	14.9	28.1	-8.0	13.6	41.8	5.9	584.4	38.0
林外草坡	32.6	57.2	37.5	67.6	114.2	77.6	5.5	9.1	-20.5	3.8	22.7	2.0	409.4	26.6

2. 西江坪常绿阔叶林的水量平衡分析

根据(3)和(4)的计算结果,西江坪常绿阔叶林和林外草坡,水量平衡各分量的数值列于表 2,从表中可知有如下特点:

(1)在水量平衡中,林分和草坡的最大支出项都是蒸散量,而且是林分的蒸散量大于草坡。草坡年蒸散量为 887.9mm,占年降水量的 45.6%;林分为 929.3mm,占 47.8%,比草坡多 41.4mm,为年降水量的 2.1%。

(2)在蒸散量中,林分的蒸腾量比草坡大,而蒸发量则比草坡小。草坡年蒸腾量为 87.5mm,占年降水量的 4.5%;林分为 438.6mm,占 22.5%,比草坡大 351.1mm,为年降水量的 18.0%。但是,林分的年蒸发量为 490.7mm,占 25.3%;草坡为 800.4mm,占 41.1%,比林分多 309.7mm,为年降水量的 15.9%。

(3)地面径流量是水量平衡中最小的支出项,而且林分的径流量小于草坡。草坡的年径流量为 383.3mm。占年降水量的 19.7%;林分为 115.4mm,占 5.9%,比草坡减少 267.9mm,为年降水量的 13.8%。

(4)下渗土层的水量在水量平衡的支出项中占第二位,而且是林分大于草坡。草坡的年下渗土层水量为 675.8mm,占年降水量的 34.7%;林分为 902.3mm,为 46.3%,比草坡多

226.5mm,为年降水量的 11.6%。

(5)把下渗土层水量中林分比草坡多的量,加上径流量中林分比草坡减少的量,减去蒸散量中林分比草坡多的量,作为林分对水资源的生态效益比草坡大的量。这个量为 453.0mm,为年降水量的 23.3%。在蒸散量中,植物的蒸腾量是有效的利用量,应该作为植物生态效益的量,因此,林分对水资源的生态效益比草坡大的量,应该再加上蒸腾量中林分比草坡大的量。这个量为 804.1mm,为年降水量的 41.3%。可见西江坪常绿阔叶林对水资源的生态效益明显。

(6)一年中水量平衡的逐月变化,各支出项的总和都小于林外降水量,所以林分和草坡的下渗土层水量都是正值,而且都是林分大于草坡。在秋冬干旱的季节里、土层中没有出现缺水干旱现象,反映出桂东北中山地带常绿阔叶林是涵养水源最优越的区域和最好的林型。

表 2 西江坪常绿阔叶林水量平衡(mm)

项 目		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年合计	占年总量(%)
林外雨量		80.3	127.3	134.4	209.9	305.1	322.6	186.3	193.1	121.9	106.9	109.9	49.3	1947.0	100.0
森林蒸散量	林冠(截留)蒸发量	11.9	14.7	17.5	26.6	33.6	38.8	29.4	21.9	15.1	10.9	11.9	6.3	238.6	12.3
	森林蒸腾量	11.1	11.3	20.4	34.4	48.7	63.0	76.0	66.8	44.0	32.4	17.5	13.0	438.6	22.5
	林内地面蒸发量	10.9	10.5	14.9	22.1	29.0	30.4	31.1	31.9	27.4	18.4	14.6	10.9	252.1	13.0
林外草坡蒸散量	草本植物蒸腾量	1.9	0.9	2.2	8.5	10.3	15.7	23.8	8.7	6.3	4.8	3.4	1.0	87.5	4.5
	地面蒸发量	31.0	32.3	45.7	61.3	82.2	103.1	99.4	105.6	79.1	69.2	50.8	40.7	800.4	41.1
地面径流量	林内	3.2	7.6	8.2	12.6	18.6	20.0	11.4	12.0	7.1	6.1	6.5	2.1	115.4	5.9
	林外草坡	17.4	19.8	28.3	38.5	65.7	65.8	35.3	36.3	26.5	23.8	19.0	6.9	383.3	19.7
下渗土层水量	林内	43.2	83.2	73.4	114.2	175.2	170.4	38.4	60.5	28.3	39.1	59.4	17.0	902.3	46.3
	林外草坡	30.0	74.3	58.2	101.6	146.9	138.0	27.8	42.5	10.0	9.1	36.7	0.7	675.8	34.7

3. 七坪杉木林的水量平衡分析

根据(3)和(4)式的计算结果,七坪杉木林和林外草坡水量平衡各分量的数值列于表 3。从表中可看出如下特点:

(1)在水量平衡中,林分和草坡的最大支出项都是蒸散量,而林分的蒸散量大于草坡。草坡年蒸散量为 975.5mm,占年降水量的 61.7%;林分为 997.5mm,占 63.1%,比草坡多 22.0mm,为年降水量的 1.4%。

(2)在蒸散量中,林分的蒸腾量比草坡大,而蒸发量则比草坡小。草坡的年蒸腾量为 144.3mm,占年降水量的 9.1%;林分为 442.8mm,占 28.0%,分别比草坡大 298.5mm 和 18.9%。但是,林分的年蒸发量为 554.7mm,占 35.1%;草坡为 831.2mm,占 52.6%,分别比林分多 276.5mm 和 17.5%。

(3)地面径流量是水量平衡中的最小支出项,林分的径流量小于草坡。草坡年径流量为 285.2mm,占年降水量的 18.0%;林分为 161.9mm,占 10.2%,分别比草坡减少 123.3mm 和 7.8%。

(4)下渗土层的水量在水量平衡的支出项中占第二位,而且是林分大于草坡。草坡年下渗土层水量为 320.6mm,占年降水量的 20.3%;林分为 421.7mm,占 26.7%,分别比草坡多 101.1mm 和 6.4%。

(5)把下渗土层水量中林分比草坡多的量,加上径流量中林分比草坡减少的量,减去蒸散量中林分比草坡多的量,作为林分对水资源的生态效益比草坡大的量,这个量为 202.4mm,为

年降水量的 12.8%。在蒸散量中,植物的蒸腾量是有效的利用量,应该作为植物生态效益的量,因此,林分对水资源的生态效益比草坡大的量,应该再加上蒸腾量中林分比草坡大的量。这个量为 478.9mm,为年降水量的 30.3%。可见七坪杉木林对水资源的生态效益明显。

(6)一年中水量平衡的逐月变化,各支出项的总和都小于林外降水量,所以,林分和草坡的下渗土层水量都是正值,而且都是林分大于草坡。10月开始,由于降水量急剧减少,蒸散量大于降水量,下渗土层水量出现负值。11~12月,林分蒸散量明显减少,下渗土层水量又恢复正值,而草坡则连续出现3个月的负值。反映出在秋冬季干旱的状况下,杉木林能使土层缺水干旱由3个月缩短为1个月。

表3 七坪杉木林水量平衡(mm)

项 目	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年合计	占年总量(%)
林外雨量	70.2	109.5	113.9	155.9	284.2	143.1	172.2	196.5	180.3	67.7	56.2	31.4	1581.1	100.0
森林蒸散量														
林冠(截留)蒸发量	12.3	15.2	16.7	22.7	35.1	21.1	21.5	28.0	28.4	13.1	11.1	6.3	231.5	14.6
森林蒸腾量	9.2	14.8	30.6	40.1	58.4	64.8	70.4	62.0	45.4	30.5	13.1	3.5	442.8	28.0
林内地面蒸发量	14.1	20.2	24.3	25.3	28.7	34.0	42.2	36.1	32.2	25.7	23.5	16.9	323.2	20.5
林外草坡蒸散量														
草本植物蒸腾量	2.9	7.8	10.7	13.0	19.9	21.1	17.0	13.5	12.2	11.0	9.3	5.7	144.3	9.1
地面蒸发量	35.6	38.3	54.7	66.6	83.5	93.6	106.1	100.1	90.6	74.1	51.6	36.4	831.2	52.6
地面径流量														
林内	5.6	11.0	12.5	15.6	29.8	14.3	18.9	19.7	18.4	7.4	6.2	2.5	161.9	10.2
林外草坡	10.5	18.6	20.5	28.1	54.0	27.2	31.0	35.4	34.3	10.8	10.1	4.7	285.2	18.0
下渗土层水量														
林内	29.0	48.3	29.8	52.2	132.2	8.9	19.2	50.7	55.9	-9.0	2.3	2.2	421.7	26.7
林外草坡	21.2	44.8	28.0	48.2	126.8	1.2	18.1	47.5	43.2	-28.2	-14.8	-15.4	320.6	20.3

4. 龙桥马尾松林的水量平衡分析

根据(3)和(4)式的计算结果,宜山龙桥马尾松林和林外草坡水量平衡各分量的数值列于表4。由表可看出如下特点:

(1)在龙桥马尾松林的水量平衡中,蒸散量是支出项中的最大项,而且是林分的蒸散量大于林外草坡。草坡年蒸散量为 838.8mm,占年降水量的 67.2%;林分为 852.2mm,占 68.3%,分别比草坡多 13.4mm 和 1.1%。

(2)在蒸散量中蒸腾量是林分大于草坡,而蒸发量则是草坡的大于林分。草坡年蒸腾量为 124.3mm,占年降雨量的 10.0%;林分为 371.3mm,占 29.8%,分别比草坡多 247.0mm 和 19.8%。年蒸发量林分为 480.9,占 38.5%;草坡为 714.5mm,占 57.2%,分别比林分多 233.6mm 和 18.7%。

(3)地面径流量在支出项中,林分的是最小项,而草坡居第二位。林分年径流量为 143.2mm,占年降水量的 11.5%;草坡为 224.1mm,占 18.0%。林分分别比草坡少 80.9mm 和 6.5%。

(4)下渗土层水量在支出项中,林分的居第二位,而草坡的为最小项。林分年下渗土层水量为 252.6mm,占年降雨量的 20.2%;草坡为 185.1mm,占 14.8%。林分分别比草坡多 67.5mm 和 5.4%。

(5)把下渗土层水量中林分比草坡多的量,加上径流量中林分比草坡少的量,减去蒸散量中林分比草坡多的量,作为林分对水资源的生态效益比草坡大的量。这个量为 135.0mm,是年降水量的 10.8%。

植物蒸腾量是植物对水分利用的有效量,应该作为林分对水资源的生态效益的量。因此,应该把蒸腾量中林分比草坡多的量作为林分对水资源的生态效益比草坡多的量。这个量为382.0mm,是年降水量的30.6%。

(6)一年中水量平衡的逐月变化,各支出项的总和都小于林外降水量,所以下渗土层水量,无论林分还是草坡都是正值,而且都是林分大于草坡。但是12月由于降水量很少,蒸散量大于降水量,下渗土层水量出现负值,而且草坡的绝对值大于林分。反映出土层内在冬季干旱时缺水。

表4 龙桥马尾松林水量平衡(mm)

项 目	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年合计	占年总量(%)
林外雨量	44.5	74.0	71.3	105.3	159.1	190.2	142.5	172.3	99.8	79.9	84.5	24.6	1248.0	100.0
森林蒸散量														
林冠(截留)蒸发量	10.9	13.2	13.1	15.3	21.7	25.7	21.6	25.0	13.4	12.4	13.5	5.6	191.4	15.3
森林蒸腾量	4.8	6.9	17.3	35.4	49.4	55.6	60.1	56.0	42.8	26.6	11.1	5.3	371.3	29.8
林内地面蒸发量	13.9	15.0	18.6	26.4	29.0	32.1	33.9	31.7	26.0	24.2	20.1	18.6	289.5	23.2
林外草坡蒸散量														
草本植物蒸腾量	3.1	3.7	7.3	10.7	14.4	18.2	20.1	16.3	11.5	8.8	6.2	4.0	124.3	10.0
地面蒸发量	31.7	35.6	46.4	64.2	76.1	83.2	87.3	82.3	64.3	55.2	45.8	42.4	714.5	57.2
地面径流量														
林内	4.1	7.8	7.6	11.6	19.1	23.2	18.5	20.7	11.0	8.5	8.9	2.2	143.2	11.5
林外草坡	7.2	11.8	12.1	19.0	29.4	36.1	27.1	31.9	18.0	13.2	14.4	3.9	224.1	18.0
下渗土层水量														
林内	10.8	31.1	14.7	16.6	39.9	53.6	8.4	38.9	6.6	8.2	30.9	-7.1	252.6	20.2
林外草坡	2.5	22.9	5.5	11.4	39.2	52.7	8.0	41.8	6.0	2.7	18.1	-25.7	185.1	14.8

5. 龙桥杉木林的水量平衡分析

根据(3)和(4)式的计算结果,龙桥杉木林和林外草坡水量平衡各分量的数值列于表5。由表可看出如下特点:

(1)在龙桥杉木林的水量平衡中,蒸散量是支出项中的最大项,而且是林分的蒸散量大于林外草坡。草坡年蒸散量为838.8mm,占年降水量的67.2%;林分为876.0mm,占70.2%,分别比草坡多37.2mm和3.0%。

(2)在蒸散量中,蒸腾量是林分的大于草坡,而蒸发量则是草坡的大于林分。草坡年蒸腾量为124.3mm,占年降水量的10.0%;林分为397.1mm,占31.8%,分别比草坡多272.8mm和21.9%。年蒸发量林分为478.9mm,占38.4%;草坡为714.5mm占57.2%,分别比林分多235.6mm和18.9%。

(3)地面径流量在支出项中与马尾松林相反,草坡和杉木林内都居第二位。草坡年径流量为224.1mm,占年降水量的18.0%;林分为298.9mm占24.0%;分别比草坡多74.8mm和6.0%。

(4)下渗土层水量在支出项中,杉木林和草坡都是最小项。林分年下渗土层水量为79.1mm,占年降水量的6.3%;草坡为185.1mm,占14.8%,草坡分别比林分多106.0mm和8.5%。

(5)把下渗土层水量中林分比草坡多的量(-106.0mm),加上径流量中林分比草坡少的量(-74.8mm)减去蒸散量中林分比草坡多的量,作为林分对水资源的生态效益比草坡大的量。这个量为-218.0mm,为年降水量的-17.5%。这是全垦造林、经营不善,在幼龄期为水土流失的类型。植物蒸腾量是植物对水分利用的有效量,应作为林分对水资源的生态效益的量,因此,应该把蒸腾量中林分比草坡多的量作为林分对水资源的生态效益比草坡大的量。这个量

为 54.8mm,为年降水量的 4.4%。

(6)一年中水量平衡的逐月变化,各支出项的总和(除 12 月外)都小于林外雨量,无论林分还是草坡,下渗土层水量都是正值。但是由于这种林型是全垦造林的幼龄期,林下草本植物覆盖度观测 10 年后才达到 1%,水土流失严重,所以下渗土层水量林内比草坡的小。12 月同样出现土层干旱缺水现象。

表 5 龙桥杉木林水量平衡(mm)

项 目		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年合计	占年总量(%)
林外雨量		44.5	74.0	71.3	105.3	159.1	190.2	142.5	172.3	99.8	79.9	84.5	24.6	1248.0	100.0
森林蒸散量	林冠(截留)蒸发量	7.0	8.4	8.2	14.1	21.2	25.1	18.9	22.7	13.3	10.6	10.9	4.2	164.6	13.2
	森林蒸腾量	13.4	22.2	22.1	33.7	50.9	62.8	45.6	56.9	31.9	24.8	25.4	7.4	397.1	31.8
	林内地面蒸发量	14.2	19.5	24.0	28.2	30.2	31.9	33.9	29.3	27.7	25.1	24.2	20.1	314.3	25.2
林外草坡蒸散量	草本植物蒸腾量	3.1	3.7	7.3	10.7	14.4	18.2	20.1	16.3	11.5	8.8	6.2	4.0	124.3	10.0
	地面蒸发量	31.7	35.6	46.4	64.2	76.1	83.2	87.3	82.3	64.3	55.2	45.8	42.4	714.5	57.2
地面径流量	林内	9.8	16.3	16.4	25.3	39.8	47.6	34.2	43.1	24.0	18.4	18.6	5.4	298.9	24.0
	林外草坡	7.2	11.8	12.1	19.0	29.4	36.1	27.1	31.9	18.0	13.2	14.4	3.9	224.1	18.0
下渗土层水量	林内	0.1	7.6	0.6	4.0	17.0	22.8	9.9	20.3	2.9	1.0	5.4	-12.5	79.1	6.3
	林外草坡	2.5	22.9	5.5	11.4	39.2	52.7	8.0	41.8	6.0	2.7	18.1	-25.7	185.1	14.8

6. 龙桥柠檬桉与马尾松混交林水量平衡分析

根据(3)和(4)式的计算结果,龙桥柠檬桉与马尾松混交林水量平衡各分量的数值于表 6。从表中可以看出如下特点:

(1)在龙桥柠檬桉与马尾松混交林的水量平衡中,蒸散量是最大的支出项,而且是草坡大于林分。林分年蒸散量为 771.6mm,占年降水量的 61.9%;草坡为 838.8mm,占 67.2%,分别比林分多 67.2mm 和 5.3%。

(2)在蒸散量中,蒸腾量是林分大于草坡,而蒸发量则是草坡大于林分。草坡年蒸腾量为 124.3mm,占年降水量的 10.0%;林分为 346.7mm,占 27.8%,分别比草坡多 222.4mm 和 17.8%。林分的年蒸发量为 424.9mm,占 34.1%;草坡为 714.5mm,占 57.2%,分别比林分多 289.6mm 和 23.2%。

(3)地面径流量在支出项中,林分为最小项,而草坡居第二位。林分年径流量为 77.9mm,占年降水量的 6.2%;草坡为 224.1mm,占 18.0%,林分分别比草坡少 146.2mm 和 11.8%。

表 6 龙桥柠檬桉与马尾松混交林水量平衡(mm)

项 目		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年合计	占年总量(%)
林外雨量		44.5	74.0	71.3	105.3	159.1	190.2	142.5	172.3	99.8	79.9	84.5	24.6	1248.0	100.0
森林蒸散量	林冠(截留)蒸发量	8.4	10.4	9.5	11.2	19.4	20.9	16.6	19.0	12.7	10.1	10.2	4.6	153.0	12.3
	森林蒸腾量	11.6	19.2	19.3	29.5	44.5	55.2	41.3	48.2	27.9	21.6	22.0	6.4	346.7	27.8
	林内地面蒸发量	8.9	14.8	15.0	23.2	35.0	43.7	32.8	37.9	22.0	16.8	16.9	4.9	271.9	21.8
林外草坡蒸散量	草本植物蒸腾量	3.1	3.7	7.3	10.7	14.4	18.2	20.1	16.3	11.5	8.8	6.2	4.0	124.3	10.0
	地面蒸发量	31.7	35.6	46.4	64.2	76.1	83.2	87.3	82.3	64.3	55.2	45.8	42.4	714.5	57.2
地面径流量	林内	1.8	3.0	3.6	6.3	11.1	15.2	11.4	12.1	5.0	4.0	3.4	1.0	77.9	6.2
	林外草坡	7.2	11.8	12.1	19.0	29.4	36.1	27.1	31.9	18.0	13.2	14.4	3.9	224.1	18.0
下渗土层水量	林内	13.8	26.6	23.9	35.1	49.1	55.2	40.4	55.1	32.2	27.4	32.0	7.7	398.5	31.9
	林外草坡	2.5	22.9	5.5	11.4	39.2	52.7	8.0	41.8	6.0	2.7	18.1	-25.7	185.1	14.8