

小良热带人工阔叶混交林 林冠蒸散测定研究

李国琛、黄录基、陈琍、张绍贤

(广州地理研究所)

提 要

森林林冠蒸散测定研究是我国华南地区热带、亚热带生态系统研究的一个组成部分。它把森林林冠层作为一个总体,在林冠层顶利用英弘CN—I净辐射仪测出其辐射平衡值(R)、以及林冠层顶与距层顶2米高空气层间的气温差(ΔT)和水汽压差(Δe),运用近地层热量平衡方程式、求得林冠层总

体蒸散近似值公式为:
$$E = \frac{R}{L(1 + 0.61 \frac{\Delta T}{\Delta e})}$$

从1982年7月1日至1983年4月30日期间,测得一年四季各代表月的热带人工阔叶混交林(沙椴+麻楝+白木香+黑格)林冠蒸散月总量和日蒸散强度分别如下:7月(夏)147.9毫米,平均4.8毫米/日,最大8.3毫米/日;10月(秋)103.9毫米,平均3.3毫米/日,最大7.3毫米/日;1月(冬)63.0毫米,平均2.0毫米/日,最大4.8毫米/日;4月(春)83.2毫米,平均2.8毫米/日,最大5.9毫米/日。

一、生境特点

广东省电白县小良水土保持试验推广站的(简称:小良水保站)热带人工林位于粤西南,濒临南海(相距5公里),东距广州387公里,西离湛江75公里,居东经 $110^{\circ}54'18''$,北纬 $21^{\circ}27'49''$ 。

由于地处北回归线以南热带北缘,属季风热带气候,年中太阳两度直射、热量丰富、水分充沛。年均温 23.0°C ,绝对高温 37.2°C ,绝对低温 3.4°C ,年均雨量1467.3毫米,年均相对湿度82%,年均绝对湿度24.0毫巴,年均日照2186.5小时,日照百分率49%^[1],水热条件优越。

小良水保站及其周围地势起伏平缓,均为海拔高度50米以下低丘台地。相对高度大都在20~30米上下。除谷地部分辟为稻田发育水稻土外,其余低丘台地上均发育砖红壤性红壤。过去由于原始森林被滥伐破坏,水土流失严重,土地荒芜,几乎变成一片不毛之地。经过多年

植树造林和生态研究,至今当地已面貌一新。在光秃荒芜低丘台地上逐步恢复起一片葱绿的热带人工林,我们在林中位于贵山岭东南坡上的、以沙椶(*Aphanamixis polystachya*)、麻楝(*Chukrasia tabularis*)、白木香(*Aguilaria sinensis*)、黑格(*Albizia odoratissima*)为建群种的热带人工阔叶混交林中开展林冠蒸散测定研究。

该阔叶混交林的林龄为7年,林相较整齐,株行距 2×3 米,每亩约110株,树高平均6.2米,林冠厚度平均4米,郁闭度约0.7。

二、林冠蒸散测定方法及仪器布设

森林林冠蒸散,包括物理蒸发和生理蒸腾两部分,两者缺一不可。过去采用直接、单纯的器测法(如土壤蒸发器、水面蒸发器和纸面蒸发器等)只能测出其纯粹的物理蒸发部分;而快速称重法、Potometer法等则只能测出其纯粹的生理蒸腾部分。以上两者都不能采用。

能比较可靠而行之有效的测定林冠蒸散量的方法有热量平衡法、水量平衡法和乱流扩散法等。其中水量平衡法因土壤水储量变化项的测定技术很复杂,迄今没有妥善解决,目前此法只适用于长年的总蒸发计算;而在日、月、季节年内分配等短期蒸发计算中还不能应用。乱流扩散法虽物理基础较明确,但因确定乱流交换系数复杂,方法尚不成熟,目前还不能广泛应用。

热量平衡法不但具有明确的物理基础,而且能同时测定林冠中包括物理蒸发和生理蒸腾两部分的总蒸散量。热量平衡公式也不繁杂,易于为工作人员掌握。所以,此法是目前测定森林林冠蒸散比较优越的方法。我们就是选择这种方法对小良水保站热带人工阔叶混交林林冠蒸散进行测定的。

采用热量平衡法测定当地林冠蒸散的仪器主要有英弘CN—II型净辐射仪(日本产)一套,国产HS1—1型遥测通风干湿表二套。DYJ 1—1型自记气压计和空盒气压计各一个。此外,还有电接风向风速仪等。

观测仪器布设、安装在小良水保站贵山岭东南坡的铁架上和观测室内。地形坡度一般小于或接近 5° ,地面起伏平缓。竖立在坡上的观测铁架地面高程为海拔44.5米,铁架离地面高度10米(包括避雷针高12米)。建立在坡上的观测室地面高程为海拔42.5米,观测室与铁架相距28米。

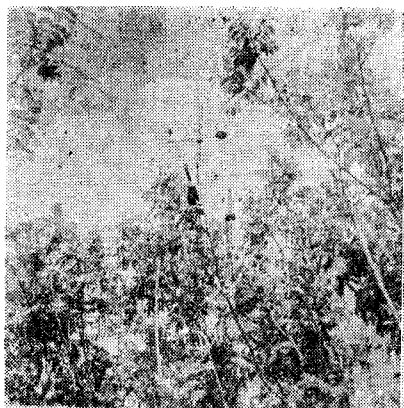
室外部分:即安装在铁架上的观测仪器(见照片1),主要是仪器感应部分。CN—II型净辐射仪感应部分,安装高度7米(林冠层顶);HS1—1型遥测通风干湿表感应部分,安装高度7米和9米(距林冠层顶2米);EL型电接风向风速感应器,安装高度7米。

室内部分:即布设在观测室内的观测仪器,主要是仪器指示、记录和操作部分(见照片2)。CN—II型净辐射仪指示器与记录器,即配有变压器的毫伏计或配有变压器和分流器的动圈式记录器;遥测通风干湿表测量指示箱二套(分别与室外铁架上7米和9米高度上感应部分相配套);电接风向风速仪指示器和记录器;自记气压计和空盒气压计各一个。

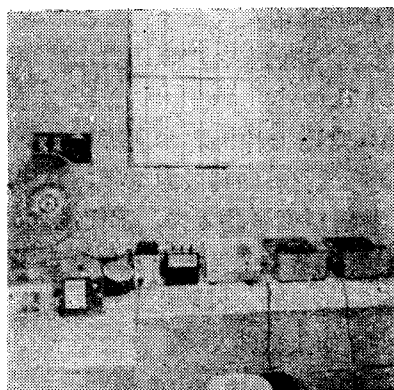
安装在室外铁架上各观测仪器感应部分,分别通过电缆与布设在室内仪器指示、记录和操作部分相连接,观测人员在室内操作便可直接对室外林冠层顶及其上空各种有关气象要素进行观测读数 and 记录。

三、林冠蒸散测定原理和计算方法

林冠蒸散测定原理是以能量守恒定律作为理论基础。因为热量平衡方程表征包括植物在



照片1 安装在室外铁架上的观测仪器感应部分



照片2 安装在室内观测仪器指示、记录和操作部分

内的下垫面与大气以及土壤间的热量和水分交换。所谓热量平衡就是辐射平衡与其转变成其它能量消耗或能量补偿之间的平衡，所以森林作用层热量平衡可以写成下列形式：

$$R - LE - P - A - IA_0 = 0 \dots\dots(1)$$

林冠层得到热量R为“+”值，失去热量R为“-”值。式中：

R ~ 辐射平衡（净辐射）

LE ~ 消耗于蒸散的热量（E为蒸散量，蒸散潜热L = 597卡/克）

P ~ 乱流交换热量

A ~ 森林作用层储热量变化

IA₀ ~ 林冠光合作用耗热量

由于林冠层光合作用对太阳辐射能的利用最高仅为5%，实际通常利用率只有1~2%，因此省略IA₀项对热量平衡方程式影响不大。根据波文研究，热量平衡方程式可写成另一种形式，即

$$E = \frac{R - A}{L(1 + B)} \dots\dots(2)$$

$$\text{式中波文比 } \beta = \eta \times 10^{-3} P \left(\frac{T_s - T_A}{e_s - e_A} \right) = \xi \frac{\Delta T}{\Delta e} \dots\dots(3)$$

波文在两种极限情况下试验结果η分别为5.8和6.6，ξ分别为0.58和0.66。介于其间一般情况，η可取6.1，或ξ可取0.61。

森林作用层储热量变化项A包括森林生物体内储热量的变化D₀和林地土壤热交换A_p，因为阔叶混交林在生长期D₀和A_p在热量平衡分量日总量中所占比重很小，其中D₀ = O^[4]，而森林地区由于大部分太阳辐射都截留在林冠层顶，太阳总辐射和辐射平衡值(R)是从林冠层顶到地面呈指数递减，在林冠层遮阴下土壤表层太阳辐射（特别是直接辐射）强度和净辐射都很小，因此，地表土壤热传导量A_p也很小。

根据中国科学院林业土壤研究所广州市郊龙眼洞林地观测资料（2月）得到的计算结果表明，土壤热交换(A_p)日变化值为热量平衡(R)日变化值的+0.163%~-2.6%之间（平均日变化值仅为1.63%），A_p在热量平衡各分量中所占比重确实很小，可忽略不计，对E的

计算影响不大。

所以，求算林冠蒸散(E)可简化成下面公式进行计算：

$$E = \frac{R}{597 \left(1 + 0.61 \frac{\Delta T}{\Delta e} \right)} \dots\dots(4)$$

四、林冠蒸散测算结果与分析

森林林冠蒸散是随季节变化而变化的，不同季节不同月份其蒸散量和蒸散强度都不相同。因此，一年四季的不同月份都要进行测定，每个季度选一代表月（春季选4月、夏季选7月、秋季选10月、冬季选1月）进行定时观测，从1982年7月1日开始，至1983年4月30日止，为期一年。

(一) 测算结果

广东省小良水保站贵山岭热带人工阔叶混交林林冠蒸散一年四季各代表月测算结果详见表1。

表1 热带人工阔叶混交林林冠蒸散比较表

Table 1 Evapotranspiration in the canopy of tropical man-made broad-leaf mixed forest

季(代表月)	项 目	月 总 量 (毫 米)	月 平 均 (毫 米 /日)	月 最 大	
				强 度 (毫 米 /日)	出 现 日 期
夏季(7月/1982年)	林冠	147.9	4.8	8.3	13
	林下	77.9	2.5	4.1	10
	林间	96.7	3.1	6.3	1
	秃荒地	210.8	6.8	9.9	20
	气象站	208.5	6.7	9.2	20,29
秋季(10月/1982年)	林冠	103.8	3.3	7.3	18
	林下	66.1	2.1	3.9	18
	林间	75.3	2.4	4.4	18
	秃荒地	173.8	5.6	8.8	17
	气象站	176.6	5.7	8.3	10
冬季(1月/1983年)	林冠	63.0	2.0	4.8	16
	林下	35.3	1.1	1.9	2
	林间	57.0	1.8	3.7	27
	秃荒地	85.4	2.8	5.1	3
	气象站	85.0	2.7	5.0	15
春季(4月/1983年)	林冠	83.2	2.8	5.9	20
	林下	46.0	1.5	3.0	26
	林间	82.7	2.8	5.8	26
	秃荒地	123.6	4.1	6.5	26
	气象站	121.1	4.2	8.1	26

(二) 影响蒸散的主要气象因素

影响林冠蒸散的因素多而复杂,有气象因素、植物生理生态因素,还有土壤水文因素等等,但对林冠蒸散影响较大的是林冠总叶量、太阳辐射、林冠层顶空气饱和差等。对同一类型森林来说,林冠蒸散在总叶量相同或变化很小、而土壤水分又较充足的情况下,主要受气象因素如太阳辐射(或受太阳辐射强弱支配的林冠层顶气温)和林冠层顶空气饱和差的影响。这是因为太阳辐射愈强、净辐射愈大,蒸散面温度愈高,分子运动的动能增大,水分子愈容易脱离蒸散面,因此蒸散愈强;反之,太阳辐射强度愈小、蒸散面温度愈低,则蒸散愈弱。而空气饱和差愈大,表示空气距离饱和程度愈远、所能容纳的水汽量愈多,因此蒸散愈强;反之,空气饱和差愈小,则蒸散愈弱。由于净辐射、气温和绝对湿度都与太阳辐射能成正比关系,因此,林冠层顶净辐射(R)愈强、气温(T_s)愈高、绝对湿度(e_s)愈大,林冠蒸散(E)也愈大;反之,则林冠蒸散(E)也愈小。

表2 热带人工阔叶混交林林冠蒸散强度与主要气象因素关系
Table 2 Relation between the evapotranspiration in the canopy of tropical man-made broad-leaf forest and the principal meteorological factors

数 值 气 象 因 素	季(代表月)			
	夏季7月 (1982年)	秋季10月 (1982年)	冬季1月 (1983年)	春季4月 (1983年)
林冠蒸散强度 E (毫米/日)	4.8	3.3	2.0	2.8
净辐射 R (卡/厘米 ² ·日)	261.4	209.7	121.8	128.5
气 温 T_s (°C)	29.0	26.8	14.2	21.7
绝 对 湿 度 e_s (毫巴)	34.0	27.8	14.1	23.8
空气饱和差 $e_w - e_A$ (毫巴)	6.4	7.2	1.7	1.8

从表2和附图,可以看出林冠蒸散强度与主要气象因素和季节变化的关系。林冠蒸散强度随太阳辐射强度周年季节变化而变化,以夏季7月最大,冬季1月最小。此外,风速、气压、相对湿度……等其他气象因素对林冠蒸散都有影响,但它们的作用相对较小些,而且往往只有当太阳辐射强度、气温、绝对湿度或空气饱和差相同或接近时才显出它们对蒸散的作用。

(三) 蒸发(散)对比分析

作者利用同纬度同地区同时间蒸发(散)量资料进行同步比较(见表1、附图1、2、3、4、5)发现:

1. 从同一天不同类型的蒸发散量比较,林冠蒸散量大于林下蒸发量*、稍大于或接近于林间蒸发量*;而小于秃荒地蒸发量*和本地(电白)气象站观测的蒸发量;

*林下、林间和秃荒地蒸发量资料由中国科学院华南植物研究所和小良水保站提供,特此致谢。

2. 从日蒸发(散)量变化过程线比较,在同一代表月中,日蒸发(散)量升降变化趋势基本接近;

3. 在一年四季各代表月测算结果中,月蒸发(散)量和强度变化趋势完全一致,同样随太阳辐射周年变化进程而变化,以7月(夏)最大,10月(秋)次之,4月(春)再次之,1月(冬)最小。

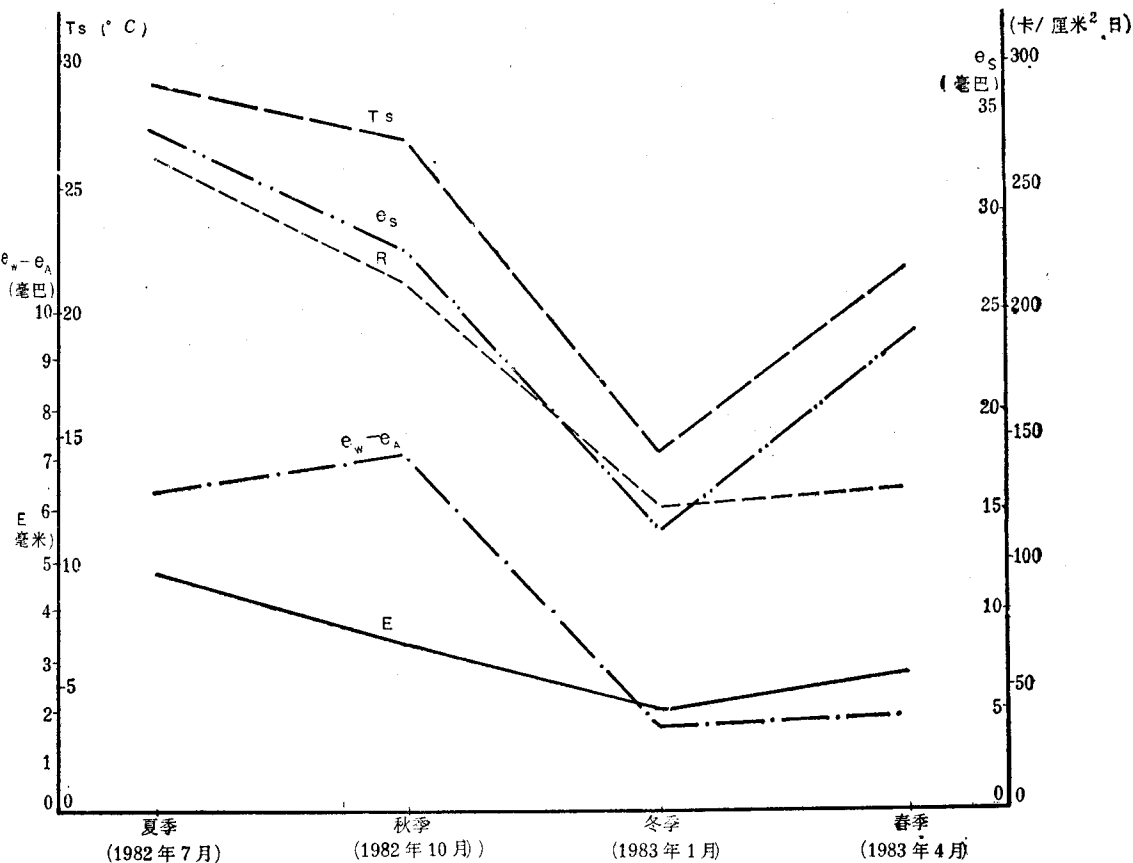


图1 热带人工林林冠蒸散(E)净辐射(R)林冠层顶气温(T_s)绝对湿度(e_s)和空气饱和差($e_w - e_a$)对比分析图

Fig. 1 Comparison of evapotranspiration, radiation, temperature, absolute humidity and air saturation deficiency in the canopy of tropical man-made forest

图例
 — 贵山岑林冠蒸散量
 - - 贵山岑林下蒸发量
 ···· 竹园岑林间蒸发量
 - · - 白石岑荒地蒸发量
 - - - 电白气象站蒸发量

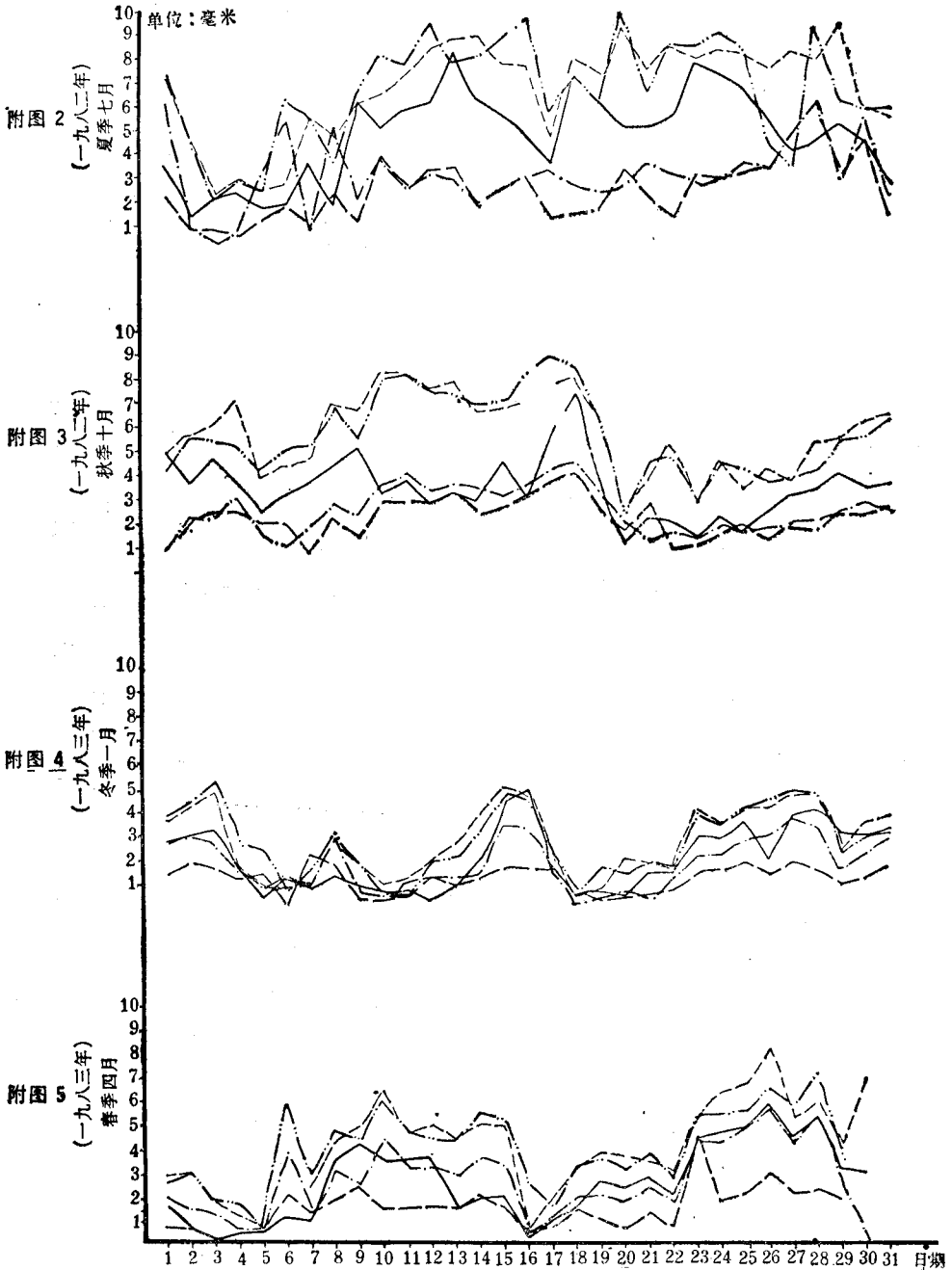


图 2—5 热带人工阔叶混交林林冠蒸散量与林下、林间、林外和气象站蒸发量对比图
 Fig. 2-5 Comparison of evapotranspiration of the canopy and evaporation

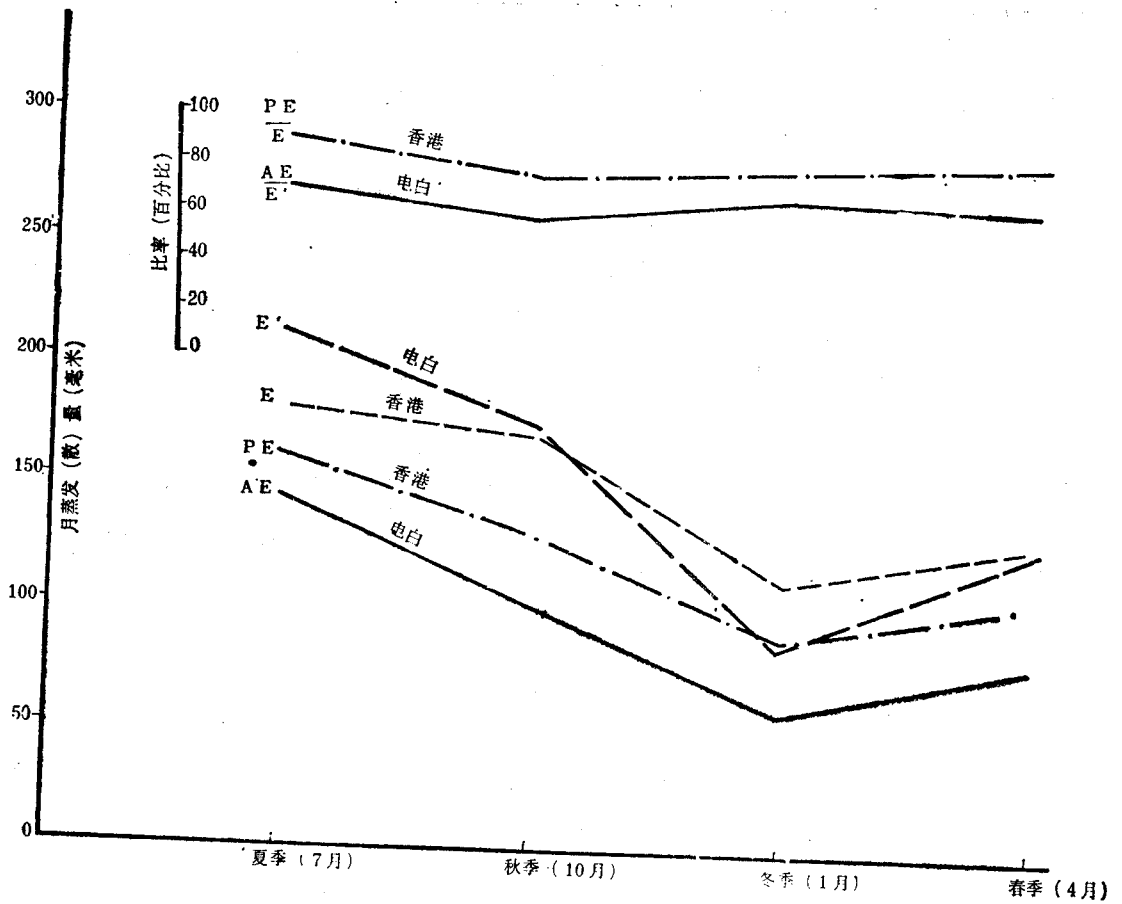


图6 小良水保站与香港京士柏站月蒸散量和月蒸发量及其比率对比图
 Fig. 6 Comparison of monthly evapotranspiration and monthly evaporation in Xiaoliang and Hong Kong

再从我国香港关于“京士柏站”蒸散和蒸发观测研究结果可知：在同一气象条件下，可能蒸散（PE）小于蒸发器蒸发（E），它们月蒸发（散）量比率PE/E如下：1月86.3/110.5（78.1%），4月104.0/125.0（83.2%），7月162.1/179.5（90.3%），10月129.1/172.0（75.1%），全年1391.8/1699.5（81.9%）^[6]。实际蒸散比可能蒸散小，它与蒸发器蒸发比率应比上面所列比率还要小。在电白小良水保站关于热带人工阔叶混交林冠蒸散（AE）与蒸发器蒸发（E'）测算比率如下：1月63.0/85.4（73.8%），4月83.2/123.6（67.3%），7月147.9/210.8（70.2%），10月103.8/173.8（59.7%），全年平均67.8%。

电白和香港同处于我国华南低纬地区，靠近南海，地理纬度相差很小（小于1个纬度），

太阳辐射周年季节变化大体相同，因此，蒸散量与蒸发量比率周年季节变化趋势相应比较接近（见附图5）。

通过以上分析表明，小良水保站热带人工阔叶混交林林冠蒸散测算结果，在量级和季节变化趋势方面都接近于当地实际情况，是可靠的和可信赖的。

五、讨论

森林蒸散是各国学者研究的重要课题之一。由于林冠蒸散是错综复杂的生物—物理过程，精确的测定方法至今还没有得到完全解决。因此，在测定研究过程中还存在一些问题值得讨论和进一步研究。

1. 热量平衡方程式中波文比（ B ）的准确程度是引起林冠蒸散测算结果误差最大的原因，平均误差为8%，最大误差为17%^[5]，需进一步研究改进。

2. 对波文比（ B ）项中 T_A 、 e_A 观测高度的选择问题，过去一般采用1米或1.5米间距，从本文测算结果比较接近实际情况来看，采用2米间距比较适宜。

3. 在土壤水份较充足的情况下，从影响林冠蒸散强度主要气象因素分析中可见，起决定性作用的是太阳辐射强度（或反映太阳辐射强度的林冠层顶气温和绝对湿度），其次是林冠层顶空气饱和差。

采用CN—Ⅱ型净辐射仪测定林冠蒸散工作在我国华南地区还是初次，由于作者水平有限、缺乏经验，文中难免有不足甚至不妥之处，望读者指正。

参 考 文 献

- [1] 广东省湛江地区气象局编，1976年：湛江地区气候志，177、181、195、201、225、229、249页。
- [2] 王正非、崔启武，1964年：森林总体蒸发（散）的测定研究。中国科学院林业土壤研究所集刊，第一集，32~39页。
- [3] 王正非、崔启武、王维华，1964年：林冠蒸发散的计算。中国科学院林业土壤研究所集刊，第一集，40~43页。
- [4] 云南林学院主编，1978年：气象学，农业出版社，156~158页。
- [5] 朱劲伟，1964年：利用热量平衡法对甘肃省子午岭林区山杨林与辽东栎林的总蒸发散进行测定的初步报告。中国科学院林业土壤研究所集刊，第一集，46~53页。
- [6] Chen T. Y., 1976: Evaporation and evapotranspiration in Hong Kong, Royal Observatory, Hong Kong Technical Note, No. 42, 52, p. 55-58.

EVAPOTRANSPIRATION FROM THE TROPICAL ARTIFICIAL BROAD-LEAF FOREST IN XIAOLIANG

Li Guo-chen Huang Lu-ji Chen Li Zhang Shao-xian

(*Guangzhou Institute of Geography*)

Abstract

Evapotranspiration from the canopy of the tropical artificial broad-leaf forest in the Xiaoliang Water and Soil Conservation Station (21°21' 49"N, 110°54'18"E) for representative months has been measured and calculated by energy balance method. The main results can briefly be listed as follows:

Evapotr. \ Season	Summer (July)	Autumn (Oct)	Winter (Jan.)	Spring (Apr.)
Item				
monthly sum (mm)	147.9	103.8	63.0	83.2
daily mean (mm/day)	4.8	3.3	2.0	2.8
daily maximum (mm/day)	8.3	7.3	4.8	5.9