

鼎湖山 4 种主要森林的温度和湿度差异

欧阳学军 黄忠良 周国逸* 彭闪江

(中国科学院华南植物研究所, 广东 广州 510650)

摘要: 利用 3-5 年的观测数据, 分析了鼎湖山 4 种不同海拔高度森林温湿度的差异及其原因。结果表明: 鼎湖山马尾松林、针阔叶混交林、沟谷雨林和山地常绿阔叶林的年平均气温和大气相对湿度分别为 22.7℃、80%, 20.9℃、82%, 20.4℃、87% 和 19.2℃、81%。这 4 种森林的年平均日较差依次为 5.9℃、4.6℃、3.6℃ 和 3.1℃, 且月变异系数逐渐减小, 森林主要通过降低日最高温而减少林型间气温日较差。年平均湿润度计算结果表明各林型均为湿润, 但月湿润度差异明显。分离综合分析说明, 局部小地形和植被类型的差异是造成林内气温在不同林型间差异的原因, 而海拔高度的差异造成马尾松林与山地常绿阔叶林温度极显著差异, 也加剧了与针阔叶混交林温度的显著差异。要正确评价不同森林类型改善小气候功能的强弱, 必须准确区分开海拔高度、小地形、植被类型等各因素造成的差异, 才能得出比较可靠的结论。

关键词: 鼎湖山; 森林类型; 气温; 湿度

中图分类号: S718.512

文献标识码: A

文章编号: 1005-3395(2003)01-0053-06

Differences in Air Temperature and Moisture in Forests in Dinghushan

OUYANG Xue-jun HUANG Zhong-liang ZHOU Guo-yi* PENG Shan-jiang

(South China Institute of Botany, the Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China)

Abstract: Based on meteorological data recorded for about 3-5 years in four forests at different elevation in Dinghushan Biosphere Reserve, the differences in forest temperature and moisture were analyzed. The results showed that the mean air temperature and relative humidity in *Pinus massoniana* forest, broad-leaved and coniferous mixed forest, ravine rain forest, and mountain evergreen broad-leaved forest were 22.7℃, 80%; 20.9℃, 82%; 20.4℃, 87%; and 19.2℃, 81%, respectively, while annual mean daily range of air temperatures were 5.9℃, 4.6℃, 3.6℃, and 3.1℃, respectively. The capacity of the decrease of maximum air temperature in forests was the principal factor of decreasing the annual mean differences in daily range of temperature. The moisture degree indicated that all the four forests were humid annually, but different monthly. Analysis showed that differences in temperature among the four forests were caused by the changes in micro-topography, vegetation type, and altitudinal level. To rationally evaluate the effect of various forests on microclimate, we must consider the differences caused by factors as mentioned above.

Key word: Dinghushan; Forest type; Temperature; Moisture

森林小气候是森林生态系统功能研究的重要内容之一。研究森林小气候, 可以揭示森林的生态功能, 评价森林的环境效应, 为合理利用森林和营造人工生态系统提供依据, 所以一直受到众多学者的重视^[1-4], 但他们大多只注重对单个或成对森林气

象要素的观测及林内外对比考察。由于很难找到几个同时具备典型性、代表性、一致性的观测样地, 对多个森林的对比研究报道较少。在已有的研究中^[5,6], 观测时间普遍较短且不连续, 而且研究者为了突出森林对林内气象要素的作用, 通常忽略其他因素(如小地形差异、冬夏季的差异)的影响, 因而对森林改善气候的能力往往作出过高或过低的评价。

鼎湖山具有多种植被类型, 其中季风常绿阔叶林是地带性群落, 对其森林小气候的研究较多^[2,7,8],

收稿日期: 2002-03-01 接受日期: 2002-07-15

基金项目: 中国科学院知识创新项目(KZCX 2-407); 中国科学院创新工程重要方向项目(KSCX2-SW-120); 中国生态研究网络(CERN)鼎湖山站监测项目资助。

* 通讯作者 Corresponding author

但对多种森林群落类型进行长期系统的小气候观测和比较研究则少见报道。本文对鼎湖山 4 种森林近 3-5 年温湿度的自动记录观测结果进行总结分析,并对引起林内温度差异的原因进行讨论,旨在深入探讨本地带森林生态系统的结构功能,为正确评价森林改善小气候的能力提供科学依据。

1 研究地概况

研究地处于北纬 23°10', 东经 112°34' 的广东省肇庆市鼎湖山国家级自然保护区内,面积为 1 145 hm²,大部分为低山丘陵,海拔多在 100-700 m 之间,最高峰鸡笼山海拔为 1 000.3 m,山脉呈东南

向西北的走势,有东西两条同走向的河谷,溪水常年不断。属南亚热带季风湿润型气候,全年干湿季交替明显。年均气温 20.9℃,7 月为最热月,1 月为最冷月。年降雨量为 1 956 mm,4-9 月为雨季,占年降雨量的 76%,10 月-次年 3 月为旱季,年蒸发量为 1 115 mm,年平均相对湿度为 81%^[9,10]。偶有灾害性天气(主要是寒潮和台风)。

本研究分别在鼎湖山的 4 种主要植被类型:马尾松林、针(马尾松)阔叶混交林、山地常绿阔叶林和沟谷雨林^[11]内设定观测点,各观测点的地理特征如表 1。

表 1 鼎湖山 4 种森林中气象观测点的地理特征

Table 1 Geographical features of meteorological observation sites in four different forests

森林 Forests	盖度* Canopy coverage (%)	林冠高* Canopy height (m)	海拔 Altitude (m)	所处小地形 Micro-topography	坡位 Slope position	坡度 Slope gradient	方位 Slope aspect	土壤类型 Soil type
马尾松林(P)	40	4-8	100	坡地	下坡	30°-40°	东南坡 SE	赤红壤
针阔叶混交林(B)	70	4-12	220	小山谷	中坡	30°-40°	东南坡 SE	赤红壤
沟谷雨林(R)	90	4-20	180	小山谷	中坡	30°-40°	东西向 SW	水化赤红壤
山地常绿阔叶林(M)	85	4-14	620	大山谷	上坡	35°-40°	东北坡 NE	黄壤

* 指乔木层。P: *Pinus massoniana* forest; B: Broad-leaved and coniferous mixed forest; R: Ravine rain forest; M: Mountain evergreen broad-leaved forest.

2 研究方法

按《地面气象观测规范》在林内设置百叶箱和仪器。自动观测使用上海气象仪器厂生产的 ZJ₁₋₁ 型温湿度计 24 h 连续记录 4 种林型的大气温度和相对湿度,每周换记录纸一次,每次换纸前用干湿球温度表校正。记取每天 2、8、14 和 20 时的温湿度数值、每天的最高、最低值及出现的时间。用每周换纸时干湿球温度表记录的温湿度值与该时仪器记录在纸上的温湿度值计算每周的仪器差,用内插法求出一周中各取数时刻的器差值作为仪器差进行订正。沟谷雨林和山地常绿阔叶林从 1996 年 11 月开始观测,为期 5 年,马尾松林和针阔叶混交林从 1998 年 6 月开始观测,为期 3 年。自动记录中缺测时段的数值用内插法补。其他计算均按《气象资料的整理和统计方法》^[12]进行。显著性检验^[13]使用与马尾松林和针阔叶混交林同期的数据进行。H H 伊万诺夫湿润度(K)^[4]按下式计算:

$$K_{月} = R_{月} / [(0.0018(25+T_{月})^2(100-f_{月}))]$$

式中 $K_{月}$ 为月湿润度, $R_{月}$ 为月降水量, $T_{月}$ 为月平均温度, $f_{月}$ 为月平均相对湿度。年湿润度用各月湿润度算术平均算得。伊万诺夫湿润度分级标准^[4]为: K

值大于 1 为湿润, 0.6-1.0 为半湿润, 0.3-0.59 为半干旱, 0.13-0.29 为干旱, 小于 0.13 为极干旱。

3 结果和分析

3.1 平均气温

鼎湖山 4 种森林平均气温月变化(图 1)都表现出相似的特征。1 月的平均温度最低(马尾松林 15.1℃, 针阔叶混交林 12.2℃, 沟谷雨林 12.5℃, 山地常绿阔叶林 11.1℃), 2 月后迅速升高, 8 月(沟谷雨林为 7 月)出现最大值(依次为 28.8℃, 27.5℃, 26.9℃, 26.0℃), 以后逐渐降低。这说明外界大气对森林生态系统小气候的变化起支配作用。不同林型间比较, 年平均气温以马尾松林最高, 针阔叶混交林和沟谷雨林次之, 山地常绿阔叶林最低, 4 种林型依次为 22.7℃, 20.9℃, 20.4℃, 19.2℃, 各月平均气温也表现出马尾松林 > 针阔叶混交林 > 沟谷雨林 > 山地常绿阔叶林(图 1)的趋势。用 3 年的月均气温作 F 检验(表 2)和最小显著极差法(即 SSR 法)检验结果表明, 马尾松林与其它 3 种林型均存在极显著差异, 针阔叶混交林与山地常绿阔叶林存在显著差异(表 3)。

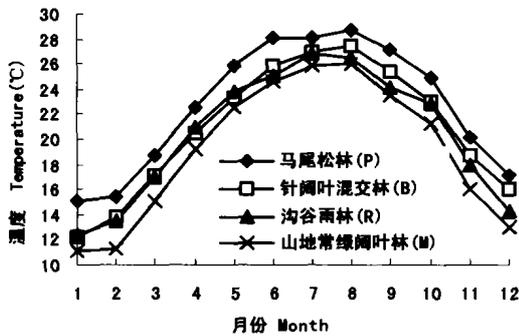


图 1 鼎湖山 4 种森林月平均气温变化

Fig. 1 Monthly changes in average temperature in four forests in Dinghushan
For P, B, R, and M see Table 1.

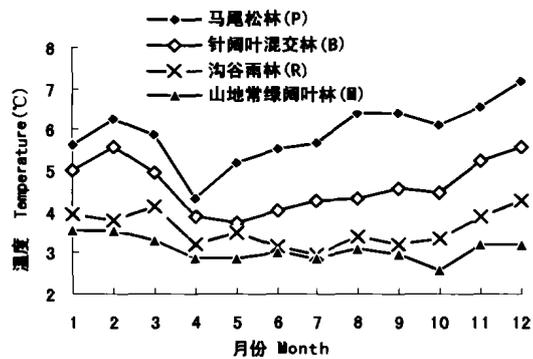


图 2 鼎湖山 4 种森林林内月平均日较差变化

Fig. 2 Monthly changes in average daily range of temperature in four forests in Dinghushan
For P, B, R, and M see Table 1.

表 2 鼎湖山 4 种森林林内气温方差分析表

Table 2 Variance analysis of different forest temperatures in Dinghushan

变异来源 Variation from	自由度 Degree of freedom	离差平方和 Sum of squares of deviations	均方 Mean square	均方比 Variance ratio	F _{0.05}	F _{0.01}
森林 Forest	3	140.31	46.77	104.4**	2.72	4.04
月份 Month	32	3523.67	110.11	245.8**	1.6	1.94
误差 Error	96	43.01	0.448			
总变异 Total	131	3706.99				

** 表示在 0.01 水平上显著 Significant at the 0.01 probability level.

表 3 鼎湖山 4 种森林林内气温差异显著性比较 (新复极差法)

Table 3 Variance significance of air temperatures in different forests in Dinghushan

森林 Forest	平均气温 (°C) Average temperature	差异显著性 Variance significance		
		Ti-19.79	Ti-20.77	Ti-21.01
马尾松林 (P)	22.66	2.87**	1.89**	1.65**
针阔叶混交林 (B)	21.01	1.22*	0.24	
沟谷雨林 (R)	20.77	0.98		
山地常绿阔叶林 (M)	19.79			

LSR_{0.05}(128,2)=0.93; LSR_{0.05}(128,3)=0.98; LSR_{0.05}(128,4)=1.01; LSR_{0.01}(128,2)=1.22; LSR_{0.01}(128,3)=1.27; LSR_{0.01}(128,4)=1.31。* 和 ** 分别表示在 0.05 和 0.01 水平上显著, Significant at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively. For P, B, R, and M see Table 1.

3.2 气温极值及日较差

森林对温度的调节功能是在低温时能保温防寒, 高温时降温防暑, 其调节效果体现在降低最高温, 提高最低温, 降低并稳定日较差上。从表 4 中可以看出, 4 种林型气温最大值和最小值的月平均值表现为与月平均气温相似的年季节变化规律, 都是 1 月最小, 8 月最大, 变化曲线也相似, 同样体现外界大气候的支配作用。在不同林型间, 气温最大值和最小值的月平均值皆为马尾松林 > 针阔叶混交林 > 沟谷雨林 > 山地常绿阔叶林。气温最大值和最小值的月平均值的这种排列顺序与各林分的覆盖度大小顺序相反 (山地常绿阔叶林气温最低是因海拔高引起)。各林型极值出现的季节存在差异, 以

2000 年为例, 马尾松林、针阔叶混交林、沟谷雨林和山地常绿阔叶林气温的最大值为 37.9, 34.1, 33.0 和 35.0°C, 但前两者出现在 8 月 23 日, 后两者在 6 月 5 日 (前两者 6 月 5 日的气温为 36.0 和 32.7°C, 后两者 8 月 23 日的气温为 32.5 和 32.0°C)。这可能与天气的类型有关, 也可能是小地形的关系。马尾松林的日较差年平均为 5.9°C, 明显高于针阔叶混交林的 4.6°C、沟谷雨林的 3.6°C 和山地常绿阔叶林的 3.1°C。月平均日较差变化也按这种大小顺序, 而变异系数则相反 (表 4、图 2)。通常变异系数越小, 其维持稳定状态的能力越强, 其调节功能越强。从这点看, 随着森林演替的进展, 林分结构的改善 (主要表现为覆盖度的增加), 森林改善小气候的功能日

趋明显。但由于温度的差异是由多种因素造成的,因此各林型的气温极值和日较差的差异不能完全体现林型在保温防寒降温防暑作用的差异。比较表 4 各林最大值和最小值的差异还会发现,月平均最高温度间的差异比月平均最低温度间的差异更大。

这可能说明热带亚热带地区森林调节温度功能的差异主要体现在降低最高温方面,森林作为大气与林地热通量传导的界面,延缓热量扩散或热传导的效率是显著的。

表 4 鼎湖山 4 种森林气温最大值、最小值的月平均值和日较差的月变化

Table 4 Monthly changes in mean maximum, minimum and daily range of temperature (°C) in forests in Dinghushan

森林 Forests		月份 Month												平均 Mean	CV
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
马尾松林 (P)	Max	18.2	18.4	21.8	24.2	27.9	30.4	31.5	32.4	30.3	28.4	23.6	21.0	25.7	19.9
	Min	12.6	12.2	16.0	19.8	22.7	24.9	25.8	26.0	23.9	22.3	17.1	13.8	19.8	26.4
	DR	5.6	6.3	5.9	4.3	5.2	5.5	5.7	6.4	6.4	6.1	6.6	7.2	5.9	12.4
针阔叶混 交林 (B)	Max	14.7	16.7	19.6	22.5	25.4	27.8	28.8	29.3	27.7	25.4	21.3	18.3	23.1	21.6
	Min	9.7	11.1	14.6	18.6	21.7	23.8	24.5	25.0	23.1	20.9	16.1	12.8	18.5	29.6
	DR	5.0	5.6	5.0	3.9	3.7	4.0	4.3	4.3	4.6	4.5	5.2	5.6	4.6	13.5
沟谷雨林 (R)	Max	14.5	15.6	19.3	22.7	26.1	26.9	27.6	28.4	25.8	24.7	20.0	16.5	22.3	22.3
	Min	10.5	11.8	15.2	19.5	22.7	23.7	24.6	25.0	22.5	21.3	16.1	12.3	18.8	28.4
	DR	3.9	3.8	4.1	3.2	3.5	3.2	3.1	3.4	3.2	3.4	3.9	4.3	3.6	11.2
山地常绿 阔叶林 (M)	Max	12.8	14.3	17.6	20.8	24.0	26.3	27.0	27.3	25.5	22.5	17.7	14.8	20.9	25.3
	Min	9.3	10.8	14.3	17.9	21.1	23.3	24.2	24.2	22.5	19.9	14.4	11.6	17.8	31.0
	DR	3.6	3.5	3.3	2.9	2.9	3.0	2.9	3.1	3.0	2.6	3.3	3.2	3.1	9.4

CV: 变异系数 Coefficient of variability; Max: 最大值 Maximum; Min: 最小值 Minimum; DR: 日较差 Daily range of air temperature. For P, B, R, and M see Table 1.

3.3 湿度状况

森林内部的干与湿是森林小气候的一个特征状态,其干燥与湿润的状况可用相对湿度、湿润度、湿润指数^[4]、相对蒸散系数^[5]和降水日数等来表示。马尾松林、针阔叶混交林、沟谷雨林和山地常绿阔叶林林内年平均相对湿度分别为 80%、82%、87%和 81%。4 种林型的湿度月变化基本一致(图 3),6 月份最大,分别为 90%、90%、95%和 87%;马尾松林、针阔叶混交林和山地常绿阔叶林均在 11 月湿度最小,分别为 71%、69%和 70%,沟谷雨林的最小值为 76%,出现在 12 月。4 种林型的林内大气相对湿度都表现出春夏季较大,秋冬相对较小的特征。这与本地区春夏季节降雨量较大同时气温较高有关。4-9 月就集中了占全年 76%的降雨量^[10],春夏季节温度较高,增强了系统蒸散力和植被蒸腾作用。对 4 种林型作比较可见,马尾松林、针阔叶混交林和山地常绿阔叶林各月林内大气相对湿度比较接近,但都明显小于沟谷雨林内的(图 3)。沟谷雨林 1-10 月的相对湿度都在 80%以上,另外两个月也大于 75%,而马尾松林和山地常绿阔叶林各有 5 个月小于 80%,针阔叶混交林 10-12 月的小于 80%。虽然降雨量在一定范围内随海拔高度的增加而增加^[10],但是沟谷由于溪流的存在,增大了林内水分的供给,同

时沟谷雨林林内温度也比较高(图 1),导致蒸散较大而传输较小,增加了沟谷雨林的大气相对湿度。当然也不排除小地形因素的影响。

湿润度是指环境的湿润程度。表 5 看出,根据伊万诺夫湿润度分级标准,鼎湖山 4 种林型的年平均干湿状况均为湿润,然而,不同林型的月干湿状况却各不相同。马尾松林从 11 月到次年 2 月为半干旱,针阔叶混交林在 11 和 12 月为半干旱,而沟谷雨林和山地常绿阔叶林没有半干旱的月份,全年都为湿润或半湿润状态。湿润度从另一个角度说明了各林型林内干湿状况及其差异。

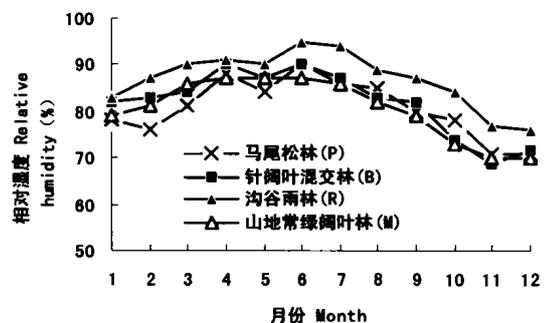


图 3 鼎湖山 4 种森林林内月平均大气相对湿度变化
Fig.3 Monthly changes in relative humidity in four forests in Dinghushan
For P, B, R, and M see Table 1.

表 5 鼎湖山 4 种森林林内伊万诺夫湿润度和干湿状况
Table 5 Moisture degree and humidity condition in forests in Dinghushan

森林 Forests		月份 Month												平均 Mean
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
马尾松林 (P)	MD	0.54	0.41	1.38	4.04	3.31	5.86	4.24	3.50	1.36	0.96	0.52	0.54	2.22
	HC	SA	SA	M	M	M	M	M	M	M	SM	SA	SA	M
针阔叶混交林 (B)	MD	0.77	0.62	1.76	5.30	4.51	6.41	4.77	3.24	1.61	0.88	0.52	0.59	2.58
	HC	SM	SM	M	M	M	M	M	M	M	SM	SA	SA	M
沟谷雨林 (R)	MD	0.80	0.83	2.83	5.77	5.77	13.2	10.4	5.18	2.35	1.43	0.73	0.75	4.17
	HC	SM	SM	M	M	M	M	M	M	M	M	SM	SM	M
山地常绿阔叶林 (M)	MD	0.70	0.64	2.23	4.31	4.66	5.19	4.64	3.24	1.49	0.91	0.61	0.63	2.44
	HC	SM	SM	M	M	M	M	M	M	M	SM	SM	SM	M

MD: 湿润度 K value of moisture; HC: 干湿状况 Humidity condition; M: 湿润 Moist; SM: 半湿润 Semi-moist; SA: 半干旱 Semi-arid.

For P, B, R, and M see Table 1.

以上说明不同林型在调节大气相对湿度方面确实存在差异,但从全年来看并不明显。由于鼎湖山属季风气候区,半年时间的雨季降雨量大且集中,因此,在考察不同森林群落调节大气(主要是增加)湿度的功能时应着重放在各群落在干季增加湿度方面。从这种角度分析,鼎湖山的森林群落从马尾松林→针阔叶混交林→沟谷雨林或山地常绿阔叶林的演替过程中增加林内大气湿度的功能在增强,且比较明显。

4 讨论

鼎湖山的 4 种森林比较,马尾松林与其它 3 种林型林内气温均存在极显著差异,针阔叶混交林与山地常绿阔叶林存在显著差异(表 2, 3)。任何一地的气候特点都是由其所处的宏观地理条件(经度、纬度、所在山势的走向以及宏观的气候背景)、海拔高度、地形(如坡向、坡位、地形类别)和下垫面性质(植被、土壤)等决定的^[16]。根据分离综合法^[16],两种森林内的温(或湿)度差异 $T_A - T_B$ 应该是宏观地理因素引起的温差 ΔT_g , 局地海拔高度不同引起的温差 ΔT_h , 局地小地形不同引起的温差 ΔT_m 以及不同植被类型引起的温差 ΔT_r 之总和。

本研究的 4 种森林处在水平距离不足 3 km 的小范围内,并表现出相似的气温月变化(图 1),因此可以认为宏观地理因素对 4 种森林小气候具有共同的作用, ΔT_g 可以忽略。

海拔高度被认为是对温度影响最首要的因素^[17]。气温随着海拔高度升高而降低。根据气温直减率^[16, 18],可以计算由于海拔差异引起的温度差异。由于本地区没有实测的温度直减率数据,在比较临近地区山区气温^[19, 20]计算的气温直减率数据后,认为

引用比本地区纬度更低的云开大山南坡高州境内的数据^[19]计算的气温直减率(为 $0.58^\circ\text{C}/100\text{ m}$)与本地区气象站迁移前后多年气温平均值^[19]计算的年平均气温直减率接近。以马尾松林所处的海拔高度为参考高度,减去根据气温直减率计算得到的由于海拔不同引起的温差 ΔT_h 后,山地常绿阔叶林、马尾松林、针阔叶混交林和沟谷雨林林内的年平均气温依次为 $22.83, 22.66, 21.71$ 和 21.23°C 。山地常绿阔叶林比马尾松林、针阔叶混交林和沟谷雨林分别高 $0.17, 1.12$ 和 1.60°C , 马尾松林比针阔叶混交林和沟谷雨林分别高 0.95 和 1.43°C , 针阔叶混交林比沟谷雨林高 0.48°C 。再检验(同表 3)表明,山地常绿阔叶林和马尾松林与沟谷雨林林内年气温仍然存在极显著差异,与针阔叶混交林存在显著性差异。这说明不同植被类型和不同局地小地形的协同作用导致了这种差异显著性。

到底植被类型和局部小地形对林型间林内温度差异的影响哪一个更大呢?傅抱璞^[21]认为木本植被对温度的影响与坡地方位具有相同量级。邓世宗等^[9]对广西 10 种森林植被近 10 年的气候观测结果表明,林内多年平均气温比林外低 $0.1-0.5^\circ\text{C}$ 。西双版纳热带雨林^[22]以及广东中部鹤山人工马占相思林^[1] 11 年年平均气温林内比林外低 0.5°C 。既然年平均气温林内比林外最多低 0.5°C ,由于森林有降低气温的作用,因此,两种林型间的林内年平均气温差最多也不超过林内与林外气温差的最大值,即 0.5°C 。可以推知,在鼎湖山造成各林型气温显著性差异的主要原因应该是小地形的不同。这说明小地形改变可能比植被类型(结构)改变对温度的影响更大。

由此看来,要正确评价不同森林类型改善小气

候功能,必须准确区分海拔高度、小地形、植被类型等因素造成的差异,才能得出比较可靠的结论。

参考文献

- [1] Peng S L (彭少麟), Shen W J (申卫军), Dai Z M (戴智明), et al. Temporal and spatial dynamics of temperature and moisture in an *Acacia mangium* plantation [J]. *J Trop Subtrop Bot (热带亚热带植物学报)*, 2001, 9(4):277-283. (in Chinese)
- [2] Yan J H (闫俊华), Zhou G Y (周国逸), Wei Q (韦琴). Environment of microclimate of monsoon evergreen broad-leaves forest in Dinghushan [J]. *J Wuhan Bot Res (武汉植物学研究)*, 2000, 18(5):397-404. (in Chinese)
- [3] Chang J (常杰), Pan X D (潘晓东), Ge Y (葛滢), et al. Features of the microclimate in the evergreen broad-leaved forest dominated by *Quercus glauca* [J]. *Acta Ecol Sin (生态学报)*, 1999, 19(1): 68-75. (in Chinese)
- [4] Deng S Z (邓世宗), Wei B E (韦炳斌). Analysis and Exploitation of Forest Climatic Resources in Guangxi Province [M]. Beijing: Meteorological Press, 1993. 8-112. (in Chinese)
- [5] Li Y Y (李援越), Mu B (穆彪), Zhu X K (祝小科), et al. Microclimate characteristics of different successional stages of communities of karst forest [J]. *J Mountain Agri Biol (山地农业生物学报)*, 1998, 17(6):364-367. (in Chinese)
- [6] Huang S T (黄寿涛), Fan X H (范兴海), Fu M Y (傅懋毅), et al. Study on the microclimate effects in different tree-tea intercropping models and pure tea plantation [J]. *For Res (林业科学研究)*, 1994, 7(1): 93-100. (in Chinese)
- [7] Wang B S (王伯荪), Huang Q C (黄庆昌), Huang P Y (黄培佑). Microclimatic conditions of forest communities in Dinghushan, Guangdong province [J]. *Acta Sci Natur Univ Sunyateseni (中山大学学报)*, 1965, (3):366-382. (in Chinese)
- [8] Wu X H (吴兴宏), Zhou Y R (周远瑞). The characteristics of the microclimate of natural forest in Ding Hu Shan [A]. In: *Tropical and Subtropical Forest Ecosystem Vol. 3* [C]. Haikou: Hainan People's Press, 1985. 11-18. (in Chinese)
- [9] Kong G H, Liang C, Wu H M, et al. Dinghushan Biosphere Reserve — Ecological Research History and Perspective [M]. Beijing, New York: Science Press, 1993. 3-7.
- [10] Huang Z L (黄忠良), Meng M L (蒙满林), Zhang Y C (张佑昌). Climate of Dinghushan Biosphere Reserve [A]. In: *Tropical and Subtropical Forest Ecosystem Vol. 8* [C]. Beijing: Meteorological Press, 1998. 134-139. (in Chinese)
- [11] Wang Z H (王铸豪), He D Q (何道泉), Song S D (宋绍敦), et al. The vegetation of Ding Hu Shan Biosphere Reserve [A]. In: *Tropical and Subtropical Forest Ecosystem Vol. 1* [C]. Guangzhou: Popular Science Press Guangzhou Branch, 1982. 77-141. (in Chinese)
- [12] Wang S T (王树廷), Wang B M (王伯民). Statistical Methods to Collect Climatic Data [M]. Beijing: Meteorological Press, 1982. 69-147. (in Chinese)
- [13] Li C X (李春喜), Wang Z H (王志和), Wang W L (王文林). Biological Statistics [M]. 2nd ed. Beijing: Science Press, 2000. 86-90. (in Chinese)
- [14] Zhou G S (周广胜), Zhang X S (张新时). Study on Chinese climate-vegetation relationship [J]. *Acta Phytoecol Sin (植物生态学报)*, 1996, 20(2):114-119. (in Chinese)
- [15] Zhou G Y (周国逸). Ecosystems Hydrothermal Principles and Their Applications [M]. Beijing: Meteorological Press, 1997. 22-27. (in Chinese)
- [16] Fu B P (傅抱璞). Methods to extend mountain climatic data [A]. In: *Collection of Papers on Mountain Climate* [C]. Beijing: Meteorological Press, 1984. 23-34. (in Chinese)
- [17] Yu J M (虞静明), Li H J (李怀瑾). Advances in mountain climatic studies abroad [A]. In: *Collection of Papers on Mountain Climate* [C]. Beijing: Meteorological Press, 1984. 1-14. (in Chinese)
- [18] Lin Z G (林之光). A study on primary factors that affect lapse rate of air temperature and its annual variation in mountain areas [A]. In: *Collection of Papers on Mountain Climate* [C]. Beijing: Meteorological Press, 1984. 69-76. (in Chinese)
- [19] Cooperative project for climatic resources of mountain agriculture in eastern subtropical China (中国亚热带东部山区农业气候资源及其合理利用研究课题协作组). *Mountain Agricultural Climate in Eastern Subtropical China* [M]. Beijing: Meteorological Press, 1990. 367. (in Chinese)
- [20] Liu X Z (刘信中), Fang F S (方福生). Scientific investigation on Wuyishan Nature Reserve, Jiangxi [M]. Beijing: Chinese Forestry Publishing House, 2001. 31. (in Chinese)
- [21] Fu B P (傅抱璞). Some questions about mountain climate research [A]. In: *The Collection of Papers on Mountain Climate* [C]. Beijing: Meteorological Press, 1984. 15-22. (in Chinese)
- [22] He Q T (贺庆堂). *Chinese Forest Meteorology* [M]. Beijing: Chinese Forestry Publishing House, 2001. 74-93. (in Chinese)