

南亚热带鹤山三种人工林小气候效应对比

林永标, 申卫军, 彭少麟, 任 海, 李明辉

(中国科学院华南植物研究所, 广州 510650)

摘要:先锋生态系统的小气候效应是评价它们在植被生态恢复过程中恢复效能的主要指标之一。对 14 龄的马占相思(*Acacia mangium*)、荷木(*Schima superba*)、湿地松(*Pinus elliotii*)人工林小气候效应的对比研究表明, 荷木林的降温保湿效应最好。气温(最高温、最低温和平均温)和土壤温度(地表最高温、最低温和平均温度)均为 3 种林分中最低。荷木林林内气温一般比马占相思林和湿地松林低 0.1~0.5℃, 地表和土壤温度一般低 0.3~2.5℃, 相对湿度高 1.2%。对荷木林和湿地松林温、湿度垂直方向上 4 个层次(距地 0.5m, 2.0m, 4.0/5.0m, 9.0m)上的观测结果表明, 湿季林内温度随高度增加而增加; 在最冷月(1 月份)时, 林内温度随高度增加而减小。无论是干季还是湿季, 林内湿度都随林分高度的增加而减小。结合林分结构调查、森林土壤养分含量等资料, 初步认为, 南亚热带地带性森林植被人工恢复实践中, 荷木等本地树种更为适宜。

关键词:人工林; 小气候效应; 生态恢复

Comparison of microclimatological effects of three plantations in Heshan of the lower subtropical, China

LIN Yong-Biao, SHEN Wei-Jun, PENG Shao-Lin, REN Hai, LI Ming-Hui (South China Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650). *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(8): 1657~1666.

Abstract: Regulation of microclimate is one of the major functions of forest ecosystems. After establishment of pioneer forest ecosystems to restore the regional primary forest vegetation, the function of pioneer ecosystems needs to be monitored in order to assess the successfulness of the restoration projects. Microclimate regulating capability is among the important facets of the assessment. Different types of pioneer forests were established in the abandoned subtropical grass slope of Heshan of Guangdong province in order to restore subtropical evergreen broad-leaf forest. Three forest ecosystems established in 1984 were chosen for this study. Our goal was to assess the performance of the three plantations in terms of regulating microclimate, and discuss which one should be planted as the best pioneer community in restoring the primary forest vegetation of the region.

Three sets of air and soil thermometers were installed in the three forests in 1997. Sensors of air thermometers were 1.5 m above the surface. Soil thermometers were located at the depth of 0 cm, 5 cm, 10 cm, 15 cm, and 20 cm. Dry and wet ball air temperatures (average, minimum, and maximum), surface

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30100021); 广东省自然科学基金资助项目(010551); 中国科学院鹤山站开放基金资助项目; 中国科学院知识创新工程项目资助项目

收稿日期:2003-02-25; **修订日期:**2003-05-15

作者简介:林永标(1971~), 男, 广东梅州人, 主要从事森林气象学和森林水文学研究。E-mail: linyb@scib.ac.cn

感谢美国亚利桑那州立大学 Jasen Waker 博士对英文摘要的修改。

Foundation item: The National Natural Science Foundation of China (No. 30100021), Natural Science Foundation of Guangdong Province (No. 010551), Heshan Foundation of CAS and Knowledge Innovation Project of CAS.

Received date 2003-02-25 **Accepted date:** 2003-05-15

Biography: LIN Yong-Biao, main research field: forest meteorology and hydrology.

and soil temperatures were recorded manually three times a day at 8:00, 14:00, and 20: 00. Relative humidity was derived from wet and dry ball air temperatures based on standard meteorological methods. Two meteorological towers were also established in 1997 inside the *Schima superba* and *Pinus elliotii* forests in order to observe the vertical gradients of air temperature and relative humidity, with the sensors locating at 0.5 m, 2.0 m, 4.0 m and 9.0 m above the surface. Hourly temperature and humidity data were recorded automatically by the dataloggers (AMRS-I).

We compared air and soil temperatures and air relative humidity among the three forests. The results showed that the *Schima superba* forest had the most significant capacity in decreasing both air and soil temperature and increasing air moisture. Air and soil temperatures within the *Schima superba* plantation were 0.1 ~ 0.5 C and 0.3 ~ 2.5 C lower than those within the *Acacia mangium* and *Pinus elliotii* plantations, respectively. The average moisture in *Schima superba* plantation was 1.2% higher than that of the other two forests, which had the similar annual average relative humidity (81.2%). Analysis on vertical temperature and humidity gradients showed that temperature increased with the increasing height in the wet season, but decreased in the cold dry season. Moisture decreased with increasing height both in the wet season and dry season.

Possible impacts of microclimatic differences among the three forests on ecosystem structure, function, and ongoing successional process were discussed. Tree growth, forest structural changes, and soil properties of the three forests were analyzed based on the data from literature and other sources. We found that *Schima superba* forest also had better performance in retaining quality structural characteristics and improving soil status. Thus, we suggested that native plant species, such as *Schima superba*, should be chosen as pioneer species in restoring the primary forest vegetation in lower subtropical China.

Key words: plantations; microclimatological effects; ecological restoration

文章编号:1000-0933(2003)08-1657-10 中图分类号:Q947.5 文献标识码:A

森林小气候研究或林业气象学研究由来以久。从 1745~1783 年 Hunter 和 Schaeppf 在美国纽约开始研究树干内温度变化算起,国外林业气象学的研究已有近 250a 历史。我国的林业气象研究,其萌芽可追溯到 2000 多年以前。真正系统的中国林业气象研究,则是在解放后^[1]。森林生物的各种生理生态行为都受其生境微气象因子的影响。生态系统内生产者的光合、呼吸及生长发育过程,消费者的生存与发育,食物链以及枯落物分解过程等无不受水热等生境因子的影响^[2~4]。同样,森林的存在和林冠的遮幕,又在很大程度上创造和改变着森林生态系统的内环境,形成独特的林内小气候。所谓小气候是指在具有相同的大气候和局地气候范围内,由于地形、土壤和植被等下垫面构造及特性的差异,引起水热收支的不同,形成的近地层特殊气候^[4]。这些小气候反过来又会影响森林生态系统的结构与功能^[5]。如此,森林生态系统内生物因子与环境因子间便产生了复杂的相互反馈作用,并且上述相互作用在时间和空间上都是动态的,从而形成了生态系统动态的反馈途径之一。

森林调节小气候的作用既是生态系统的基本功能之一,森林小气候研究也是开展其他结构与功能研究的基础。传统的森林小气候研究主要是通过比较林内外小气候差异来说明森林调节小气候的功能,或通过梯度观测来研究林内小气候的垂直梯度分异^[6~9]。近年来在分析干扰(如火烧、放牧)对森林小气候功能的影响^[10, 11],以及生境差异(如生境破碎化、边缘效应)引起小气候变化方面的研究较多^[12~14]。在开展其他生态系统结构与功能方面的研究时,森林小气候通常也是不可缺少的观测内容。比如对森林生物的生理特性、枯落物和土壤有机质分解、生态系统通量(ecosystem fluxes)和水文功能等进行研究时,小气候因子是深入分析这些生态系统过程与环境因子相互作用关系的重要变量。

以恢复森林景观的小气候研究非常少。Covington 等为了把美国亚利桑那州北部的松林(*Pinus ponderosa*)恢复到欧洲人在北美定居前的状态,采取了疏伐幼树、火烧清除下层植物等恢复处理措施^[15]。

Kaye 等观测到处理后的松林土壤温、湿度增加^[16]。Meyer 等发现恢复处理后松林透光率增加, 而林内气温和水分饱和和亏缺(VPD)的变化不明显; 并通过分析小气候变化可能引起其他森林生态系统结构与功能的变化评估了所采取恢复措施的有效性^[17]。马占相思(*Acacia mangium* Willd.)、湿地松(*Pinus elliotii*)和荷木(*Schima superba*) 3 种人工林是中国科学院鹤山站生态学家们构建的用于恢复中国南亚热带退化草坡的试验用先锋森林群落。这些先锋群落的恢复效能如何, 其营造小气候方面的功能是重要的衡量指标之一。通过比较 3 种林分的温湿效应来评价它们在营造小气候方面的功效, 是本文欲探讨的主题之一。另外, 森林小气候研究方面, 同地带不同林分小气候差异方面的资料较少, 希望本研究结果是一些补充。同时, 3 种人工林在广东省甚至我国南方地区都有大面积分布, 对它们小气候效应进行研究是在区域尺度上全面评价这些林分生态功能的基础。

1 研究区及 3 种林分概况

1984 年, 中国科学院华南植物研究所在广东鹤山建立了生态定位研究站, 在荒山草坡上营造了多种试验用人工林, 开展恢复生态学研究。鹤山丘站位于广东省中部的鹤山市, 东经 112°54', 北纬 22°41', 所在地属亚热带季风气候。年平均气温 21.7℃, 极端最高温 37.5℃, 极端最低温 0℃; 年均太阳辐射 4350.5MJm⁻²a⁻¹; 年均≥10℃有效积温 7597℃; 年均降雨量 1800mm, 有明显的干湿季之分, 干季为 10~翌年 2 月份, 湿季为 3~9 月份; 年均蒸发量 1638.8mm。丘陵地土壤为赤红壤(砖红壤性红壤)。目前看来, 马占相思、荷木和湿地松人工林生长状况良好、林相较好, 这是选取它们作为比较对象的主要原因。

马占相思原产澳大利亚昆士兰沿海, 巴布亚新几内亚西南部和印度尼西亚东部, 速生耐瘠, 固氮能力强, 是很好的先锋树种^[18]。1979 年由中国林业科学科学研究院热带林业研究所引种室引入我国, 成为我国热带亚热带地区的主要造林树种之一。湿地松原产美国东南部, 尤集中于佐治亚洲, 幼龄期比较速生, 根系生长迅速。该树种适应性强, 材质好, 松指产量高, 在世界亚热带和热带地区广为种植。中国引种湿地松始于 20 世纪 30 年代; 到 40 和 60 年代, 又进行了小面积的引种试验; 20 世纪 70 年代以来进行大面积的造林。中国引种湿地松的地区已达 16 省(自治区), 主要为广东、广西、福建、湖南等。湿地松人工林主要分布在海拔 400~500m 以下的丘陵、岗地及海滨沙地^[19]。荷木又名木荷, 常绿阔叶大乔木, 珍贵用材树种, 为中国东南部湿润亚热带常绿阔叶林的主要建群种之一, 生长适应性强, 不耐荫。近年来广东省营造荷木速生丰产林 1236km^[20], 是广东省造林的主要阔叶树种之一。3 种人工林在我国南方地区都有大面积分布。

本研究 3 种林分的基本情况见表 1。林下植物主要有豹皮樟(*Litsea rotundifolia* var. *oblongifolia*)、胶樟(*Litsea glutinosa*)、九节(*Psychotria rubra*)、白背叶(*Mallotus apelta*)、木姜子(*Litsea cubeba*)、鬼灯笼(*Clerodendron fortunatum*)、春花(*Rhaphioleais indica*)、酸藤子(*Embelia laeta*)、扇叶铁线蕨(*Adiantum flabellulatum*)等^[21]。林分均已形成乔、灌、草 3 层结构。从表 1 中可看出, 林龄相仿的 3 种人工林, 马占相思林平均树高、胸径、冠幅均比荷木林和湿地松林大。荷木林与湿地松在胸径、树高和冠幅方面相似。由此看来, 在鹤山这样的气候、土壤条件下, 马占相思比湿地松和荷木更为速生。

据 2001 年对 3 种林分的调查, 所调查的 267 棵马占相思树中有枯立木 53 棵; 111 棵荷木中, 有 9 棵为枯立木; 90 棵湿地松中, 则没有枯立木。因此, 马占相思虽然速生, 但其衰退也快。17 龄的马占相思林, 近 1/5 的树木由于上层木的遮荫、病虫害等原因衰亡。虽然林分仍维持较高的叶面积指数, 其他中性生阔叶树种的侵入很少。从地表凋落物和土壤肥力状况来看, 17 龄的马占相思积累了大量的凋落物(42.3t/hm²), 荷木林和湿地松林分别为 8.4t/hm² 和 18.7t/hm²。一方面是由于其枯落物分解速率较湿地松和荷木慢, 主要原因则是其年凋落量大(11.1t/hm²), 荷木林和湿地松林分别为 7.3t/hm² 和 6.5t/hm²。荷木林土壤有机质含量、土壤全 N 含量和全 P 含量均为 3 种林分中最高, 土壤酸度值也最大。初步可以看出荷木林在改造土壤肥力方面优于马占相思林与湿地松林。

2 研究方法

1988 年即开始对马占相思林小气候进行人工观测, 1997 年开始, 湿地松林和荷木林也有了比较完整的人工观测资料。3 种林分相距较近, 林龄相似, 可作比较。为此, 以 1998 年 3 种林分气温、空气湿度和地温的观测资料统计值进行比较。林内百叶箱干湿球湿度表感应端距地 1.5m。主要观测项目为气

温(包括干湿球、最高、最低温度)和地温(地表温度、地表最高温和最低温,5、10、15、20cm 深处的土温),每天观测 3 次:8:00,14:00 和 20:00,2:00 时缺,但在统计时已按气象观测规范所规定的订正方法对 2:00 的值进行了订正^[22]。湿度据干湿球温差与湿球温度查湿度计算表而得。

表 1 3 种林分的基本情况

Table 1 Basic structural and functional characteristics of the three plantations

	胸径 Diameter at breast high(cm)	树高 Tree height (m)	种植规格 Row and column spacing (m)	叶面积 指数 Leaf area index (LAI)	地表调 落物量 Litterfall (t/hm ²)	土壤 pH Soil pH value	土壤有机 质含量 Soil organic matter (%)	土壤全 N 含量 Soil total Ncontent (%)	土壤全 P 含量 Soil total P content (%)
马占相思林 <i>Acacia mangium</i> forest	18.5±6.7 n=238	14.4±1.3 n=238	3.0×3.0	7.5	42.3	4.00	2.36	0.119	0.034
荷木林 <i>Schima superba</i> forest	12.2±3.6 n=111	8.1±1.9 n=111	2.0×2.5	6.7	8.4	4.13	2.53	0.136	0.042
湿地松林 <i>Pinus elliotti</i> forest	12.7±3.5 n=90	8.5±1.5 n=90	3.0×2.5	3.5	18.7	4.01	2.33	0.118	0.059

* 凋落物和土壤资料引自李志安(1999)[#] Litterfall and soil chemical characteristic data were derived from Li (1999); 林分状况资料由申卫军等 2001 年 11 月测得 Other data were measured by Shen Weijun *et al.* in November 2001; n 为样本数 n is sampling size

1997 年 11 月开始安装了由长春气象仪器研究所研制的 AMRS-I 气象辐射自动观测系统。马占相思林内未设置小气候垂直梯度观测装置。荷木林小气候观测塔 4 层分别距地 0.5m、2.0m、4.0m、8.5m;湿地松林小气候观测塔 4 层分别距地 0.5m、2.0m、5.0m、9.0m。林内温度和湿度效应的垂直梯度分布即来自自动观测系统。

3 结果分析

3.1 林内气温的比较

3 种林分气温,包括平均气温、最高温和最低温 3 个温度指标的比较列于表 2。荷木林年平均温度、最高温和最低温均为 3 种林分最低,一般低 0.1~0.5℃。1~3 月份期间,荷木林月均温、最高温和最低温处于马占相思林和湿地松林的中间。进入 4 月份后,荷木林月均气温下降为 3 种林分中的最低者,最高温也是 3 种林分中的最低者或处于中间,最低温则多处于中间位置。可见荷木林在湿季降温作用最为明显,干季其保温作用居于 3 种林分中间,马占相思林保温作用最为明显。

上述 3 种林分在调节温度功能方面的差异实质上是 3 种林分结构上的差异所致。荷木林较马占相思矮,荫闭度大(见表 1),遮荫作用好,因而湿季外界气温较高时,其降温作用最为明显。马占相思林株行距大,生长迅速,林分高大,但至 15 龄时树冠部分已出现萎衰,荫闭度下降,降温作用已不如荷木林明显。湿地松林荫闭度与叶面积指数均为 3 种林分中最低,故而其降温作用明显弱于两种阔叶林。

3.2 林内相对湿度的比较

3 种林分相对湿度季节变化见图 1。荷木林的月均相对湿度最高(82.4%),马占相思林和湿地松林的月均相对湿度相同(81.2%)。4 月份后(湿季)荷木林的月均相对湿度均比马占相思林和湿地松林高。1~3 月份(干季)时湿地松林的月均相对湿度高于荷木林和马占相思林,这可能是由于湿地松林林下植被较发达,枯落物层较厚,在湿季时能蓄存较多的水分;并且针叶林蒸腾失水较少,因而在干季时可释出较多的水分。马占相思林虽然枯落物层较厚,但林分比较高,林下植被不如湿地松林发达,故而干季林分增湿作用没

万方数据
[#]李志安,1999. 中国南亚热带人工林营养生态研究. 中山大学博士论文

有湿地松林好。相对湿度的高低与降雨量有关(图2),降雨量大的月份,湿度也相对较大。但相对湿度的变化不如降水量变化那么突然,4月份到9月份之间降雨量呈非常陡的尖锋形,但相对湿度的变化相对比较平缓。一方面说明森林具有一定的滞缓湿度变化的功能;另一方面也显示出相对湿度的变化与其他因子有关,比如温度;在1~3月份虽然降水量很少,但一般这是该地带的低温季节,驱动蒸散的热量较少,水分散失就少,因此相对湿度也相对较大。同样的情况出现在10~12月份时,温度较1~3月份高,生态系统蒸散失水较多,因此3种林分的相对湿度是一年中最低的时候。

表 2 3 种林分 1998 年各月气温的比较

Table 2 Comparison of monthly air temperatures of the three forests in 1998

月份 Months	月平均气温 Monthly averaged air temperatures (°C)			月平均最高温 Monthly averaged maximum air temperatures (°C)			月平均最低温 Monthly averaged minimum air temperatures (°C)		
	马占相思林	荷木林	湿地松林	马占相思林	荷木林	湿地松林	马占相思林	荷木林	湿地松林
	<i>Acacia mangium</i>	<i>Schima superba</i>	<i>Pinus elliotii</i>	<i>Acacia mangium</i>	<i>Schima superba</i>	<i>Pinus elliotii</i>	<i>Acacia mangium</i>	<i>Schima superba</i>	<i>Pinus elliotii</i>
	forest	forest	forest	forest	forest	forest	forest	forest	forest
1	13.03	12.87	12.83	18.15	18.43	19.00	9.95	9.91	8.73
2	15.45	15.17	15.01	19.65	19.60	19.76	11.91	11.78	10.61
3	18.70	18.72	18.74	22.18	22.44	22.85	14.96	14.80	13.72
4	24.09	23.92	24.18	27.92	27.57	28.26	20.04	19.75	18.69
5	25.48	25.35	25.63	28.38	28.49	30.26	22.09	22.22	20.99
6	27.04	27.14	27.29	30.04	30.31	31.28	23.76	24.02	22.49
7	28.44	28.29	28.50	31.53	31.66	32.60	24.77	24.86	23.68
8	28.79	28.54	28.98	33.06	32.93	33.66	24.42	24.37	23.59
9	26.85	26.56	26.89	30.50	30.60	30.67	22.80	22.66	21.75
10	25.17	24.81	24.89	29.25	28.65	28.74	20.04	20.14	19.03
11	21.26	20.68	20.66	26.49	26.00	26.30	17.14	16.27	15.15
12	17.36	16.68	16.76	21.89	21.64	21.07	14.85	11.89	10.97
年均值 Annual average	22.64	22.40	22.53	26.59	26.53	27.04	18.89	18.56	17.45

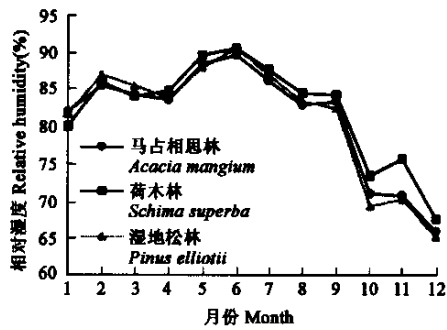


图 1 3 种林分相对湿度的比较

Fig. 1 Comparison of monthly air relative humidity of the three forests

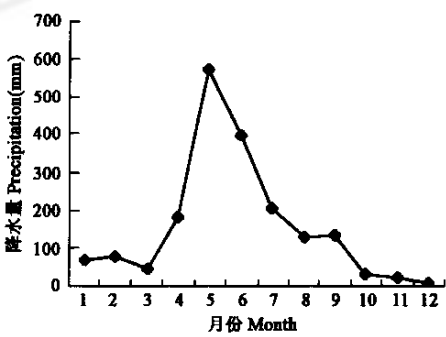


图 2 1998 年降水量的季节变化

Fig. 2 Seasonal changes in precipitation of 1998

3.3 林内土壤温度的比较

林内土壤温度

图 3 显示了 3 种林分地表及土壤温度的季节变化情况。马占相思林的地表最高温在一年内都是 3 种

林分中最高的,湿地松林次之,荷木林最低。3种林分的年均地表最高温分别为 29℃、27℃和 26.7℃。地表最低温则湿地松林最高(19.3℃),马占相思林次之(17.5℃),仍是荷木林最低(15.8℃)。3种林分地表平均温度的差异与最高温类似,马占相思林最高(22.5℃),湿地松林次之(22.0℃),荷木林最低(21.9℃)。5~20cm 深处土壤温度差异也基本与地表最高温和平均温相似,但差异更小,年均土壤温度的变化在 21.6~22.3℃之间。随土层深度(5~20cm)的增加,3种林分的平均土壤温度会愈加接近,说明不同森林对土壤温度的影响差异不大。但荷木林在调节地表温度方面的作用要优于马占相思林和湿地松林。

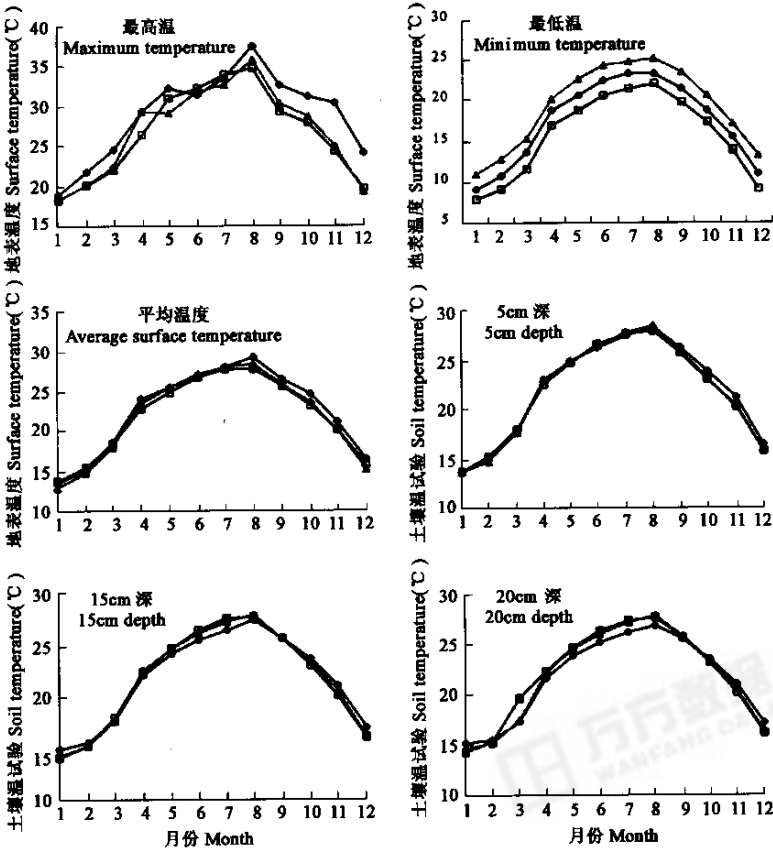


图 3 3种林分土壤温度的比较

Fig. 3 Comparison of soil temperatures among the three forests

图中,□表示荷木林,◆表示马占相思林,▲表示湿地松林。

□ denotes *Schima superba* forest, ◆ denotes *Acacia mangium* forest, ▲ denotes *Pinus elliotii* forest

荷木林地表年均最高温比马占相思林低 1.3℃,比湿地松林低 0.3℃。地表最低温比马占相思林低 1.7℃,比湿地松林低 2.5℃。地表平均温度比马占相思林低 0.6℃,比湿地松林低 0.1℃。这些低温差异可能影响一系列的生态系统功能。比如林内土壤温度较低则可能使土壤动物和微生物活动稍有所减缓,枯落物和土壤有机质的分解速率降低,从而减少林地温室气体(CO₂, CH₄, NO_x)的排放。林内低温也可以使林地物理蒸发量减小,从而影响森林生态系统的水量平衡,使更多的水分蓄留在土壤和枯落物层。

3.4 林内温度的垂直梯度

由于只在荷木林与湿地松林内安装了小气候观测塔,本小节分析两种林分林内气温在垂直方向的异质格局。由垂直数据看出,随高度增加,林内温度增加,但温度在垂直方向上的差异很小,不超过 0.2℃(表 3)。干、湿季林内温度垂直梯度分异都比较小(图 4),各层之间温差在干季不超过 0.3℃,湿季不超过

0.5℃, 林内温度都呈现出随高度增加而稍有增加, 但湿季各层之间的温度差较干季大。在1月份最冷时, 林内温度随高度增加而减小。说明在气温较高的湿季, 森林表现出降温作用, 而在气温较低的1月份, 森林也表现出一定的保温作用。从垂直方向上来看, 冠层比林下层更接近外界, 因为小气候特征也易受区域大气候的控制, 冠层温度也通常更接近外界。年均值所反映的是一般的或较普遍的信息, 林内温度的空间(垂直方向)异质分布格局还与分析时所用的时间粒度有关, 如果以日为时间粒度来分析, 可能在有些天气情况下前述的温度垂直分布格局会不同。比如在7月份, 阵雨过后, 林外温度下降较快, 冠层温度也随之较快下降, 而林内温度下降较慢, 从而出现与湿季多数情况下正好相反的林内气温垂直分布格局, 即林下温度高, 而冠层与外界温度低。

表3 林内气温的垂直梯度变化

Table 3 Vertical changes in air temperatures inside the forests								
月份 Month (1998)	荷木林内温度(℃) Temperatures inside the <i>Schima superba</i> forest				湿地松林内温度(℃) Temperatures inside the <i>Pinus elliotii</i> forest			
	第一层 First layer	第二层 Second layer	第三层 Third layer	第四层 Forth layer	第一层 First layer	第二层 Second layer	第三层 Third layer	第四层 Forth layer
	(0.5m)	(2.0m)	(4.0m)	(8.5m)	(0.5m)	(2.0m)	(4.0m)	(8.5m)
1	11.2	11.1	11.2	11.0	12.7	12.6	12.6	12.6
2	14.6	14.6	14.8	14.6	14.7	14.7	14.7	14.7
3	18.0	18.0	18.1	17.9	18.2	18.1	18.1	18.2
4	23.1	23.2	23.5	23.4	23.4	23.4	23.5	23.6
5	—	—	—	—	—	—	—	—
6	26.3	26.3	25.4	25.3	26.7	26.6	26.8	26.8
7	27.6	27.7	27.9	27.9	27.5	27.5	27.7	27.8
8	27.8	27.9	28.3	28.3	28.6	28.6	28.7	28.8
9	25.8	25.9	26.3	26.3	26.0	26.1	26.3	26.4
10	24.1	24.2	24.2	24.3	24.3	24.3	24.6	24.6
11	19.8	19.8	20.0	20.1	20.3	20.3	20.5	20.6
12	15.1	15.2	15.2	15.3	15.3	15.4	15.5	15.7
平均值 Average	21.2	21.3	21.4	21.3	21.6	21.6	21.7	21.8

* 5月份由于仪器故障未有观测资料 Data missed due to instrumental failure

前面比较了相同高度处(1.5m)3种林分林内温度的差异, 荷木林比湿地松林的平均气温要低。实质上多数情况下荷木林其他各垂直层上的温度均比湿地松林低(表3)。进一步肯定了荷木的在降温作用要优于湿地松林。同样, 两种森林对温度在垂直方向上的差异也是由林分结构和其他环境因子(如辐射、风速等)垂直方向上的异质性所造成。

3.5 林内相对湿度的垂直梯度

从年均值来看, 林内相对湿度与温度的垂直梯度分异相似, 随高度的增加而减小(表4, 图5), 这种趋势在湿季更为明显(图5)。有趣的是, 干季林内湿度的垂直分异并不是单调持续减小的。2m处的湿度最低, 近地层(0.5m)和5m处湿度较大, 到冠层顶部(9m)又变小。这一现象比较准确的反映了森林生态系统输出水分的两个层面: 地表蒸发与林冠蒸腾。因此近地层与冠层的相对湿度在干季比其他两个层要大。湿季时由于整个空气湿度较大, 所以地表蒸发与冠层蒸腾对林内相对湿度的调控相对减弱, 生态系统的相对湿度主要受外界大气相对湿度的调控。

另外, 从图5可以看出, 荷木林内各层相对湿度在湿季时比湿地松林大, 干季时则小。可能由于荷木林是阔叶树种, 整体上蒸腾失水较多。但湿季植物耗水受限制较少, 所以荷木林能蒸散出较多的水分使整个林分维持较大的湿度; 冠层郁闭度较大也使地表和枯落物层水分散失出系统外受到限制, 从而有利于保湿。干季本身水分就缺乏, 所以荷木林大的蒸散量使很多水分散失出系统外, 致使整个系统湿度内较小。

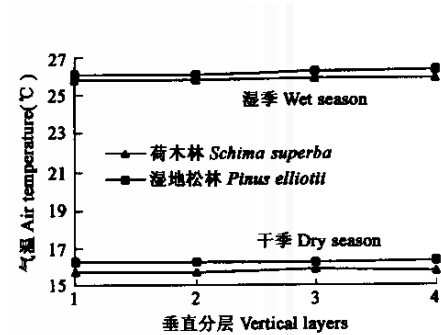


图 4 干湿季林内气温的垂直梯度

Fig. 4 Vertical gradients of air tem perature of dry and wet season

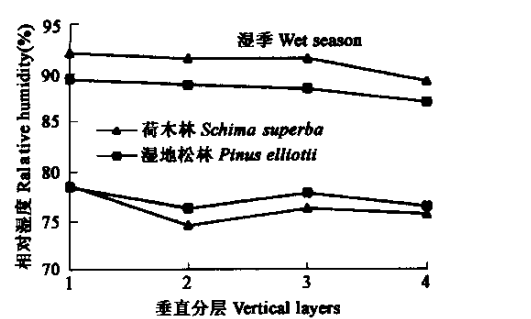


图 5 干湿季林内相对湿度的垂直梯度

Fig. 5 Vertical gradients of raletive humidity of dry and wet season

表 4 林内空气相对湿度的垂直梯度变化

Table 4 Vertical changes in air relative humidity inside the two forests

月份 Month (1998)	荷木林内空气相对湿度 (%) Relative humidity inside the <i>Schima superba</i> forest				湿地松林内空气相对湿度 (%) Relative humidity inside the <i>Pinus elliotii</i> forest			
	第一层 First layer (0.5m)	第二层 Second layer (2.0m)	第三层 Third layer (4.0m)	第四层 Forth layer (8.5m)	第一层 First layer (0.5m)	第二层 Second layer (2.0m)	第三层 Third layer (4.0m)	第四层 Forth layer (8.5m)
	第一层 (0.5m)	第二层 (2.0m)	第三层 (4.0m)	第四层 (8.5m)	第一层 (0.5m)	第二层 (2.0m)	第三层 (4.0m)	第四层 (8.5m)
1	82.0	79.4	78.5	81.2	80.3	80.2	80.3	79.9
2	88.3	85.4	84.8	87.4	87.0	85.3	85.8	85.1
3	87.6	85.7	84.8	87.7	87.3	88.7	87.5	86.0
4	86.8	84.5	83.2	84.8	86.1	87.7	88.3	85.8
5	—	—	—	—	—	—	—	—
6	92.5	90.8	91.5	91.2	95.5	95.6	94.3	93.5
7	92.3	91.3	91.9	89.4	91.6	90.9	89.4	87.7
8	93.7	93.1	94.4	91.2	93.9	92.5	92.5	90.7
9	93.7	94.5	94.3	89.6	86.8	84.4	84.1	85.0
10	94.1	94.9	93.9	89.1	82.5	82.3	81.9	80.5
11	69.5	65.9	69.1	65.8	68.8	65.1	68.4	65.0
12	66.1	57.0	65.0	56.46	8.5	62.2	67.5	66.5
平均值 Average	86.1	83.8	84.7	83.1	84.4	83.6	83.3	82.1

* 5 月份由于仪器故障未有观测资料 Data missed due to instrumental failure in May

4 讨论和结论

本研究的结果是基于对 3 种林分温湿度垂直剖面的立体观测,从冠层(距地 9m)顶部深入到森林土壤 20cm 深处。这 3 种林分为同期栽植,发育至 15 龄时(1984~1998)它们的小气候差异已比较明显。对温度和湿度的调节作用是森林小气候调节功能的主要表现^[9]。荷木林在气温较高的季节能比其他两种林分起到更明显的降低气温和地表温度的作用,年均林内湿度也比马占相思和湿地松林高。因此,荷木林降温保湿的功能优于马占相思和湿地松。3 种林分在调节温度功能方面的差异实质上是 3 种林分结构上的差异所致。湿地松林与荷木林个体密度比较接近,所以结构上的差异主要在于冠层。荷木林的叶面积指数比湿地松林要大(见表 1),因此冠层郁闭度也大,从而使荷木林具有比较好的遮荫作用。森林对小气候的调节不仅局限于地上部分,森林土壤也是重要的作用层。马占相思和湿地松均为外来树种。马占相思具有固氮能力,比较耐瘠,幼龄时生长非常迅速,3~5a 时即可成林,郁闭度可达到 90% 以上,具有明显的快速调节小气候的作用^[7]。遗憾的是,荷木林和湿地松林的林内小气候并没有从林分栽植开始就进行观测,所以无法做长

期的比较。近几年的调查发现马占相思林内出现了约 1/5 的枯立木,冠层萎缩。本研究的比较说明其降温保湿作用已不如乡土树种荷木林好。因此从森林调节小气候功能的角度来看,荷木等乡土树种林可能更宜于大面积发展。

鹤山站栽植这些试验用先锋森林群落,目的是为了在退化的荒山草坡上恢复亚热带的地带性森林植被-常绿季风阔叶林,假定人工构建的这些先锋群落能够尽快起到改善区域环境,并启动森林的后续演替进程,使森林能够自行地超地带性顶极群落发展。这种假设是基于先锋群落可以营造地带性森林动植物入侵和定居的适宜生境。亚热带常绿阔叶林的建群种主要是一些耐荫树种,喜好阴湿环境。从第 3 节的分析中知,荷木林年均气温可比马占相思林和湿地松林低 0.1~0.5℃,地表温度低 0.3~1.2℃,相对湿度高 1.2%。因此荷木林可能更适于地带性森林建群种的入侵和定居。小气候差异还可能影响到入侵种的种子萌发、光合作用速率及生长季的长短等^[3]。究竟荷木林的这些降温保湿作用能否有利于地带性森林建群种的入侵、定居及其他生理生态特性,影响的效应有多大,还需要设计专门的实验来验证。

小气候不仅能影响森林植物种的入侵、定居和发育过程,也可影响一些动物取食、存活、传播及分布行为^[23]。对土壤微生物的活动影响会引起枯落物和土壤有机质的分解速率、生态系统通量等的差异。所以荷木林明显的降温保湿作用对整个后续生态系统结构和功能的发展都将产生影响。对土壤理化性状的调查也表明,荷木林土壤有机质含量、土壤全 N 含量和全 P 含量均为 3 种林分中最高(见表 1)。这在恢复生态学实践中也具有重要意义。马占相思生长迅速,生物量累积快,凋落物量大,有利于土壤状况的尽快改善。但林分衰退也快,20 龄左右的马占相思林分的改造势在必行。相较之下荷木林在调节小气候和改善土壤状况等方面的作用更为稳定、持久。在类似鹤山这样不是极度退化的生态系统(草坡)的恢复实践中,宜尽量采用荷木等本地树种,这样可以减少林分改造工程所需的大量费用。

References:

[1] He Q S. Advances in forest meteorology. In: Chinese Society of Forest Meteorology, ed. *Collection of Forest Meteorological Papers of China*. Beijing: China Meteorological Press, 1989.

[2] Lee R. *Forest Microclimatology*. New York: Columbia University Press, 1978.

[3] Jones H. *Plant and microclimate: a quantitative approach to environmental plant physiology*. New York: Cambridge University Press, 1992.

[4] Xu D Y. Forest and atmosphere. In: Zhou X F ed. *China Forests and Ecological Environment*. Beijing: China Forestry Publishing House, 1999.

[5] Wales B A. Climate, microclimate, and vegetation relationships on north and south forest boundaries. *The William L. Hutcheson Memorial Forest Bulletin*, 1967, **2**:1~60.

[6] Zen Y T, Yu Z Y, Zhang W Q. Temperature and moisture characteristics of man-made mixed tropical forest in Xiao Liang, Guang Dong Province. *Acta Ecologica Sinica*, 1995, **15**(Supp. A): 204~210.

[7] Peng S L, Shen W J, Zhou G Y, et al. Temporal and spatial dynamics of temperature and moisture in *Acacia mangium* plantation. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 2001, **9**(4): 277~283.

[8] Chang J, Pan X D, Ge Y, et al. Microclimatologic characteristics of sub-tropical evergreen broad-leaf forest. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, **19**(1):68~75.

[9] Zen Q B. Forest and temperature. In: Zhou X F ed. *China Forests and Ecological Environment*. Beijing: China Forestry Publishing House, 1999.

[10] Madany M H and West N E. Livestock grazing-fire regime interactions within montane forests of Zion National Park. *Ecology*, 1983, **64**: 661~667.

[11] Covington W W and Moore M M. Post-settlement changes in natural fire regimes and forest structure: ecological restoration of pre-settlement ponderosa pine forests. *Journal of Sustainable Forestry*, 1994, **2**: 153~181.

[12] Matlack G R. Microenvironment variation within and among forest edge sites in the eastern United States. *Biological Conservation*, 1993, **66**: 185~194.

[13] Carmago J L C and Kapos V. Complex edge effects on soil moisture and microclimate in central Amazonian forest.

Journal of Tropical Ecology, 1995, **11**: 205~221.

[14] Chen J, Saunders S C, Crow T R, *et al.* Microclimate in forest ecosystem and landscape ecology. *BioScience*, 1999, **49**: 288~297.

[15] Covington W W, Fule P Z, Moore M M, *et al.* Restoring ecosystem health in ponderosa pine forests of the Southwest. *Journal of Forestry*, 1997, **95**: 23~29.

[16] Kaye J P, Hart S C, Cobb R C, *et al.* Water and nutrient outflow following the ecological restoration of a ponderosa pine-bunchgrass ecosystem. *Restoration Ecology*, 1999, **7**: 252~261.

[17] Meyer C L, Sisk T D, Covington W W. Microclimatic changes induced by ecological restoration of ponderosa pine forests in northern Arizona. *Restoration Ecology*, 2001, **9**(4): 443~452.

[18] Ren H, Peng S L, Yu Z Y. Biological and ecological characteristics of *Acacia mangium*. *Chinese Journal of Ecology*, 1996, **15**(4): 1~5.

[19] The Editorial Board of Forest in China, ed. *Forests of China (Vol. 2): Coniferous Forests*. Beijing: China Forestry Publishing House, 1998. 1007.

[20] The Editorial Board of Forest in China, ed. *Forests of China (Vol. 3): Broad-Leaf Forests*. Beijing: China Forestry Publishing House, 1999. 1628.

[21] Fang W, Ding M M, Lu D M, *et al.* Hydrological dynamics and nutrient migration with precipitation of artificial *Acacia mangium* forest in low subtropical downland. *Acta Ecologica Sinica*, 1995, **15**(Supp. A): 115~123.

[22] Central Meteorological Bureau of China. ed. *Standard Methods for Surface Meteorological Monitoring*. Beijing: Chinese Meteorological Press, 1979.

[23] Tsuji J C, Kingsolver J G, Watt W B. Thermal physiological ecology of *Colias* butterflies in flight. *Oecologia*, 1986, **69**: 161~170.

参考文献:

[1] 贺庆棠, 林业气象学的研究与进展. 中国林学会林业气象专业委员会, 中国气象学会农业气象专业委员会编. 中国林业气象文集. 北京: 气象出版社, 1989.

[4] 徐德应, 森林与大气. 见: 周晓峰主编. 中国森林与生态环境. 北京: 中国林业出版社, 1999.

[6] 曾友特, 余作岳, 张文其. 小良热带人工混交林早期的温湿效应. 生态学报, 1995, **15**(增刊): 204~210.

[7] 彭少麟, 申卫军, 周国逸. 马占相思人工林温湿效应的时空动态. 热带亚热带植物学报, 2001, **9**(4): 277~283.

[8] 常杰, 潘晓东, 葛滢, 等. 亚热带常绿阔叶林(*Quercus glauca*)的小气候特征. 生态学报, 1999, **19**(1): 68~75.

[9] 曾庆波, 森林与温度. 见: 周晓峰主编. 中国森林与生态环境. 北京: 中国林业出版社, 1999.

[18] 任海, 彭少麟, 余作岳. 马占相思的生物生态学特性. 生态学杂志, 1996, **15**(4): 1~5.

[19] 《中国森林》编辑委员会编著. 中国森林 (第二卷): 针叶林. 北京: 中国林业出版社, 1998. 1007.

[20] 《中国森林》编辑委员会编著. 中国森林 (第三卷): 阔叶林. 北京: 中国林业出版社, 1999. 1628.

[21] 方炜, 丁明懋, 吕冬梅, 等. 南亚热带丘陵马占相思人工林降雨的水文动态及其营养元素迁移. 生态学报, 1995, **15**(增刊): 115~123.

[22] 中央气象局. 地面气象观测规范. 北京: 气象出版社, 1979.