

西双版纳热带季节雨林林冠层温度与 大气温度特征^{*}

杨 振^{1,3} 张 平^{1**} 于贵瑞² 赵双菊⁴ 宋清海¹ 高举明^{1,3}

(¹ 中国科学院西双版纳热带植物园, 昆明 650223; ² 中国科学院地理科学与资源环境研究所, 北京 100101;

³ 中国科学院研究生院, 北京 100039; ⁴ 云南省建筑材料科学研究设计院, 昆明 650221)

摘 要 根据 2005 年西双版纳热带季节雨林群落冠层植物表面温度以及林冠上、林冠下的气温资料, 对热带季节雨林冠层温度和冠层气温及其之间的温度差异在不同季节的变化进行了分析。结果表明: 热带季节雨林冠层温度除雾凉季夜间稍低于同层大气温度外, 其他时间林冠温度皆高于同层大气温度, 在雾凉季和干热季, 热带季节雨林林冠上气温在大多数时刻高于林冠下气温; 在中午前后林冠上气温低于林冠下气温。在平均温度较高的雨季, 林冠上气温一直高于林冠下大气的温度; 林冠上、林冠下气温之间的差异, 显示西双版纳热带季节雨林林冠的生态效应对森林小气候的反馈作用; 在雾凉季夜晚, 热带季节雨林林冠温度与冠层气温与其他时间不同, 雾凉季夜间低温是热带季节雨林能否存在的关键性限制因子。

关键词 西双版纳; 热带季节雨林; 林冠温度; 林冠气温

中图分类号 S718.5 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2009)05-0845-05

Characteristics of canopy and air temperature in tropical seasonal rainforests in Xishuangbanna. YANG Zhen^{1,3}, ZHANG Yiping¹, YU Guirui², ZHAO Shuangju⁴, SONG Qinghai¹, GAO Juming^{1,3} (¹Xishuangbanna Tropical Botanic Garden, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650223, China; ²Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; ³Graduate University of Chinese Academic Sciences, Beijing 100039, China; ⁴Yunnan Building Materials Academy, Kunming 650221, China). *Chinese Journal of Ecology*, 2009, 28(5): 845-849

Abstract Based on the observation data in 2005, this paper analyzed the seasonal variations of the canopy temperature and the air temperature above and below the canopy in a tropical seasonal rainforest in Xishuangbanna of Southwest China. The results showed that at the same layers, the canopy temperature was higher than the air temperature except at nights of foggy-cool season. At most time of foggy-cool and dry-heat seasons, the air temperature above the canopy was higher than that below the canopy while there was an opposite trend at noon time. In the rain season with higher mean air temperature, the air temperature above the canopy was all along higher than that below the canopy. The differences in the variations of the air temperature above and below the canopy presented the feedback effect of the seasonal tropical rainforest canopy to the microclimate in the forest. At the night time of foggy-cool season, the canopy temperature and air temperature differed with those at other time, suggesting that the low temperature at the nights of foggy-cool season was the key limiting factor for the existence of tropical seasonal rainforests in Xishuangbanna.

Key words Xishuangbanna, tropical seasonal rainforest, canopy temperature, air temperature of the canopy

* 国家自然科学基金项目 (40571163)、中国科学院知识创新工程重要方向项目 (KJCX2-YW-432-1)、中国科学院创新工程重大项目 (KZCX1-SW-01-01A) 和国家重点基础研究发展计划资助项目 (2002CB412501)。

** 通讯作者 E-mail: yipingz@xbg.ac.cn

收稿日期: 2008-08-25 接受日期: 2009-01-04

森林的存在改变了下垫面的状况,增加了粗糙度,改变了动力效应,同时影响森林的辐射、热量、水分平衡,形成了独特的森林小气候环境。研究森林林冠及林冠上下大气的温度分布特征,对于把握林内和森林上方大气层结状态,以及林冠对森林小气候特征的影响均有一定的帮助。对于森林气候要素的垂直分布研究,多集中在光(辐射)的垂直分布,特别是林冠对光(辐射)的影响(Brown 1993);而森林的温度分布状况亦具有重要的生态学意义(Lee, 1998),森林冠层上下的温度垂直分布特征以及其热力效应,关系到森林的能量分配,受到人们的普遍关注(王正非等, 1983; 贺庆棠, 2001)。常杰等(1999)、李海涛和陈灵芝(1999)对不同类型森林的光、温、湿等环境因子的时空变化做了研究,但目前对热带森林林冠层温度的时空分布研究甚少。张一平等(2000, 2001)对西双版纳热带季节雨林和次生林林窗的边缘壁面热力效应进行了研究;在西双版纳热带季节雨林的雾特征的研究中分析了温度的影响作用,热带季节雨林的碳通量变化特征会受到温度和大气稳定状况的影响(Zhang *et al.*, 2006)。高举明等(2008)探讨了西双版纳热带季节雨林的地温特征。

本文的观测数据由西双版纳热带季节雨林内铁塔上温度自记仪以及红外温度仪记录,2005年全年不间断观测获取,对热带季节雨林群落冠层植物温度及对应高度气温、冠层上、冠层下气温的日变化和季节变化特征进行分析,获得了一些热带季节雨林冠层温度及冠层气温的分布规律。

1 研究地区与研究方法

1.1 自然概况

西双版纳热带季节雨林属热带雨林的北缘,终年受西南季风控制,属热带季风气候,一年中有雾凉季(11—2月)、干热季(3—4月)、雨季(5—10月)之分(张克映, 1966)。观测点位于云南省西双版纳州勐腊县境内的国家级自然保护区内($21^{\circ}57'N$, $101^{\circ}12'E$, 海拔 756 m),距中国科学院西双版纳热带雨林生态系统定位研究站直线距离约 8 km。观测样地所在的热带季节雨林,林分平均高度 35 m 左右,郁闭度为 90%,结构复杂,分层现象明显,乔木层按高度即可分为 3 层,上层高 30 m 以上,藤本及附生植物丰富,板根及茎花现象显著(任泳红等, 1999)。本研究地点的粗糙度 Z_0 约为 3 m, 零平面

位移约为 32 m(张一平等, 2006)。

该地区雾日较多,年雾日可达 186.4 d。在雾凉季月平均雾日均超过 23 d 最多的 1 月可达 26.1 d 一般在 22 30 左右开始起雾,直到第 2 天 12 00 以后才逐渐消散;与雾凉季相比,干热季的雾生成时刻较迟,维持时间较短,一般在 23 00 之后才开始起雾,而在 10 00 左右就逐渐消散。

1.2 数据采集与处理

利用设置在热带季节雨林中的 70 m 气象观测铁塔,在不同高度设置传感器进行观测。主要观测要素有:由安装在铁塔 26.2 和 42.0 m 的温湿计(HMP45C, 芬兰 VAISALA 公司)测定了林冠上和林冠下的大气温度;由安装在 36.5 m 的温湿计(HMP45C, 芬兰 VAISALA 公司)测定了林冠附近的气温;由红外温度计(RTS-P, 美国 APOGEE 公司),测定了热带季节雨林群落植物冠层表面温度。数据采集频率为 0.5 Hz,经计算处理后输出 30 min 平均值。

1.3 数据处理

根据张克映(1966)对西双版纳的季节划分,季节分雾凉季 120 d 干热季 61 d 雨季 184 d。温度每 30 min 输出 1 次平均值,每天得到 48 个数据。对相应季节相同时刻的植物冠层温度和大气温度分别取平均,得到相应的日变化特征,进一步取相应时刻的植物冠层温度与大气温度差值,并得到其相应的温度差的日变化特征。

2 结果与分析

2.1 热带季节雨林林冠温度与相同高度气温分布

西双版纳热带季节雨林林冠温度与相同高度的气温在同一季节有相似的日变化特征(图 1)。由图 1 可以看出,热带季节雨林冠层温度与气温在 3 个季节都表现为 8 00 左右出现最低,16 00 左右出现最高。在雾凉季林冠温度和同层高度大气温度均较低,日较差较大,干热季二者温度均有升高,且日较差最大,至于雨季,二者温度均较高,但日较差是 3 个季节中最小的。

西双版纳热带季节雨林气温存在显著的日变化,气温的日较差在雾凉季和干热季最高可达 $15^{\circ}C$,白天较高的温度下充足的太阳辐射有利于植物进行光合作用,夜间较低的温度下植物呼吸作用渐弱,温度存在较大的日较差有利于植物进行有机物质的积累,是西双版纳热带季节雨林拥有较强的固定碳的能力的一个很重要的原因。

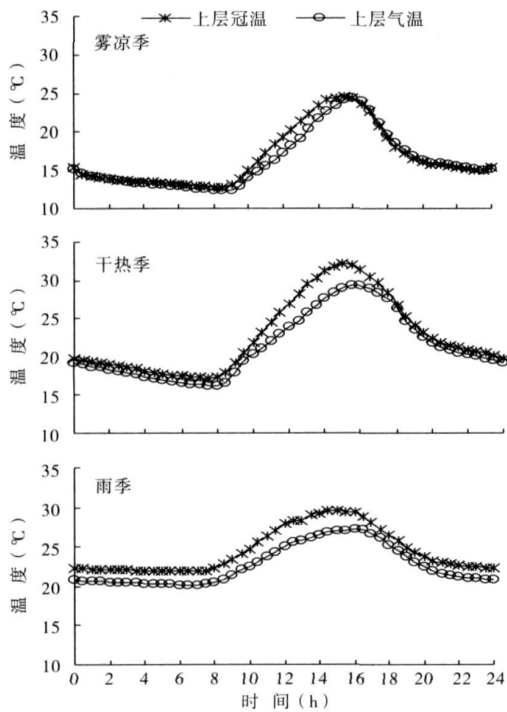


图 1 林冠温度及相同高度气温日变化
Fig 1 Diurnal variations of average canopy temperature in different seasons

2.2 热带季节雨林林冠温度与相同高度气温差分布

通过热带季节雨林林冠温度与相同高度的大气温度的温度差在不同季节的日变化特征(图 2)。从图 2 可以看出,除雾凉季夜间外,热带季节雨林林冠的平均温度均高于相同高度的大气的平均温度,林冠对周边大气起加温效应,总体表现为热源。

在雾凉季,热带季节雨林林冠温度在昼间高于同层大气,而在前半夜则稍低于同层大气的温度;干热季表现为热带季节雨林林冠温度全天皆高于同层大气的温度,昼间温差较大,冠层温度明显高于同层大气的温度,温差最高可达 3.5°C ,反映了干热季昼间辐射强烈的特点,而夜间温差较小,冠层温度略高于同层大气温度 0.5°C 左右;雨季热带季节雨林林冠温度也表现为全天高于同层大气温度,但其温差全天变化较小,只是在正午前后有个明显的峰值(温差 $> 3^{\circ}\text{C}$),其他时间温差基本上保持在 1.5°C 左右。在不同季节热带季节雨林林冠温度与同层大气的温差在 18 00 左右均迅速降低,出现低值,其原因可能是这个时刻恰是太阳落山时分,失去了辐射源的树冠降温快于同层大气所致。

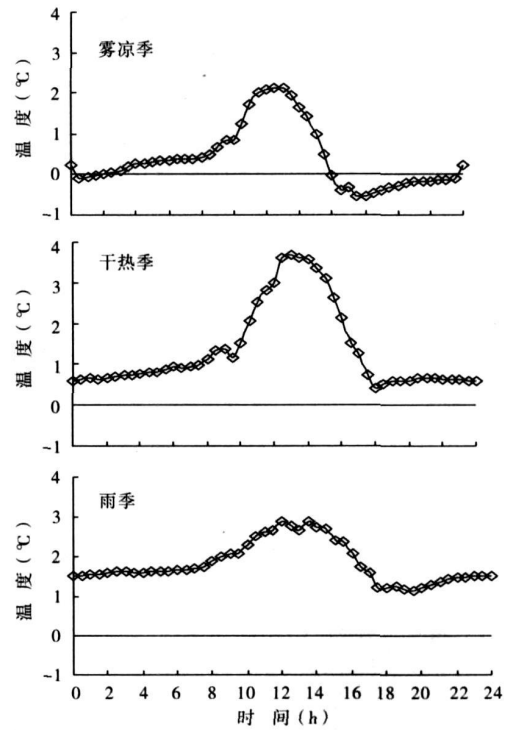


图 2 林冠温度与同层大气温度差值的日变化
Fig 2 Diurnal variations of difference between the canopy temperature and air temperature at same height in different seasons

在热量缺乏的雾凉季夜晚,雾形成前,气温高于林冠温度,热带季节雨林森林乔木冠层从周围大气吸收热量,呈现热汇效应。而在热量充足的其他季节的夜晚向周围大气释放热量,对大气起加热作用,表现为热源效应。因此,可以认为,雾凉季(1—2月)一般为一年中温度较低的月份,对于处于热带北缘的西双版纳热带季节雨林,低温将会产生不利影响,雾凉季夜间低温成为热带季节雨林能否存在的限制因子。而对于热带季节雨林的植物来说,当自身温度低于一定值时,森林植物可以通过从外界吸收热量来维持自身的温度,从而降低低温带来的不利影响,保障了森林植物抵御低温的能力。而在雾凉季昼间及干热季和雨季的气温则能满足热带季节雨林林冠对热量的需求,且需要通过蒸腾作用和辐射等方式散热,从而维持自身生命活动适宜的温度。

2.3 热带季节雨林林冠上、林冠下气温分布

图 3 显示了不同季节热带季节雨林林冠上方大气温度(42.0 m)与热带季节雨林林冠下方大气温度(26.2 m)的温度日变化特征。不同季节林冠上、

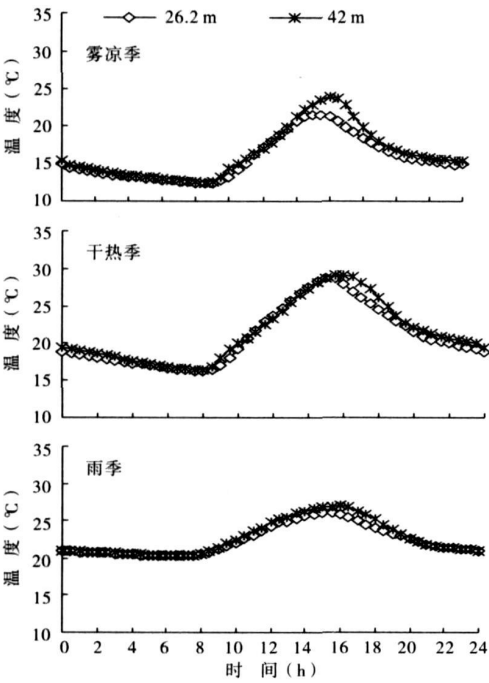


图 3 林冠上气温和林冠下气温的日变化
Fig 3 Diurnal variations of the air temperature above and below the forest canopy in different seasons

林冠下大气温度的日变化特征，8:00左右出现最低值，午后出现最高值。热带季节雨林林冠上、林冠下的大气温度均表现为雾凉季气温较低，日较差较大；干热季气温稍高，日较差最大；雨季气温高，且日较差较小的分布特征。

2.4 热带季节雨林林冠上、林冠下气温差分布特征

如图 4所示，热带季节雨林林冠上、林冠下的气温差存在明显的日变化和季节变化。雾凉季和干热季变化趋势相似，而雨季有所不同。具体表现为在雾凉季和干热季，热带季节雨林林冠上方气温与林冠下方气温互有高低，二者的温度差在 10:00和 17:00前后出现 2 个高值，在 12:00左右出现一个最低值。10:00峰值的出现的原因是由于在雾凉季和干热季，夜间多雾，天亮后雾气开始逐渐消散，树冠上方的大气接收到的太阳辐射以及林冠层叶片的逆辐射显著增多，升温明显，而林冠下方大气由于林冠层的遮蔽，升温滞后于林冠上层，即在刚刚日出时，林冠上下层大气的逆温状况不仅没有得到缓解，反而出现了进一步的增强，这与裸地有明显的不同。

随着雾气的进一步消散，林冠层叶片的光合作用被激活，大量的太阳辐射能被固定为植物体内稳定的化学能，延缓了林冠上大气温度的升高，此时，

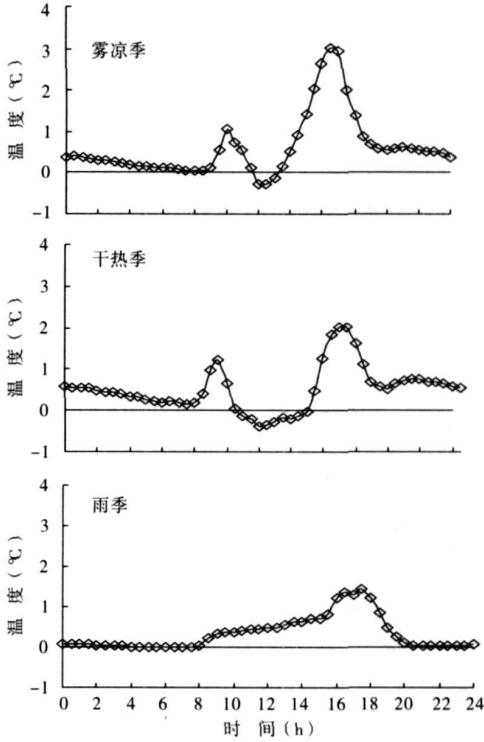


图 4 林冠上与林冠下气温差值日变化
Fig 4 Diurnal variations of difference between the air temperature above the forest canopy and below the forest canopy in different seasons

树冠下层植物体生命活动开始活跃，呼吸作用释放的热量在这种逆温层结下不容易扩散而积累，加之红外辐射以及穿透冠层的光斑也给林冠下层带来更多的能量来源，林冠下方大气温度在 12:00左右高于林冠上方大气温度。一旦出现林冠下方大气温度高于林冠上方大气，稳定的大气层结被破坏，林冠附近的大气层结转化为静力不稳定状态，空气的对流和湍流运动明显加强，林冠下方大气积累的物质和能量得以释放，导致林冠上、林冠下的气温逐渐趋于相近，温差趋于 0。而到了午后，林冠温度进一步升高，过高的辐射强度抑制了林冠上层植物叶片的光合作用(宋青海等, 2006)，气孔关闭的同时也降低了蒸腾作用，林冠层消耗的太阳辐射能减少，而林冠通过反射和逆辐射对林冠上大气的加温作用明显，林冠下方由于受到遮蔽，林下植物的光合作用并未受到抑制，消耗的太阳辐射能并未下降(窦军霞等, 2006)，林冠下方与林冠上方大气的温差进一步拉大，达到一天中的最大值。之后随着太阳辐射能逐渐减小，消失，林冠上、林冠下方大气的温度均在降低，且林冠上方大气缺少林冠的保温作用，温度下降

的速度快于林冠下方大气温度下降的速度,但是,由于林冠上方大气积累了足够多的能量,且伴随雾的形成,在水汽凝结过程中放出了热量,整个夜晚仍然能维持这种上高下低的大气稳定层结的存在。

因此,可以认为,在热量不足的雾凉季和干热季的夜晚大气稳定层结的存在,可防止低温和干旱对热带季节雨林的危害,对保持热带季节雨林的生存至关重要,而在平均温度较高的雨季,林冠上、林冠下层大气的温度差日变化表现出与雾凉季和干热季不同的特征。热带季节雨林林冠上下的气温在雨季变化是基本同步的,林冠上下大气温度差在昼间为正值,而夜间基本为零值。林冠上层大气在白天多处于不稳定状态,有利于物质能量交换,而林冠上大气温度在整个昼间高于林冠下大气温度,在林冠上大气与林冠下大气形成一个逆温层,林冠作为林内外微气候的分界,其生态气候的调节作用十分明显。

3 结 论

热带季节雨林群落植物冠层温度在雾凉季夜间低于同层大气温度,在这期间植物受低温影响,需从外界吸收热量,雾凉季夜间平均最低温度是热带季节雨林分布的一个限制因子。

不同季节热带季节雨林冠层上方大气温度(42.0 m)与热带季节雨林冠层下方大气温度(26.2 m)的分布均有较为明显的日变化特征,日出前出现最低值,午后出现最高值。热带季节雨林冠层大气温度雾凉季较低,日较差较大;干热季稍高,日较差大;雨季高,日较差不大。

从热带季节雨林林冠上、林冠下气温差的季节分布特征可以看出,在热量缺乏的雾凉季和水分缺乏的干热季,林冠的调节作用趋向于在昼间热量充足时从外界获取能量,夜间则趋向于保持环境稳定,将林内外气温保持在一个可控的范围内。而在水分和温度均充足的雨季,气候适宜,热带季节雨林林冠的对温度的调节作用不明显,趋向于维持林冠层大气的自然状态。

由此可见,西双版纳热带季节雨林群落植物冠层及附近大气温度分布特征较为复杂,雾凉季和干热季林冠层上、林冠下气温差在昼间出现多次调整,而雨季表现的很稳定。热带季节雨林植被可通过自身的生理活动对自身所处的环境进行积极调整,进而影响热带季节雨林冠层小气候。而植物如何通过自身生命活动影响周围气温分布的机制将作为下一

步的研究内容。

致 谢 在研究中得到了中国科学院西双版纳热带生态系统研究站的大力支持,刘梦楠同志参加了数据收集工作,刘文杰老师对文章的修改提供了宝贵意见,在此表示感谢。

参考文献

- 常 杰,潘晓东,葛 滢,等. 1999 青冈常绿阔叶林内的小气候特征. 生态学报, 19(1): 68-75
- 窦军霞,张一平,赵双菊,等. 2006 西双版纳热带季节雨林辐射垂直分布特征. 北京林业大学学报, 28(2): 15-21
- 高举明,张一平,于贵瑞,等. 2008 西双版纳热带季节雨林地温特征. 生态学杂志, 27(6): 880-887.
- 贺庆棠. 2001 中国森林气象学. 北京: 中国林业出版社.
- 李海涛,陈灵芝. 1999 暖温带山地森林的小气候研究. 植物生态学报, 23(2): 139-147
- 任泳红,曹 敏,唐建维,等. 1999 西双版纳季节雨林与橡胶多层林凋落物动态的比较研究. 植物生态学报, 23(5): 418-425.
- 宋清海,张一平,郑 征,等. 2006 热带季节雨林冠层树种绒毛番龙眼的光合生理生态特性. 应用生态学报, 17(6): 961-966
- 王正非,朱廷曜,朱劲伟,等. 1983 森林气象学. 北京: 中国林业出版社.
- 张克映. 1966 滇南气候的特征及其形成因子的初步分析. 气象学报, 33(2): 210-230
- 张一平,窦军霞,马友鑫,等. 2001 热带季节雨林林窗不同热力作用面的热力特征. 中南林学院学报, 21(4): 68-72
- 张一平,宋清海,于贵瑞,等. 2006 西双版纳热带季节雨林风时空变化特征初步分析. 应用生态学报, 17(1): 11-16
- 张一平,王进欣,马友鑫,等. 2000 西双版纳热带次生林林窗边缘树表温度的时空分布. 北京林业大学学报, 22(3): 8-13
- Brown N. 1993 The implications of climates and gap microclimate for seedling growth condition in a Bornean lowland rain forest *Journal of Tropical Ecology*, 9: 153-168
- Lee XH. 1998 On micro meteorological observations of surface-air exchange over tall vegetation *Agricultural and Forest Meteorology*, 91: 39-49
- Zhang YP, Sha LQ, Yu GY, et al. 2006 A special annual variation of carbon flux above tropical seasonal rain forest in Xishuangbanna of SW China *Science in China Series D: Earth Science*, 49: 150-162

作者简介 杨 振,男,1981年12月生,硕士研究生。研究方向为森林气候。E-mail yang@xtbg.ac.cn
责任编辑 王 伟