

# 西双版纳热带次生林林窗近地层 温度时空分布特征<sup>\*</sup>

张 一 平   王 进 欣   马 友 鑫   刘 玉 洪   李 佑 荣

(中国科学院西双版纳热带植物园 昆明 650223)

**摘 要:** 因林窗的发生而导致的环境异质性, 对林窗内物种分布、种群动态及物种多样性所产生的影响以及对森林演替和更新所起的重要作用乃是人们广泛关注的问题。本文以西双版纳热带次生林林窗 8 个方位(从林窗中央到林内)不同季节的地表温度和 1.5 m 高度气温水平空间多点观测为基础, 探讨了林窗温度效应的时空分布特征。结果表明: 在西双版纳由于区域性天气现象(雾)、太阳高度和林窗边缘树木的共同影响, 形成不同季节林窗区域温度效应在时空上的明显差异—高值区的时空位移及空间不对称性现象: 林窗温度最高区域并非出现在林窗中央, 而是林窗某一侧, 其位置、强度随时间和季节不同而存在差异; 另外, 林窗内不同介质间(空气、地面)热量传递方向随时间和季节的不同而各异, 特别是在干热季的中午, 林窗不同区域气地温差符号的不同, 引起热量传递方向截然相反。如此的温度分布状况和热量传递的不同, 将导致林窗的环境异质性差异, 进而影响到林窗区域种子萌发、幼苗生长、发育, 植物种群分布等, 最终影响到森林的更新。

**关键词:** 次生林, 林窗, 温度效应, 时空分布

## THE TEMPORAL- SPATIAL DISTRIBUTION OF TEMPERATURE ON THE SURFACE ROUGHNESS OF THE TROPICAL SECONDARY FOREST GAP IN XISHUANGBANNA, YUNNAN PROVINCE

Zhang Yiping   Wang Jinxin   Ma Youxin   Liu Yuhong   Li Yourong

(Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, CAS Kunming 650223)

**Abstract:** Forest gap leads to the formation of environmental heterogeneity, which plays an important role in the distribution of species, community dynamics and biodiversity. Further, it also influences forest regeneration and succession. The influence of temperature on forest gaps based on our observations of soil surface and air (1.5 m) temperatures located at 8 direction (located at 45°, from center to interior) within the gap in a tropical secondary forest in Xishuangbanna during different seasons were discussed. The results indicated the existence of distinctly temporal and spatial differences during different seasons due to fog, solar altitude and trees at the edge of gap indicating the influence of temperature. The maximum temperature occurred at the edges of gap and not at the centre, whose position and intensity vary with time and season. In addition, the directions of heat transfer between medium (air, soil surface) varied with space and time. Especially at the noon of dry-season, differences between air temperature and soil surface temperature were different in sites, which even induce direction of heat transferring inverse. All these facts result in induce direction of heat transferring inverse. All these facts result in environmental heterogeneity within the gap. Further, they affected germination of seed, growth and development of seedling and distribution of plant community, which finally influenced the forest regeneration and succession.

**Key words:** Secondary forest, Forest gap, Effects of temperature, Temporal and spatial distribution

20 世纪 70 年代末, 小尺度空间异质性作为影响物种进化的重要环境特点日渐引起学者的关注。Orians (1982) 认为林窗环境本身是异质的, 而且其物理环境的异质性将促进生物环境的异质化, 同时林窗内生物个体、种群、群落对林窗干扰呈现不同程度的响应, 反过来其行为又对林窗环境存在不同程度

收稿日期: 2001-04-12。

基金项目: 云南省自然科学基金项目 (98C098M), 中国科学院“九五”重大项目 (KZ951-A1-104-01), 中国科学院“院长基金”和人事部“非教育学同留学回国人员科技活动择优资助经费”项目的部分研究结果。

<sup>\*</sup> 王进欣现在徐州师范大学城市与环境学院。

的影响。林窗的产生增强了干扰生境的异质性,就林窗本身而言,由树根、树干、树冠所引起的空间异质性(光、温度、湿度、土壤矿质元素、土壤理化性质等的差异)可创造一定数量的潜在生态位(Connel, 1978; Denslow, 1987),林窗的大小和异质程度对植物生活史有决定性影响(班勇, 1996),在林窗内部,无论是从林窗中心到林缘树木根基处还是从林地作用层到林冠作用层生境都是相当异质的(Evans, 1939; Hill, 1966; Pinker, 1980; Fetcher, 1985; Raich, 1987)。国内对该领域也进行了一些研究,安树青等(1997)通过对林窗中央、边缘和林内不同点的观测,探讨了林窗中央、边缘(平均状况)和林内的生物多样性和生境的差异,指出在林窗边缘,由于生境的异质性,导致了该区域的生物多样性最大。臧润国等(1999)通过观测,得出小气候要素在林窗与林内有着明显差异,大小林窗之间也有不同的结论。但是以上研究忽略了林窗的水平空间特征,必然对分析结果带来影响。刘文杰(2000a; b)对林窗中央到林内的剖面观测,显示出小气候要素在林窗不同位置是有差异的,但没有得出其水平空间分布状况。

温度是植物生长的必需条件,它对树木的生长发育、生长周期及生理活动均有很大制约,是森林动态及演替过程中影响树种更新的重要因子。林窗的发生导致光照的增加,相应地,林窗内地表面温度、近地层温度等热力特征也发生改变,而光照环境和热力特征的改变将对土壤理化性质、营养元素的分解及土壤微生物的活性等产生影响,最终影响到林窗及周边各种生物学过程的变化(Brown, 1993)因此,林窗微环境在森林种群动态方面扮演着重要角色(Denslow, 1987; Bazzaz *et al.*, 1994; Bongers *et al.*, 1988; Brokaw, 1985; Clark, 1990; Newell *et al.*, 1993)。为探讨林窗温度效应时空分布特征,本文根据1999年不同季节西双版纳地区的次生林林窗近地层水平空间小气候观测资料,对林窗的温度效应时空分布进行了分析,旨在为探讨林窗小气候形成机制及其对林窗生物多样性的影响等提供科学依据。

## 1 样地概况及研究方法

### 1.1 样地概况

西双版纳位于云南省南部,终年受西南季风控制,属热带季风气候,一年中有干热季(3~4月)、湿热季(5~10月)和雾凉季(11~2月)之分(张克映, 1966)。本次观测的样地设在中国科学院西双版纳热带植物园的次生演替研究长期试验地内( $21^{\circ}54'N$ ,  $101^{\circ}46'E$ , 海拔580 m)。原生植被为热带季节性雨林,现为经刀耕火种,1970年撂荒后恢复起来的次生林。林冠季相为干热季稀疏,雨季后期和雾凉季初密集。群落结构复杂,成层现象明显,可划分为乔木层、灌木层、草本层及层间植物4个层次(唐勇等, 1998),群落高度10~16 m,枝下高8~12 m,平均胸径7.5~8.5 cm。乔木层主要有白背桐(*Mallotus paniculatus*)、大叶藤黄(*Garcinia xanthochymus*)、川楝(*Melia toosenden*)等;灌木层主要有狭叶楠木(*Phoebe lanceolata*)、窄序岩豆藤(*Millettia leptobotrya*)、笔官榕(*Ficus superba* var. *japonica*)、潺槁木姜子(*Litsea glutinosa*)等;层间植物主要有爪哇下果藤(*Gouania javanica*)等;草本植物及幼苗层主要有马唐(*Digitaria sanguinalis*)、竹叶草(*Oplismenus compositus*)。土壤为砖红壤。

### 1.2 研究方法

本文所选择的林窗(图1)形成于1993年。该林窗南北向约12 m,东西向约8 m,近椭圆型,实际面积约51 m<sup>2</sup>;扩展面积约199 m<sup>2</sup>。在第1次观测前(1998-12)对林窗内植物地上部分进行了清伐,其后任其自然生长。1998-12~1999-05,由于处于干季,林窗下垫面维持草荏状态,雨季(1999-06)开始后,潜伏状态的植物(埋藏种、幼苗、幼树、残缺状态树)和周围群落植物扩散的种子得以萌发、恢复,林窗下层空间主要为马唐和竹叶草。

在林窗中沿南-北向、东北-西南向、东-西向、东南-西北向设置4条观测样线,每条样线设置7个观测点,考虑林窗边缘效应的作用,观测点为不等距分布,分别位于林窗中央、林窗边缘树冠冠缘垂直投影处,林缘乔木根基处、林内,使用红外辐射温度计(COMPAC3,日本国Minolta株式会社),于1999年1月、4月、7月、10月的昼间(8:00~20:00)正点观测各测点地表温度,每个

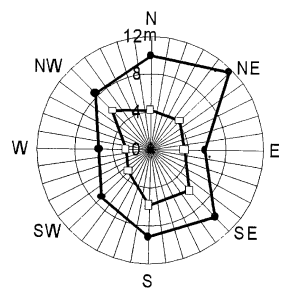


图1 林窗轮廓图

Fig. 1 The out-line of forest gap

—□—1—实际林窗边缘

Edge of actual gap;

—●—2—扩展林窗边缘

Edge of extended gap.

测点读取 3 次, 求算平均值。同时使用温度表, 观测各测点 1.5 m 高度处的气温。每次观测 5~ 10 d, 观测期间天气晴好。以下分析中, 1 月、4 月、7 月、10 月分别代表该地区的雾凉季、干热季、雨季和雨季后期; 8 个方位为东(E)、东南(SE)、南(S)、西南(WS)、西(W)、西北(NW)、北(N)、东北(EN), 数字 1 为实际林窗边缘数字 2 为扩展林窗边缘; 林内值为 8 个方位林内的平均值。

2 结果与分析

2.1 温度效应的空间不对称性分布

2.1.1 林窗与林内气温差 林窗各测点与林内气温差在时间上表现为 1 a 中以干热季差异最大(2.9 °C, S2), 而 1 d 中又以中午(12: 00~ 15: 00) 差异最大, 上午(8: 00~ 11: 00) 较小(  $\Delta T \leq 1\text{ }^{\circ}\text{C}$  ), 下午(16: 00~ 20: 00) 次之; 就平均气温而言, 林窗与林内年平均气温差为 1.0 °C, 最甚时可达 3.2 °C。

林窗各测点与林内气温差在空间上的分布表现为区域分布的非对称性, 特别是中午的分异最为明显, 最大差值区并不出现于林窗中央, 而是出现在林窗某一侧(雾凉季 2.2 °C, NE2; 干热季 2.9 °C, S2; 雨季 1.4 °C, N2; 雨季后期 2.5 °C, S2)。

2.1.2 林窗与林内地表温差 林窗各测点与林内地表温差时间变化及空间分布与气温差相似, 即干热季差异显著(19.5 °C, NE2), 而一天中又以中午(12: 00~ 15: 00) 差异最大, 上午(8: 00~ 11: 00) 较小(  $\Delta T_s \leq 1\text{ }^{\circ}\text{C}$  ), 下午(16: 00~ 20: 00) 次之。空间上表现为林窗各测点与林内气温差区域分布的非对称性, 中午的分异最为明显, 差值最大区并不出现于林窗中央, 而是林窗某一侧(雾凉季 11.5 °C, E2; 干热季 19.5 °C, NE2; 雨季 2.8 °C, E2; 雨季后期 5.4 °C, W2)。

2.2 温度高值区动态位移现象

2.2.1 气温 林窗区域温度空间分布上的不对称性是动态变化的, 存在平均气温高值区时间位移现象(时刻间位移; 季节间位移)。具体表现为: 雾凉季、干热季、雨季、雨季后期上午平均气温(图 2) 最大区域分别出现于林窗中央、林窗西南侧边缘、林窗偏南侧边缘、林窗偏北侧边缘。而在太阳直接辐射较强的中午, 林窗地面多在东侧~ 东北侧林缘形成气温高值区域, 同时也形成较大的气温水平梯度, 如此气温时空分布态势在干热季表现的更为突出。尽管雾凉季及雨季后中午最大气温中心也出现在林窗东北侧, 但区域间的差异并不明显, 其中雾凉季不同时段的气温水平梯度不足 1 °C。雨季由于太阳高度角高, 气温高值区整个昼间均出现于林窗中央。就气温最大值而言, 干热季最大(36.0 °C)、其次雨季(28.2 °C), 再其次雨季后期间(27.9 °C) 雾凉季最小(25.0 °C)。下午随太阳的西进, 林窗近地面受树木遮蔽影响, 气温下降, 虽然气温均值最大区域仍在林窗东北侧林缘, 但水平梯度变化已趋于和缓。

2.2.2 地表温度 平均地表温度(图 3) 时空态势与气温时空变化十分相似, 平均地表温度最高区域同样出现随时间推移的现象: 雾凉季、干热季、雨季、雨季后期平均气温最大区域分别出现于林窗中央(上午浓雾影响)、林窗西南侧边缘、林窗中央(太阳高度角影响)、林窗西北侧边缘。在太阳直接辐射较强的中午, 林窗地面在东侧~ 东北侧林缘同样形成地表温度最高值区域, 同时也形成较大的地表温度水平梯度; 如此地表温度时空分布态势在干热季表现的更为突出, 与气温时空分布特征相比, 时间变化及空间

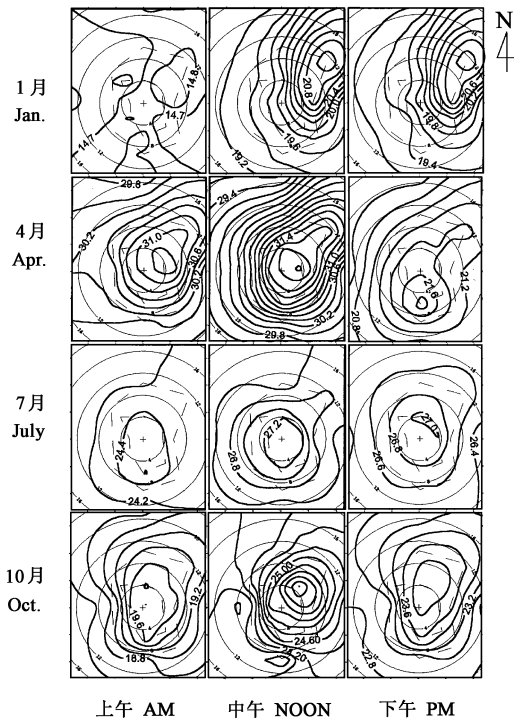


图 2 次生林林窗气温时空动态变化  
Fig. 2 Temporal-spatial variation of  
air temperature in secondary forest gap

分异更为明显,干热季中午林窗区域的地表温水平梯度可达  $1\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{m}^{-1}$ ,造成林窗区域热力效应在空间上的较大差异。下午随太阳西移,林窗近地面受树木遮蔽影响,地表温度下降,虽然地表温度均值最大区域仍在林窗东北侧林缘,但水平梯度变化趋于和缓。

2.2.3 气地温差 自然界中热量均是从高温区域向低温区域传递,利用气、地温差可以探讨热量的传递方向。气、地温差由正值转为负值的时间因季节、方位不同而异,雨季较干季达平衡时间较早,差值及时间变化相对较小(NE1、NE2 昼间振幅最小不足  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ),而干热季变化较大(NE1、NE2 昼间振幅最大可达  $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ ),这表明气—地间热量传递方向在不同季节、不同时间存在差异。

从不同时段平均值来看,气地温差低值区多出现在林窗中央及林窗偏东侧边缘(图 4)。不同季节的上午林窗中央、林内及林窗各方位边缘气地温差多呈现负值,气温低于地表温,热量由地面传向空气,林窗地面呈现热源效应;午间林窗中央及偏东侧气温多低于地表温度,干热季效应明显,气温远远低于地表温度,热量表现为上传,而林窗偏西侧气温高于地表温度,热量由空气传向地面,这意味着林窗区域将存在热力小环流,这将是今后的研究内容之一;下午林窗中央及各方位边缘、林内气温多高于地表温,热量由空气传向地面,林窗偏西侧效应明显,气地温差最高可达  $3.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,呈现了周围林冠的热源作用。

另外由图 4 还可看出不同季节气地温差水平梯度变化有缓急之别,干季(包括干热季和雾凉季)的中午气地温差水平梯度较大(可达  $1\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{m}^{-1}$ ),雨季水平梯度较小。

3 结论与讨论

3.1 结论

在西双版纳由于区域性天气现象(雾)、太阳高度和林窗树木的共同影响,形成不同季节(雾凉季、干热季、雨季、雨季后期)、不同时间(上午、中午、下午)林窗区域的温度在时间和空间上的明显差异——“峰值动态位移现象”。即:上午因雾的影响不同,不同季节温度最高区域出现随时间而推移,雾凉季、干热季、雨季、雨季后期平均温度最大区域分别出现于林窗中央、林窗西南侧边缘、林窗西侧边缘、林窗西北侧边缘。在太阳直接辐射较强的中午,林窗地面(特别是林窗实际边缘以内区域)在太阳辐射的影响下,地表温度、近地层温度迅速升高,干热季、雨季由于太阳高度角较大,大多数方位实际林窗的边缘的地表温度、近地层温度远远大于扩展林窗边缘,在北侧~东北侧林缘形成地表温度、近地层温度最高

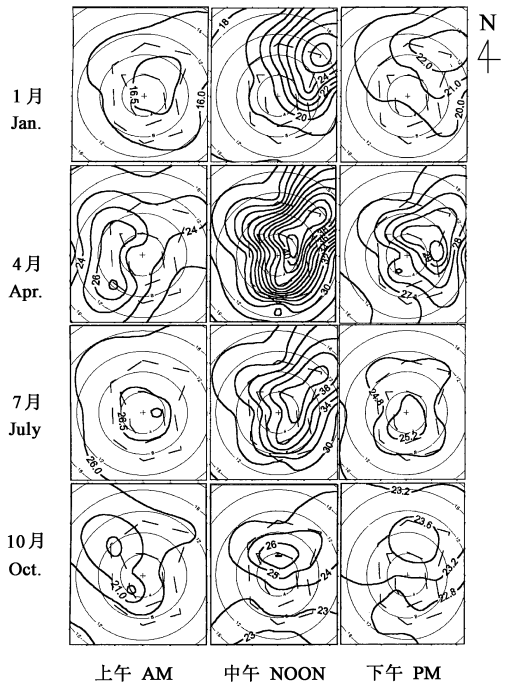


图 3 次生林林窗地表温时空动态变化  
Fig. 3 Temporal-spatial variation of surface temperature in secondary forest gap

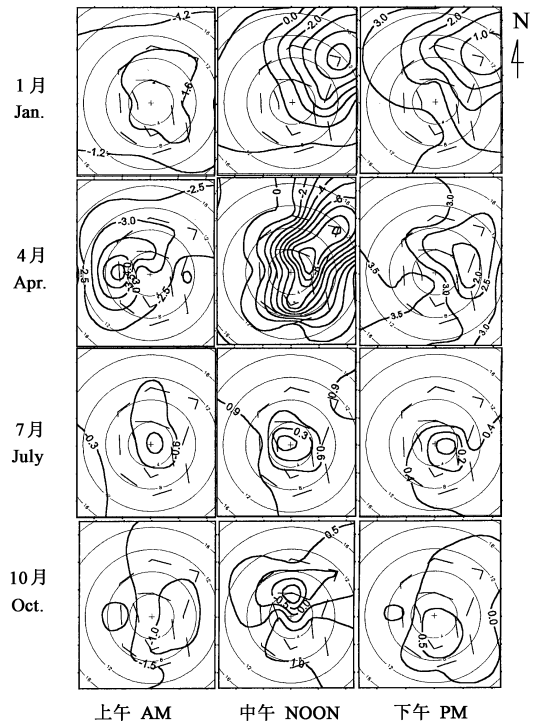


图 4 次生林林窗气地温差时空动态变化  
Fig. 4 Temporal-spatial variation of difference between air temperature and surface temperature in secondary forest gap

值区域, 以受太阳直接辐射影响最大的林窗北侧~ 东北侧林缘最大, 同时也形成较大的地表温度、近地层温度的水平梯度; 而太阳高度角较小的雾凉季、雨季后期, 中午最大值中心也出现在林窗东北侧, 但其高值区域可深入到扩展林窗边缘处。下午由于太阳西进, 林窗近地面受树木遮蔽影响, 地表温度、近地层温度下降, 虽然地表温度、近地层温度均值最大区域仍在林窗东北侧林缘, 但水平梯度变化已趋于和缓。

林窗区域的地表温度及近地层温度分布存在“空间不对称性”, 增强了林窗环境的异质程度。这势必造成林窗不同区域热力作用的不同, 进而导致林窗区域热量传输和热量储存的不同, 产生不同的热力效应。研究表明, 林窗内不同介质间(空气、地面)热量传递方向在不同季节的不同时间是不同的, 这将导致不同季节林窗内的热量交换产生差异, 增加林窗小气候环境的异质性。

### 3.2 讨论

不同季节、不同时段温度的高值区域存在较大的差异, 造成林窗区域的小气候要素分布存在时间差异和空间上的不对称性; 林窗的异质程度对林窗不同位置的生物多样性有较大影响(奚为民等, 1992; 安树青等, 1997)。本研究所得到的林窗小气候要素“峰值动态位移现象”将影响不同物种的入侵、定居、繁殖, 进而影响林窗物种的组成。林窗发生后, 针对不同位置的环境异质性, 物种在形态上和生理上作何响应, 如何生长, 都是今后值得研究的问题。无论是从林窗中心到扩展林窗边缘, 还是从林地作用层到林冠作用层, 林窗生境都是相当异质的。由树根、树干、树冠所引起的空间异质性, 可创造一定数量的潜在生态位(Connel, 1978; Denslow, 1987), 但限于时间、人力、物力, 我们尚未涉及所有方位及层次, 仅重点对林地近地层不同方位小气候时空分布特征作了较为详尽的研究。

### 参 考 文 献

- 安树青, 洪必恭, 李朝阳等. 紫金山次森林林窗植被和环境的研究. 应用生态学报, 1997, 8(3): 245~ 249
- 班 勇. 自然干扰与森林林冠空隙动态. 生态学杂志, 1996, 15(3): 43~ 49
- 刘文杰, 李庆军, 张光明等. 西双版纳望天树林林窗小气候特征研究. 植物生态学报, 2000, 24(3): 356~ 361
- 刘文杰, 李庆军, 张光明等. 西双版纳望天树林干热季不同林窗间小气候差异. 生态学报, 2000, 20(6): 932~ 937
- 唐 勇, 曹 敏, 张建侯等. 西双版纳白背桐次生林土壤种子库、种子雨研究. 植物生态学报, 1998, 22(6): 505~ 512
- 奚为民, 钟章成, 毕润成. 四川缙云山森林群落林窗边缘效应的研究. 植物生态学与地植物学学报, 1993, 17(3): 232~ 242
- 臧润国, 刘静艳, 辛国荣. 南亚热带常绿阔叶林林隙小气候初步分析. 植物生态学报, 1999, 23(增刊): 123~ 129
- 张克映. 滇南气候的特征及其形成因子的初步分析. 气象学报, 1966, 33(2): 210~ 230
- Bazzaz F A, Wayne P M. Coping with environmental heterogeneity: The physiological ecology of tree seedling regeneration across the gap-under-story continuum. In: Caldwell M M, Pearcy R W. (eds). Physiological ecology-a series of monographs texts and treatises. Academic Press, San Diego, 1994: 349~ 390
- Bongers F, Popma J. Trees and gaps in a Mexican tropical rain forest. Species differentiation in relation to gap-associated environmental heterogeneity. Ph.D. thesis, University of Utrecht, 1988, 185
- Brokaw N V L. Tree-falls, re-growth, and community structure in tropical forests. In: Pickett S T A, White P S (eds). The ecology of natural disturbance and patch dynamics. London: Academic Press, 1985: 53~ 69
- Brown N. The implications of climates and gap microclimate for seedling growth condition in a Bornean lowland rain forest. Journal of Tropical Ecology, 1993, 9: 153~ 168
- Clark D B. The role of disturbance in the regeneration of neo-tropical moist forests. In: Bawa K S, Hadley M (eds). Reproductive ecology of tropical forest plants. Mab-UNESCO Series, Unesco, Paris, 1990: 291~ 315
- Connel J H. Diversity in tropical rain forest and coral reefs. Science, 1978, 199: 1302~ 1310
- Denslow J S. Tropical rain forest gaps and tree species diversity. Ann. Rev. Ecol. Syst., 1987, 18: 431~ 451
- Evans G C. Ecological studies on the rain forest of Southern Nigeria: The atmospheric environmental conditions. Journal of Ecology, 1939, 27: 136~ 182
- Fetcher N, Oberbauer S F & Strain B R. Vegetation effects on microclimate in lowland tropical forest in Costa Rica. International Journal of Biometeorology, 1985, 29: 145~ 155
- Hill R D. Microclimatic observations at Bukit Timah forest reserve. Singapore, Malayan Forester, 1966, 29: 78~ 86
- Newell E A, McDonald E P, Strain B R *et al.* Photosynthetic responses of Miconia species to canopy openings in a lowland tropical rainforest. Oecologia, 1993, 94: 49~ 56
- Orians G H. The influence of tree-falls in tropical forests on tree species richness. Trop. Ecol., 1982, 23: 255~ 279
- Pinker R. The microclimate of a dry tropical forest. Agricultural Meteorology, 1980, 22: 249~ 265
- Raich J W. Seasonal and spatial variation in the light environment in a tropical dipterocarp forest and gaps. Biotropica, 1987, 21: 299~ 302