

西双版纳热带雨林片断小气候 边缘效应的初步研究

马友鑫 刘玉洪 张克映^a

(中国科学院西双版纳热带植物园, 昆明 650223)

摘要 本文以林缘为中心, 研究了西双版纳地区3个热带干性季节性雨林片断和1个同样植被类型的连续森林林内至林外样带上小气候要素水平梯度分布。结果表明, 热带雨林片断林缘对温度、相对湿度和光照的影响范围北向林缘伸至林内15m、南向林缘伸至林内25m。林外小气候水平梯度大于林内, 这种梯度变异尤以林缘附近(- 10~10m 范围) 最大。热带雨林片断后, 林内与林外之间的小气候环境差异和对林外气候变化的缓冲作用都明显减弱。本文还给出了温度和湿度随水平距离变化的线性关系, 并探讨了小气候边缘效应对群落结构、物种分布的影响。

关键词 边缘效应 小气候 热带雨林片断 植物多样性

ON MICROCLIMATE EDGE EFFECTS OF TROPICAL RAINFOREST FRAGMENTS IN XISHUANGBANNA

Ma Youxin, Liu Yuhong and Zhang Keying

(Xishuangbanna Tropical Botanic Garden, The Chinese Academy of Sciences 650223)

Abstract Taking forest edge as a central point, microclimatic information were recorded in transects from the open to the interior of three tropical dry seasonal rainforest fragments and a continuous forest of the same vegetation type in Xishuangbanna, Yunnan province, aiming at studying the horizontal gradient distribution of microclimatic elements near the edges. The findings show that the fragment edge influences extent on temperature, relative humidity and light was up to 15m and 25m into the forests from the edge at north-facing and at south-facing direction, respectively. The horizontal gradient of microclimatic elements was greater outside forest than inside forest. The maximum gradient variation occurred near forest edges, ranged from - 10m to 10m into the forest interior from the edge. While the tropical rainforest was fragmented, the microclimatic difference between the open and the interior and the buffer function of forest against climatic change outside forest were clearly decreased. The linear equations of temperature and humidity with distance were developed, and the impact of microclimatic edge effects on community structure and species distribution was also discussed.

^a 本文于1996-06-27收稿, 1997-01-14收到修改稿。

中国科学院“八五”重大项目(KJ85-05-03)和中国科学院留学经费择优支持回国工作基金项目部分成果。许再富先生为本文提出许多建设性意见; 刘文杰和段文平同志参加观测工作; 朱华、刘宏茂和李宝贵同志协助研究样地选择。谨此致谢。

Key words Edge effects, Microclimatic, Tropical rainforest fragments, Plant diversity

西双版纳地区热带森林的大量砍伐, 不仅使森林总面积减少, 也使大多数现存热带森林片断化, 而被各种人工或退化生态系统所包围, 形成与邻区具鲜明对比的大量林缘景观。由于林缘与周围大气能量交换最为活跃, 使其环境条件明显不同于林内, 并在这一特殊边缘地带存在着一较大的生态环境梯度。这种边缘环境效应导致热带森林生境质量下降, 生物多样性加速消失(刘宏茂等, 1992); 同时, 物种组成与分布及生态系统过程(如生产力、分解率)也深受影响。热带森林边缘环境效应虽然如此重要, 却未引起足够的重视, 特别是小气候条件及其时间动态研究得很少。自80年代以后, 研究者们开始在巴拿马, 尤其在亚马逊流域开展片断热带森林边缘效应的研究(Williams-Linera, 1990; Camargo, 1993; Camargo & Kapos, 1995)。我国在此领域研究得较少。

本文根据西双版纳片断热带雨林边缘小气候观测资料, 试探讨林缘附近小气候要素水平变化及其影响范围, 并且讨论不同片断热带雨林边缘小气候效应的分异, 目的为生物多样性管理、保护和生态平衡建设提供科学依据。

1 环境和研究方法

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(雨)季和雾凉季(11~2月)之分(张克映, 1963)。在低海拔地区, 年雨量1200~1500mm(雨季占全年的83%~86%), 相对湿度82%~86%, 年均气温18~22℃, ≥10℃积温6500~8000℃, 太阳总辐射年总量5000~5600MJ·m⁻²。在这种生物气候作用下, 林冠季相变化以干热季稀朗和雨季末、雾凉季初密集。砖红壤广布于盆地与山间谷地。

采用典型取样法, 在西双版纳地区选择3块在历史上不同时期形成、傣族传统文化所保存和具相同植物群落的片断热带干性季节性雨林(Tropical dry seasonal rainforest)类型——“龙山林”, 它们分布在海拔550~650m的缓坡低丘(坡度< 5°)。另选一块同样植被类型的自然保护区“连续森林”(勐仑55km处)作为本底对照(表1)。

表 1 研究样地的基本概况
Table 1 Location of study plots

测点 Location	东经 E. longitude	北 纬 N. latitude	海拔 Altitude(m)	群落高度 ^{a)} Community Height(m)	群落总盖度 ^{a)} Total coverage(%)	面积 ^{b)} Area (10 ⁴ m ²)	林缘和坡向方位 Edge and slope direction
城子 Chengzi	101°14'	21°55'	650	35	> 95	4.0	NE
曼养广 Man yangguang	100°40'	21°44'	650	40	90	20.0	NW
曼娥 Man'e	101°14'	21°56'	550	30	80	3.0	SE
连续森林 Continuous forest	101°13'	21°57'	620	35	> 95	7500.0	NE

a) 朱华、许再富、王洪等, 1995: 西双版纳“龙山”片断热带雨林植物多样性的变化研究。
b) 许再富、朱华、杨岚, 1995: 片断热带雨林的“岛屿效应”与物种多样性消长规律研究。

观测样地的设置采用水平梯度格局。布局原则是以林缘为中心向林内与旷地进行不

等距的水平布点,其水平样带范围:城子从林缘至林内30~38m、至林外15~30m;曼养广从林缘至林内32~36m、至林外30~36m;曼娥从林缘至林内52~55m、至林外41m;连续森林从林缘至林内49m、至林外150m。采用英国 Delta-T 公司管状太阳辐射仪观测林内外距地面1.0m 高处太阳总辐射、光合有效辐射和红外辐射,用 Grant 公司九通道自记仪进行间隔15分钟记录。使用日本国生产的照度计和天津气象仪器厂产的通风干湿表和其它常规仪器分别观测林内外1.0m 高处的照度和1.5m 高处空气温度和湿度、风速,以及地面温度和10cm 深地温,实行周日每小时一次实测,并记录天气状况。分别在1994年干季和1995年雾凉季两次观测,每样地每次观测3~5天。

2 结 果

2.1 旷地、林缘和林内之间的小气候要素对比

由表2看出,最高气温由旷地至林内在减小,气温日较差以旷地为最大、林缘居中、林内最小,这种变化趋势尤以地面温度变化最烈。最小相对湿度变化趋势则相反,即以旷地为最小、林内为最大。由表2还看出,除旷地风速较高外,林缘和林内风速差异甚微,说明在常年风速较小的西双版纳地区,林内风速变化与距林缘距离关系不明显。值得指出,曼娥林缘对风速屏障能力最差,与旷地比较仅降低风速56%,远低于其它3处(82%~83%)。

表2 旷地、片断热带雨林林缘附近和林内最高气温($T_{\max}$)、气温日较差(ΔT)、最小相对湿度(RH)、最高地面温度(T_s)、地面温度日较差(ΔT_s)和风速(V)的平均值(干热季)

Table 2 Means of maximum air temperature (T_a), daily range of air temperature (ΔT_a), minimum relative humidity (RH), maximum soil temperature(T_s), daily range of soil (ΔT_s) and velocity(V)

			$T_{\max}$ (°C)	ΔT (°C)	RH (%)	T_s (°C)	ΔT_s (°C)	V(mōs ⁻¹)
城子 Chengzi	旷地	Open	34.7	23.2	19	47.7	36.7	0.6
	林缘	Edge	29.9	18.3	26	27.7	14.0	0.1
	林内	Interior	26.0	14.3	50	22.8	9.2	0.1
曼养广 Manyangguang	旷地	Open	35.0	25.5	19	49.4	38.5	0.6
	林缘	Edge	32.9	21.9	23	32.9	19.6	0.1
	林内	Interior	30.1	18.9	(45)	29.8	15.9	0.0
曼娥 Man'e	旷地	Open	29.9	16.1	43	41.0	27.2	0.9
	林缘	Edge	28.3	14.9	44	35.1	20.1	0.4
	林内	Interior	25.6	12.2	65	26.7	11.6	0.3
连续森林 Continuous forest	旷地	Open	31.9	20.9	27	50.7	42.1	1.1
	林缘	Edge	27.0	16.4	43	25.6	13.2	0.2
	林内	Interior	25.8	14.5	64	22.5	8.2	0.3

根据表2计算出,林内与旷地之间的最高气温、最高地面温度和空气相对湿度的绝对差值大小顺序基本为连续森林(6.1°C、28.2°C和37%)> 城子(8.7°C、24.9°C和31%)> 曼养广(4.9°C、19.6°C和26%)> 曼娥(4.3°C、14.3°C和22%),这反映出森林对气候的缓冲作用以连续森林为最大,曼娥热带雨林片断为最小。

2.2 小气候要素与水平距离的关系

2.2.1 温度

图1显示出林缘附近平均最高气温水平梯度变化。在-10~10m 范围内,温度递减率

最大, 城子为 $0.9^{\circ}\text{C}/10\text{m}$, 曼养广升为 $1.1^{\circ}\text{C}/10\text{m}$, 曼娥高达 $1.4^{\circ}\text{C}/10\text{m}$ 。随着向林内伸入, 温度变化减缓, 在林内 15m 后城子和曼养广温度变化不明显, 而曼娥仍为递减, 但其递减率已降为 $0.4^{\circ}\text{C}/10\text{m}$ 。由图1还看出, 在曼娥片断热带雨林林缘外 10m 范围内, 存在一明显最大温度效应值。究其原因可能有3个: (1) 其林缘向南, 直接接受太阳辐射能最多; (2) 风速小、湍流弱; (3) 林缘长波辐射加热作用。这种现象在背阴北向林缘则因太阳辐射较弱而不存在(如曼养广和城子)。气温日较差与水平距离之间的关系类似于最高气温(图2)。林缘对最低气温影响甚微, 如城子变化于 $14.4\sim 15^{\circ}\text{C}$ 之间, 曼娥 $11.3\sim 11.8^{\circ}\text{C}$, 曼养广 $7.5\sim 9.0^{\circ}\text{C}$, 一般而言, 林内最低温度高于林外, 尤以林内外地面温度差别较大, 城子、曼养广、曼娥和连续森林分别为 2.6°C 、 3.0°C 、 2.3°C 、 3.7°C 。据统计分析, 最高气温($T_{\max}$) 和

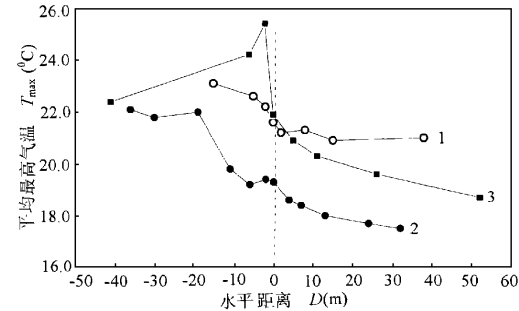


图1 平均最高气温($T_{\max}$) 的水平距离
(D)变化(雾凉季)

Fig. 1 Variation in maximum air temperature($T_{\max}$) with distance from forest edge (D) in cool-foggy season
1. 城子 Chengzi 2. 曼养广 Manyangguang
3. 曼娥 Man'e

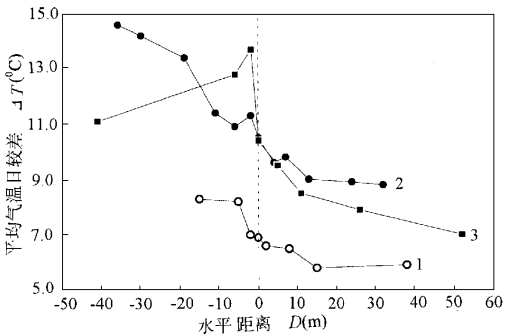


图2 平均气温日较差(ΔT) 的水平距离
(D)变化(雾凉季)

Fig. 2 Variation in daily range of air temperature (ΔT) with distance from forest edge (D) in cool-foggy season
1. 城子 Chengzi 2. 曼养广 Manyangguang
3. 曼娥 Man'e

气温日较差(ΔT)与距离(D)之间线性关系如下:

城 子:	$T_{\max} = 21.9414 - 0.0398D$	$R = -0.8238, n = 8$
	$\Delta T = 7.1475 - 0.0483D$	$R = -0.8238, n = 8$
曼养广:	$T_{\max} = 19.3974 - 0.0791D$	$R = -0.9595, n = 8$
	$\Delta T = 10.8399 - 0.0483D$	$R = -0.9559, n = 8$
曼 娥:	$T_{\max} = 21.9944 - 0.0561D$	$R = -0.6560, n = 12$
	$\Delta T = 10.4549 - 0.0609D$	$R = -0.6914, n = 12$

2.2.2 相对湿度

在林外, 愈近林缘相对湿度愈大, 其相对湿度递增率, 曼娥 $0.5\%/10\text{m}$, 曼养广 $1.9\%/10\text{m}$, 城子高达 $2.7\%/10\text{m}$ 。在林内, 相对湿度递增率减小, 曼娥、曼养广和城子分别为 $0.6\%/10\text{m}$ 、 $0.9\%/10\text{m}$ 和 $0\%/10\text{m}$ (图3)。据分析, 平均相对湿度(RH, %)与距离(D, m)之间具有下列线性关系: 城 子: $RH = 90.5149 + 0.0702D$ $R = 0.6825, n = 8$

曼养广: $RH = 82.2652 + 0.1743D$ $R = 0.9521, n = 8$

曼 娥: $RH = 83.9191 + 0.0588D$ $R = 0.8575, n = 12$

2.2.3 相对光强

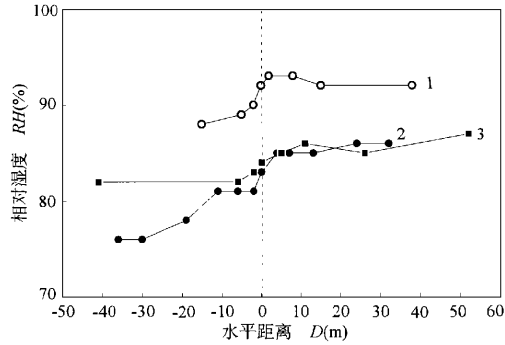


图3 昼平均相对湿度(RH)的水平
距离(D)变化(雾凉季)

Fig. 3 Variation in average day-time relative humidity (RH) with distance from forest edge(D) in cool-foggy season 1. 城子 Chengzi 2. 曼养广 Manyangguang 3. 曼娥 Man'e

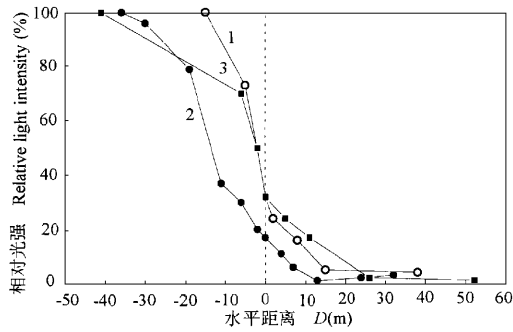


图4 相对光强的水平距离(D)变化(雾凉季)

Fig. 4 Variation in relative light intensity with distance from forest edge (D) in cool-foggy season 1. 城子 Chengzi 2. 曼养广 Manyangguang 3. 曼娥 Man'e

以各片断雨林外最远点照度为100, 则水平样带上照度百分率分布具S 曲线特征(图4)。由图4看出, 从林外至林缘相对光照强度迅减, 在林缘减至17%~32%, 其平均递减率为17%/10m~45%/10m; 从林缘至林内相对光强继续降低, 约至15m 后城子和曼养广林内光强几乎不随水平距离而变化, 而在曼娥则延伸至林内约25m 处, 相对光强才趋平缓, 其间平均递减率为10%/10m~18%/10m。从图4还可看出, 在15m 或25m 后林中光强不及林外的10%。在林内, 尤其在林缘附近, 相对光强是曼娥> 城子> 曼养广, 这反映出乔木荫蔽度以曼娥最小和曼养广最大。

2. 2. 4 气-地温差

由图5看出, 旷地地面温度高于气温而使气-地温差为负值, 变化于- 7~- 10℃之间。在城子、曼养广热带雨林片断和连续森林内, 气-地温差转为正值。在曼娥林缘附近(0~ 20m), 气-地温差仍为负值, 出现这种现象可能与其边缘乔木密度较低、太阳直射林地机会较高有联系, 另外, 林缘风速较大使湍流加强, 从而削弱林中空气温度。

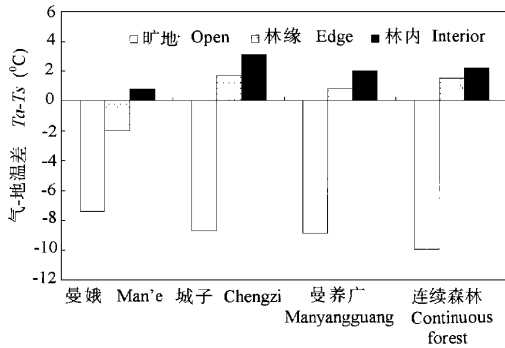


图5 旷地、林缘和林内气-地温差($T_a - T_s$)
变化特征(干热季)

Fig 5 Variation in air minus soil temperature ($T_a - T_s$) in the open, edge and tropical rain forest in dry-hot season

3 讨论

当热带森林被砍伐后, 由于林冠和地被物(林下草本、枯枝落叶等)移去, 导致近地活动面辐射特性(如反射率)以及能量和物质平衡(如太阳辐射和大气降水)发生显著改变。通常, 砍伐迹地(即旷地)接受较多直接太阳辐射和降水、失去较多长波辐射, 表现出与邻近林区相比具有较高的蒸散率。因而, 林外具多光、高温、风大和较干燥的环境特征, 并

响邻近森林边缘小环境条件, 使片断热带雨林林缘附近具较干热环境特征, 居旷地和林内之间。旷地、林缘和林内之间的小气候差异尤以最高温度、最小湿度和光照表现显著。

热带雨林片断后, 对气候的缓冲能力明显减弱, 这种减弱趋势似与森林面积有关。热带雨林片断缓冲能力的降低, 将导致林内小气候要素分配特征有别于连续森林, 并将影响森林结构及物种的组成。本研究样地之一——曼养广热带雨林片断群落结构变得不完整、植物丰富度和物种多样性降低以及生态成分变化(许再富等, 1994)正是这种变异的反映。

片断热带雨林边缘影响范围的研究结果不一。Williams-Linera(1990)在研究巴拿马热带森林边缘效应时发现, 从林缘至林中20m以后, 小气候变化不明显; 但在亚马逊流域则延伸至60m(Camargo & Kapos, 1995)。我们的研究结果指出, 从林缘至林中北向林缘15m和南向林缘25m后, 小气候要素水平变化趋缓。可以认为, 边缘影响范围随不同林缘方位而异, 因为太阳辐射是唯一热源, 辐射通量随林缘方位的变化将改变气温、土壤温度和相对湿度等其它小气候变量; 同时, 林缘形成时间也将制约边缘影响范围(Camargo & Kapos, 1995)。

在一定范围内, 林缘对林外小气候变量的影响强度大于对林内的影响, 因而林外小气候变量水平距离递增或递减率高于林内。这种水平梯度变异尤以在-10~10m范围最大。在我们观测中发现, 林窗的存在将大大降低林内小气候梯度, 如何减小这种影响而真实反映林内变化规律, 值得进一步探讨, 也许采用小样方多点小气候观测法进行加权平均加以消除较为妥当。

热带森林边缘的许多生物学特性似与上述小气候条件具良好相关性。林缘附近凋落物的分解率最快可能是由于较高地温所致, 后者加速菌类和其它分解有机物的活性, 从而有利于提高土壤肥力。林缘干热和较多光照容易使耐温耐旱高光合作用的先锋植物侵入, 从而改变植物群落结构及物种分布, 同时对昆虫活动范围也将有鲜明的影响。

由于高额仪器费限制和片断热带雨林林缘不规则, 给精确小气候数据收集工作带来诸多困难。传统上, 在研究物种分布或生态系统过程时所使用的小气候数据多为某一时段观测值, 这可能不留意地偏离原来真实数据信息, 使一些重要值掩盖掉或失去(Chen et al., 1993)。解释不同片断热带雨林和不同林缘方位小气候变量和森林结构复杂的相互作用, 尚需能量平衡的详细研究。

参 考 文 献

- 许再富、朱华、刘宏茂等, 1994: 滇南片断热带雨林植物物种多样性变化趋势, 植物资源与环境, 3(2) 9~15。
- 刘宏茂、许再富、陶国达, 1992: 西双版纳傣族“龙山”的生态学意义, 生态学杂志, 11(2) 41~43。
- 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。
- Camargo, J. L. C., 1993: Variation in soil moisture and air vapour pressure deficit relative to tropical rain forest edges near Manaus, Brazil. MPhil. Dissertation, University of Cambridge, Cambridge, U.K.
- Camargo, J. L. C., Kapos, V., 1995: Complex edge effects on soil moisture and microclimate in central Amazonian forest. *Journal of Tropical Ecology*, 11: 205~221.
- Chen J., Franklin J. F., Spies T. A., 1993: Contrasting microclimate among clearcut, edge, and interior of old-growth Douglas-fir forest. *Agric. For. Meteorol.*, 63: 219~237.
- Williams-Linera G., 1990: Vegetation structure, and environmental conditions of forest edges in Panama. *Journal of Ecology*, 78: 356~373.