

西双版纳片断化望天树林小气候边缘效应比较研究*

刘文杰 唐建维 白坤甲

(中国科学院西双版纳热带植物园热带雨林生态站, 云南勐腊 666303)

摘要 对西双版纳片断化望天树(*Shorea chinensis*)林林缘小气候的季节、水平变化进行了观测研究, 对比分析了4个不同大小雨林斑块(30 hm^2 、 25 hm^2 、 20 hm^2 、 3 hm^2)的小气候边缘效应。结果表明: 各雨林斑块林缘均存在明显的小气候边缘效应, 其中在干季晴天最为明显, 且在两个较小斑块林缘出现最高气温及气温日较差高于林外的现象; 干季, 部分林缘小气候要素(最高气温、总辐射、净辐射、最小相对湿度)林缘与林内的差值均是高于或大于雨季的相应值, 而地表最高温林缘与林内的差值则是雨季强于干季; 各斑块相比, 小气候边缘效应波及林内的深度在最大斑块达到最浅(25 m), 而在最小斑块达到最深(35 m), 呈现出小气候边缘效应及其影响深度随片断雨林斑块面积减小而增强及向林内进一步延伸的趋势。

关键词 小气候边缘效应 片断化望天树林 西双版纳

MICROCLIMATE EDGE EFFECTS WITHIN AND BETWEEN SHOREA CHINENSIS FOREST FRAGMENTS IN XISHUANGBANNA

LIU Wen-Jie TANG Jian-Wei and BAI Kun-Jia

(Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, the Chinese Academy of Sciences, Mengla, Yunnan 666303)

Abstract Small tropical rainforest remnants are the primary landscape elements in the Xishuangbanna region of southwest China. Microclimate data on this forest landscape is useful both for ecological research and resources management purposes. In this paper, seasonal and horizontal variation in microclimatic elements were recorded in transects passing from the open to the interior of four different sized forest patches (30 hm^2 , 25 hm^2 , 20 hm^2 , and 3 hm^2). The tropical rainforest of these fragments was dominated by *Shorea chinensis*, an important *Dipterocarpus* of the region. In each transect the following variables were measured: total radiation, net radiation, light intensity, air temperature, soil temperature, air relative humidity, and wind velocity. Under both clear and cloudy sky conditions and in both dry and rainy seasons, daily differences of all variables were consistently lower in forest interiors than those in the edge and open, with the most obvious differences found in the largest fragments. Variation in air temperature just inside edges was complex. Higher values were in edges than in the open under dry season clear skies in the two smaller fragments, while lower values were found under cloudy sky conditions at all times in the bigger fragments. This study has shown that microclimatic edge effects, including elevated air and soil temperatures, increased light intensity and decreased air relative humidity, can penetrate 25 m and 35 m into forest patches from edges in both the biggest (30 hm^2) and smallest (3 hm^2) fragments under dry and rainy seasons, respectively. A strong trend for increased edge effects with decreasing size of forest fragments was also clear.

Key words Microclimatic edge effects, *Shorea chinensis* forest fragmentation, Xishuangbanna

森林皆伐和连续森林的片断化在世界范围内不断扩大, 尤其是在热带雨林地区(Sunder *et al*,

* 收稿日期: 2000-10-31 接受日期: 2001-04-24

基金项目: 国家自然科学基金(39800024)和云南省应用基础研究基金(98C029Q)

E-mail: stznet@public.km.yn.cn

1991; Turton & Freiburger, 1997; Lovejoy & Oren, 1981; Skole & Tucker, 1993)。森林片断化引起的主要变化之一是暴露在其它生境中的边缘比例增加(Kapos et al., 1997), 且在保留森林中的影响深度不断扩大(Chen et al., 1993a)。这种被突然过渡而隔离的相邻生态系统相互作用就产生了边缘效应(Murcia, 1995; Chen et al., 1993a)。边缘效应的存在, 严重影响了森林所塑造的物理环境及生物进程(Chen et al., 1993a), 使森林从内向外产生生境梯度, 原有生境质量下降, 导致某些生物灭绝, 生物多样性明显降低(Turton & Freiburger, 1997; William s-Linera, 1990; 许再富等, 1994)。

暴露在农田中的片断森林其边缘在太阳辐射、气温、地温、风、水分及养分结构等方面表现出与原来连续森林的极大不同(Turton & Freiburger, 1997), 而这些环境因子又是光合作用、有机物分解、养分循环等诸多生物进程的主要驱动力, 因此, 林缘小气候要素时空变化的研究对于深入研究片断化森林中植物反映、植物分布及生物多样性变化等都是至关重要的(Kapos et al., 1997)。大量的研究表明, 林缘与原来的生境相比, 其接受的太阳辐射增加, 白天温度升高, 相对湿度降低(Brown, 1993; Chen et al., 1999; 1993 a; 1993 b; Camargo & Kapos, 1995; Carlson & Groot, 1997; 马友鑫等, 1998; 张一平等, 2000), 冠面反射率改变, 夜间长波辐射增加, 地表温度日较差变大(Sunder, 1991; 刘文杰等, 2000), 风速增大因而蒸发散明显增强(Runney et al., 1981; Kapos, 1989)。林缘附近林下小气候由原来的阴凉、湿润转向干热(William s-Linera, 1990)。但是, 小气候边缘效应向林内波及的深度则是众说不一, 例如: Kapos(1989)在亚马逊热带森林测定的波及深度可达60 m; 而William s-Linera(1990)在巴拿马热带山地雨林深入20 m已发现没有明显的小气候水平差异; 马友鑫等(1998)对西双版纳片断热带雨林研究表明, 南向林缘可波及25 m, 北向林缘波及15 m; 张一平等对热带橡胶人工林的研究发现, 边缘效应可深入林内13 m; 而在一些研究中, 却没有发现明显的小气候梯度(Matlack, 1993)。因此, 试图用单一模式分析林缘效应显然是不明智的, 因为在所有可能的条件下, 不同边缘有不同的相互作用(Turton & Freiburger, 1997)。并且, 片断森林大小、形状及边缘年龄、方位、地势等均可

影响小气候边缘效应的强度(Camargo & Kapos, 1995; Murcia, 1995; Kapos, 1989; Kapos et al., 1997; Matlack, 1993)。

针对国家一级保护植物望天树(*S Shorea chinensis*)为上层优势种的望天树热带雨林群落, 选择4块有代表性的片断化雨林斑块, 进行小气候边缘效应的观测比较研究, 试图回答以下问题: 1)各片断雨林的小气候边缘效应是否均明显与其强度有差别? 2)小气候边缘效应向林内所波及的深度各有多深? 3)干季和雨季小气候边缘效应的强度是否有差别? 4)小气候边缘效应随片断雨林面积大小如何变化?

1 样地自然环境与群落结构特征

西双版纳(21°09'~22°36' N, 99°58'~101°30' E)位于云南省南部, 属北热带西南季风气候。一年中有干季(雾凉季11~2月和干热季3~4月)和雨季之分(张克映, 1963)。与世界热带雨林分布的主要地区相比, 本区纬度偏北、海拔偏高、气候偏干, 表现为热量偏低、年和日温差偏大、降雨偏少及降雨季节变化明显。样地所在区年平均气温21.1℃, 相对湿度87%, 年均风速0.5 m·s⁻¹, 年降雨量1500~1600 mm, 主要分布在雨季(占83%), 干季仅占17%, 但干季多大雾、重露(热带雨林覆盖区几乎天天出现), 部分弥补了干季降水的不足(刘文杰等, 2000)。

望天树林主要分布在勐腊县东南部的南沙河、南腊河等河谷及两侧沟谷湿润处至山坡下部, 呈破碎的条状和块状分布在约50 km²的范围内, 总面积不到800 hm², 分布海拔600~950 m。该群落属于热带北缘季节雨林, 其性质与特点不同于中国热带地区的各种雨林, 是一种最接近湿润雨林的季节雨林(朱华, 1992)。该群落上层优势种为望天树(高40~60 m), 中层树种主要有小叶藤黄(*Garcinia cowa*)等(高8~30 m), 下层主要树种有三桠果(*Baccaurea ramiflora*)等(高6~20 m)。其中林冠不连续的望天树可高出下层林冠20~30 m, 成为超冠层树(Emergent)。群落结构特征详见文献(朱华, 1992)。

观测样地设在补蚌望天树保护区(21°29' N, 101°34' E)内, 所选的4块片断雨林分布于不到20 km²范围内, 均为农田所包围。样地基本情况如表1所示。

表1 样地基本情况

Table 1 Conditions of study plots

测点位置 Plot location	海拔 Altitude (m)	面积 Area (hm ²)	群落总盖度(%) Total coverage	群落高度 Height (m)	测点坡向 Slope orientation	测点坡度 Slope angle
帮松箐 Bangsongqing	645	30	85	45	SE	20°
广纳里 Guangnali	660	25	85	45	SW	25°
回都河 Huiduhe	610	20	75	40	SW	20°
南沙河 Nanshahe	575	3	70	40	SSE	15°

2 研究方法

在各雨林斑块林外 25 m、林缘、林内 50 m 处距地表 1.5 m 分别安置一套 TR-71 型自记温湿度计(日本 TAND 株式会社生产)及地下安置一支 20 cm 曲管温度表, 测定气温、湿度及地温的水平变化; 同时测定 1.5 m 高处风速(DEM 6 轻便风速表, 天津气象海洋仪器厂生产)、太阳总辐射及地表净辐射(TBQ-31 管状总表及 TBB-1 净表, 锦州 322 研究所生产)。由林外 25 m 至林内 50 m, 每隔 5 m 间距安置 2 套最高、最低温度表及 1 套干湿球温度表, 分别测定地表、1.5 m 处最高、最低温度及相对湿度; 同时用照度计(德国 GOSS 公司生产)测定 1.5 m 高处照度。以上观测选择在 1999 年雨季 5 月 31 日~6 月 9 日及干季 11 月 28 日~12 月 12 日共计 25 d, 其中干季晴、阴天分别为 11 d、4 d, 雨季分别为 6 d,

4 d。人工观测项目每小时观测 1 次, 自记项目 10 min 采集 1 次数据。

3 结果

3.1 干季和雨季林外、林缘、林内小气候要素的对比

3.1.1 气温和地温

干季各雨林斑块林外、林缘、林内气温日较差(ΔT_a)及标准误差如图 1。各雨林斑块均是林内的 T_a 最小, 其中以最小斑块样地 4(南沙河)的最大, 最大斑块样地 1(帮松箐)的最小; 林缘的 T_a 在样地 1、样地 2(广纳里, 次大斑块)均小于林外, 而在样地 3(回都河, 次小斑块)、样地 4 则均大于林外, 以样地 4 的最明显(林缘 T_a 高出林外 1.6), 呈现出 T_a 随斑块面积减小而增大的趋势。同时由其误差线可看出, 林缘 T_a 的变动性也较林外、林内的大。在干季和雨季的晴、阴天, 这种效应的表现程度不尽相同。以样地 4 为例(表 2), 干季阴天林缘最高气温低于林外, 晴天则高于林外; 而雨季晴、阴天林缘均低于林外, 表现出干季晴天林缘具有较明显的增温效应。表 2 还表明, 干季和雨季晴、阴天林缘最低气温均小于或等于林内的值, 而大于林外。干季与雨季相比, 林外、林缘、林内的 T_a 均是前者小于后者。干季和雨季林外、林缘和林内的这种温度差别, 在中午前后(12 00~15 00)表现最强, 其它时间则较弱。

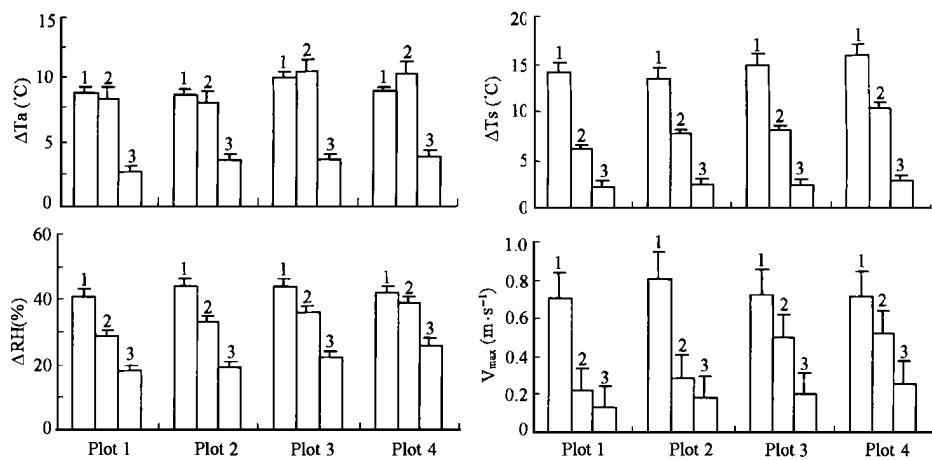


图 1 各片断雨林林缘附近气温日较差(T_a)、地面温度日较差(T_s)、相对湿度日较差(RH)和最大风速(V_{max})及其误差线比较(1999年11月28日~12月12日)

Fig. 1 Daily differences of air temperature (T_a), ground surface temperature (T_s), relative humidity (RH), and maximum wind velocity (V_{max}) and their standard errors in the open, edge and interior forest over 15 days measurement period from 28 Nov. to 12 Dec. 1999

Plot 1: 帮松箐 Bangsongqing Plot 2: 广纳里 Guangnali Plot 3: 回都河 Huiduhe Plot 4: 南沙河 Nanshahe 1. 林外 Open 2. 林缘 Edge 3. 林内 Interior

表2 干季和雨季不同天气下林缘附近极端气温(T_a)、地表温(T_s)、相对湿度(RH)及20 cm 平均地温(T_{s20}) (南沙河)

Table 2 Extreme air temperature (T_a), soil surface temperature (T_s), relative humidity (RH), and mean soil temperature of 20 cm depth (T_{s20}) at the edge relative to the interior forest under two weather conditions (clear and cloudy) in dry and rainy seasons in Nanshahe

季节 Season	天气状况 Weather condition	位置 Location	T_a ()		T_s ()		RH (%)		T_{s20} ()
			Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	
干季 Dry season	晴天 Clear	林外 Open	22.0	12.7	29.1	14.2	100	58	18.8
		林缘 Edge	23.4	13.0	24.8	14.3	100	61	18.9
		林内 Interior	17.2	13.2	17.3	14.3	100	74	17.3
	阴天 Cloudy	林外 Open	18.0	11.8	23.6	14.0	95	65	17.8
		林缘 Edge	17.8	11.9	19.4	14.0	98	71	17.5
		林内 Interior	17.0	11.9	17.0	14.1	98	79	17.1
雨季 Rainy season	晴天 Clear	林外 Open	35.7	20.5	49.7	23.7	100	69	28.6
		林缘 Edge	34.2	20.6	41.2	23.9	100	78	27.5
		林内 Interior	31.2	20.8	28.2	23.9	100	86	23.9
	阴天 Cloudy	林外 Open	30.7	20.9	35.7	22.1	98	75	25.1
		林缘 Edge	30.2	20.9	27.4	22.3	98	82	23.7
		林内 Interior	27.6	21.1	25.8	22.3	98	87	23.2

Max.: 极端最高 Extreme maximum Min.: 极端最低 Extreme minimum

地面温度变化与气温不同(图1), 各斑块由林外、林缘、林内的地面温度日较差(T_s)依次减小, 其中以样地1的减小最明显, 且林缘及林内 T_s 随雨林斑块面积减小而呈增大的趋势; 图中误差线表明, 地面温度以林外的变动性较强。仍以样地4为例(表2), 干季和雨季晴天林外、林缘、林内地面最高、最低温度分别高于干季和雨季阴天的相应值; 地面最低温度无论干季或雨季、晴天或阴天, 均是林内的最高。 20 cm 日平均地温呈现相似的变化规律, 即 T_{s20} 晴天高于阴天、林外高于林缘和林内。

3.1.2 空气相对湿度和风速

图1表明, 干季各斑块均是林外的相对湿度日较差(RH)最大、林内的最小, 其中以样地1的RH减小最明显, 也即样地1的林缘RH变化最强; 各斑块相比, 林缘、林内RH随斑块面积减小而呈增大趋势(向干燥转化)。以样地4为例(表2), 干季和雨季晴天林外、林缘、林内最低RH分别依次低于阴天的相应值, 其中以干季最明显; 干季和雨季阴天林外最高RH均是略低于或等于林内的值, 但晴天两者均达到了100%, 且林内、外无区别。

风速的变动性虽然很大, 但各雨林斑块林缘、林内最大风速(V_{max})仍呈现出 V_{max} 随斑块面积减小而呈增大趋势(图1), 也即随着斑块面积的减小, 其对风的阻挡减弱。

3.1.3 总辐射、净辐射和光照

以最小斑块样地4为例(图2), 干季和雨季晴

天林缘、林内总辐射均受到了很大的削弱, 以雨季削弱较明显, 这可能与干季群落内部分植物的部分落叶有关。干季和雨季林外、林缘和林内总辐射差异, 在中午前后(12 00~15 00)较大, 其它时间则较小。干季林缘、林内的最大总辐射分别为林外的52%、9%, 雨季相应分别为37%、4%(图2 a, b)。干季阴天和雨季阴天林缘、林内最大总辐射与林外的比值差别很小, 这与阴天总辐射中散射光占有较大比例有关。

净辐射与总辐射具有相似的变化规律(图2 c, d), 干季林缘、林内最大净辐射分别为林外的40%、8%, 雨季相应分别为31%、6%, 且林外、林缘和林内净辐射在中午前后(12 00~15 00)呈现较大差异。

3.2 林外至林内小气候要素的水平距离变化

由图3可看出, 林缘最高气温($T_{a\max}$)在较小的两个斑块(南沙河、回都河)均高于林外, 同样呈现出林缘 T_a 随斑块面积减小而增大的趋势; 各斑块林缘至林内 $T_{a\max}$ 均是逐渐降低并趋于稳定, 其中以最大斑块降低的最快(约25 m 趋于稳定), 最小斑块的降低最慢(约35 m 处稳定)。但次大斑块(广纳里)在伸至林内30 m 趋于稳定, 次小斑块达35 m。

图3表明, 各斑块林外至林内空气最小相对湿度(RH_{min})基本呈逐渐增高的趋势, 其中以最大斑块表现最为明显, 最小斑块最弱; 次大斑块与最大斑块变化形式相近(林内25 m 基本趋于稳定), 次小斑

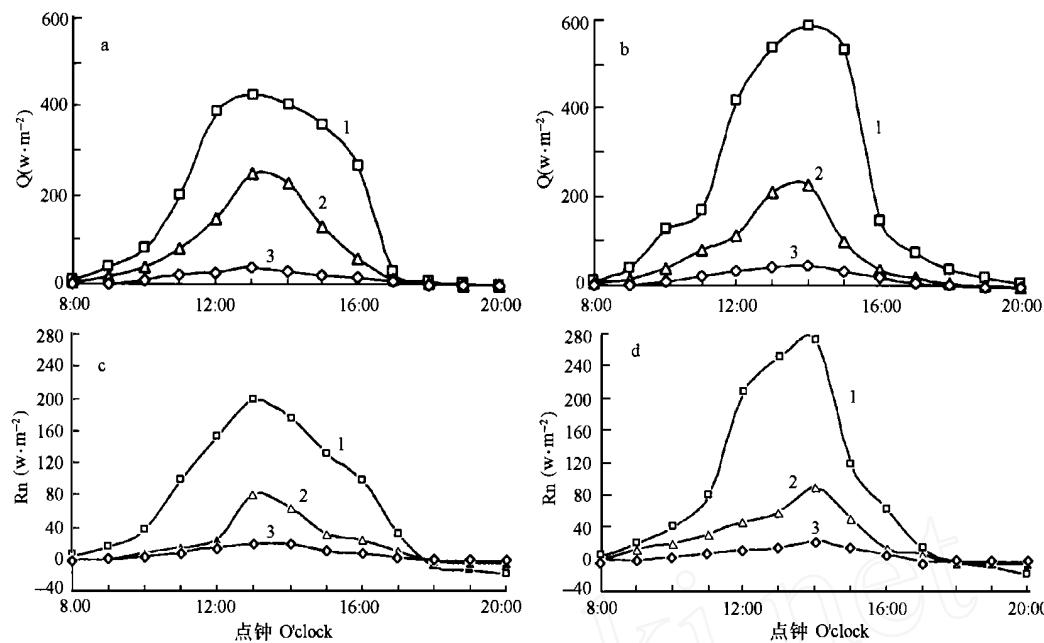


图2 林缘附近晴天总辐射(Q)及净辐射(R_n)日进程(1999年干季12月8日,雨季6月6日)(南沙河)

Fig. 2 Variation of gross radiation (Q) and net radiation (R_n) in the open, edge, and interior forest by the daylight under clear sky, on 8 Dec. and 6 July, 1999 in Nanshahe

a, c: 干季 Dry season b, d: 雨季 Rainy season 1. 林外 Open forest 2. 林缘 Edge forest 3. 林内 Interior forest

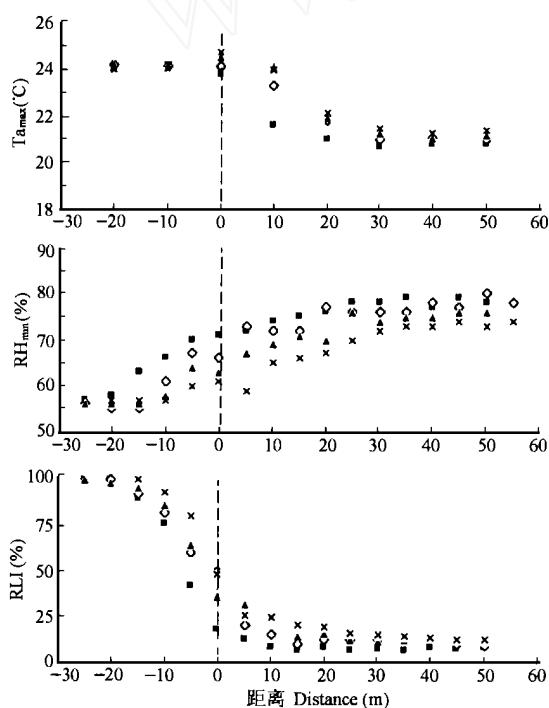


图3 各片断雨林林缘附近平均最高气温(T_{max})、最小相对湿度(RH_{min})及相对光强(RLI)由林外至林内的水平距离变化(1999年12月1~8日)

Fig. 3 Variation of mean maximum air temperature (T_{max}), minimum relative humidity (RH_{min}), and relative light intensity (RLI) with distance from the forest edge during 1~8 Dec., 1999

p1: 帮松箐 Bangsongqing p2: 广纳里 Guangnali p3: 回都河 Huiduhe p4: 南沙河 Nanshahe p1 p2 p3 × p4

块与最小斑块相近(林内 35 m 稳定)。

相对光强(RLI)的水平距离变化如图3,各斑块 RLI 均是由林外至林内逐渐降低,其中同样以最大斑块 RLI 降低最快,最小斑块降低最慢; RLI 在林内趋于稳定的深度,最大斑块至林内 25 m,最小斑块至林内 35 m。

同时由观测发现,雨季 T_{max} 、 RH_{min} 及 RLI 至林内趋于稳定的深度与干季相似,只是趋于稳定的值与干季不同而已。

4 结论与讨论

4.1 结论

1) 各片断雨林斑块边缘均存在着明显的小气候边缘效应,林缘气温及日较差、地表温及日较差、相对湿度日较差、最大风速、总辐射和净辐射等均较林内的高或大,其中干季较小的两个斑块林缘最高气温及其日较差还高于林外,呈现出较强的边缘增温效应。

2) 干季部分小气候要素如最高、最低气温林缘与林内的差别、总辐射及净辐射林缘与林内的差别、最小相对湿度林缘与林内的差别均是高于或大于雨季的相应值,而部分小气候要素如地表最高温度林缘与林内的差别则是雨季强于干季。

3) 各雨林斑块小气候边缘效应相比,以最大斑

块波及林内的深度最浅(约至林内 25 m)、最小斑块波及林内的深度最深(约至林内 35 m),呈现出小气候边缘效应及其波及深度随片断化雨林斑块面积的减小而增强及加深的趋势,也即随着片断化雨林斑块面积的减小,林缘附近林下小气候向干热转化及其波及深度具有向林内进一步延伸的趋势。

4.2 讨论

通过对 4 个不同斑块的边缘小气候测定,本研究再次证实了片断化雨林小气候边缘效应的普遍存在,即林缘附近接收的太阳辐射增加、温度升高及日较差增大(空气、地面)、相对湿度降低、风速增强等,且小气候边缘效应及其波及深度随片断化雨林斑块面积的减小而呈增强及加深的趋势。此结果与 Matlack (1993)、Chen 等 (1999)、Carlson 和 Groot (1997)、Turton 和 Freiburger (1997)、马友鑫等 (1998)、张一平等 (2000) 的研究结果部分相同。Turton 和 Freiburger (1997) 通过对澳大利亚东部一个片断雨林的研究发现,在干、湿两种条件下,小气候边缘效应均可波及到林内 30 m 处,这与 Kapos (1989) 在巴拿马测定的 20 m、马友鑫等在西双版纳测定的 15~25 m 及本研究结果(25~35 m)较为相近,但 William Skinner (1990) 在亚马逊流域测定结果为 60 m。对以上小气候边缘效应影响范围的不同,似乎也没有必要过多争议,因为片断森林的植被结构、面积、形状及林缘年龄、方位、地势、周围基质类型等均可或大或小地影响这一效应的延伸(Camargo & Kapos, 1995; Kapos, 1989; Murcia, 1995; Matlack, 1993)。其中林缘方位和地势是较为重要的两个因素,因为它们决定了太阳辐射量的大小,从而决定了边缘效应的强弱(Turton & Freiburger, 1997)。由于受仪器数量的限制,本研究并未对同一斑块不同方位的林缘进行测定,但马友鑫等 (1998) 对本区热带雨林片断化后的边缘效应研究指出,南向林缘波及的深度明显大于北向林缘(前者为 25 m, 后者为 15 m)。地势则是通过影响照到林内的入射光而影响边缘效应的(Murcia, 1995)。本研究指出,干季部分林缘小气候要素(气温、地温、辐射等)林缘与林内的差别明显高于雨季的相应值,这无疑与所选的 4 个斑块林缘方位、地势有关,因为所选斑块都为偏南向坡(偏南向坡干季接收的太阳辐射相对较强)。我们干季在最小两个斑块林缘测到气温日较差及最高气温可高出林外,Chen 等 (1993a) 的研究也表明了这一现象的存在。本研究还指出,林缘土壤温度与林内的差值在雨季明显高于

干季(表 2),这种趋势或许对林缘附近土壤中微生物活性及种子的萌发率具有一定的指示作用。由于所选 4 个斑块不断受到农田的吞噬而向林内推进,因而很难确定林缘年龄,故本研究未加考虑,尚需进一步的研究。

总之,林缘的小气候条件具有由阴凉向干热转化的趋势,由此导致林缘许多生物学特性的改变如林缘附近凋落物分解加快、先锋植物成分的增多等(Chen et al., 1993a; 曹敏等, 2000)。林缘附近生物学特性的变化反过来又改变着林缘小气候条件。因此,由边缘导致的生物和非生物效应不是孤立存在的,而是相互制约、相互影响的,其中前者是后者发生前提和驱动力,后者反过来又影响前者(Murcia, 1995)。其最终结果将会通过影响植物、动物及微生物而使片断化雨林生态系统的结构和功能发生变化(Murcia, 1995; 许再富等, 1994),并随雨林斑块的进一步支离破碎,进而使其恢复与重建极其困难或不可能。

参 考 文 献

- Brown, N. 1993. The implications of climate and gap microclimate for seedling growth conditions in a Bornean low land rainforest. *Journal of Tropical Ecology*, **9**: 153~168.
- Camargo, J. L. C. & V. Kapos. 1995. Complex edge effects on soil moisture and microclimate in Central Amazonian forest. *Journal of Tropical Ecology*, **11**: 205~221.
- Cao, M. (曹敏), X. H. Fu (付先惠), Y. G. Yang (杨一光), Y. Tang (唐勇) & Y. T. He (何永涛). 2000. Patch dynamics in tropical forest and the maintenance of tree species diversity. *Chinese Biodiversity (生物多样性)*, **8**: 172~179. (in Chinese)
- Carlson, D. W. & A. Groot. 1997. Microclimate of clear-cut, forest interior, and small openings in trembling aspen forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, **87**: 313~329.
- Chen, J. Q., S. C. Saunders, & T. R. Crow. 1999. Microclimate in forest ecosystem and landscape ecology. *BioScience*, **49**: 288~297.
- Chen, J. Q., F. J. Franklin & T. A. Spies. 1993a. Contrasting microclimates among clear-cut, edge, and interior of old growth Douglas-fir forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, **63**: 219~237.
- Chen, J. Q., F. J. Franklin & T. A. Spies. 1993b. An empirical model for predicting diurnal air-temperature from edge into old-growth Douglas-fir forest. *Ecological Modelling*, **67**: 179~198.
- Kapos, V. 1989. Effects of isolation on the water status of forest patches in the Brazilian Amazon. *Journal of Tropical Ecology*, **5**: 173~185.
- Kapos, V., E. Wandelli, J. L. Camargo & G. Ganade. 1997. Edge-related changes in environment and plant responses due to

- forest fragmentation in Central Amazonia In: Laurance, W. F. & R. O. J. Bierregaard eds Tropical forest remnants: ecology, management and conservation of fragmented communities London: The University of Chicago Press 33~ 44
- Liu, W. J. (刘文杰), Q. J. Li (李庆军), G. M. Zhang (张光明), J. P. Shi (施济普) & K. J. Bai (白坤甲). 2000 Microclimatic characteristics of canopy gaps in *Shorea chinensis* forest in Xishuangbanna Acta Phytocologica Sinica (植物生态学报), 24: 356~ 361. (in Chinese)
- Lovejoy, T. E. & D. C. Oren. 1981 Minimum critical size of ecosystems In: Burgess, R. L. & D. M. Sharpe eds Forest island dynamics in man-dominated landscapes New York: Springer-Verlag 7~ 12
- Ma, Y. X. (马友鑫), K. Y. Zhang (张克映) & Y. H. Liu (刘玉洪). 1998 Study on microclimate edge effects of tropical rainforest fragments in Xishuangbanna Acta Phytocologica Sinica (植物生态学报), 22: 250~ 255. (in Chinese)
- Matlack, G. R. 1993 Microenvironment variation within and among forest edge sites in the eastern United States Biological Conservation, 66: 185~ 194
- Murcia, C. 1995 Edge effects in fragmented forests: implications for conservation Trends in Ecology and Evolution, 10: 58~ 62
- Ranney, J. W., M. C. Bruner & J. B. Levenson. 1981. The importance of edge in the structure and dynamics of forest islands In: Burgess, R. L. & D. M. Sharpe eds Forest island dynamics in man-dominated landscapes New York: Springer-Verlag 67~ 95
- Skole, D. & C. Tucker. 1993 Tropical deforestation and habitat fragmentation in the Amazon: satellite data from 1978 to 1988 Science, 260: 1905~ 1910
- Sunder, D. A., R. J. Hobbs & C. R. Margules. 1991. Biological consequences of ecosystem fragmentation: a review. Conservation Biology, 5: 18~ 32
- Turton, S. M. & H. J. Freiburger. 1997. Edge and aspect effects on the microclimate of a small tropical forest remnant on the Atherton Tableland, Northeastern Australia In: Laurance, W. F. & R. O. J. Bierregaard eds Tropical forest remnants: ecology, management and conservation of fragmented communities London: The University of Chicago Press 45~ 54
- Williamson, G. 1990 Vegetation structure and environmental conditions of forest edges in Panama Journal of Ecology, 78: 356 ~ 373
- Xu, Z. F. (许再富), H. Zhu (朱华) & H. M. Liu (刘宏茂). 1994 The changing tendency of plant species diversity in the fragmental tropical rainforest in southern Yunnan, China Journal of Plant Resources and Environment (植物资源与环境), 3: 9~ 15. (in Chinese)
- Zhang, K. Y. (张克映). 1963 An analysis on the characteristics and forming factors of climates in the south part of Yunnan Acta Meteorologica Sinica (气象学报), 33: 210~ 230. (in Chinese)
- Zhang, Y. P. (张一平), Y. X. Ma (马友鑫), Y. H. Liu (刘玉洪) & K. Y. Zhang (张克映). 2000 Horizontal thermal characteristics at forest edge in calm tropical region of China Chinese Journal of Applied Ecology (应用生态学报), 11: 205~ 209. (in Chinese)
- Zhu, H. (朱华). 1992 Research of community ecology on *Shorea chinensis* forest in Xishuangbanna Acta Botanica Yunnanica (云南植物研究), 15: 34~ 46. (in Chinese)

责任编辑: 刘世荣 责任编辑: 张丽赫

(上接 640 页)

- Pare, P. W. & J. H. Tunlinson. 1997. Induced synthesis of plant volatiles Nature, 385: 30~ 31.
- Ronald, B. 1999. Secondary metabolite biosynthesis: the first century. Critical Reviews in Biotechnology, 19: 1~ 40
- Shelton, A. L. 2000 Variable chemical defences in plants and their effects on herbivore behaviour Evolutionary Ecology Research, 2: 231~ 249.
- Stout, M. J., R. A. Brovont & S. S. Duffy. 1998 Effect of nitrogen availability on expression of constitutive and inducible chemical defenses in tomato, *Lycopersicon esculentum*. Journal of Chemical Ecology, 24: 945~ 963
- Sun, J. M. (孙君明) & A. L. Ding (丁安林). 1997. Effects of geographical conditions on the accumulation of isoflavones in soybean seeds Soybean Science(大豆科学), 16: 298~ 303. (in Chinese)
- Sun, J. M. (孙君明), A. L. Ding (丁安林) & L. M. Shen (沈黎明). 1998 Light effect on the tissue contents and distribution of isoflavones in the developing seedling of soybean Acta Botanica

Sinica (植物学报), 40: 1015~ 1021. (in Chinese)

- Sun, S. (孙视), W. G. Liu (刘晚苟), F. S. Pan (潘福生), Z. J. Pang (庞自洁) & S. A. He (贺善安). 1998 The effect of ecological conditions on flavonoid accumulation in *Ginkgo biloba* leaves Journal of Plant Resources and Environment (植物资源与环境), 7 (3): 1~ 7. (in Chinese)
- Wink, M. 1999a Biochemistry of plant secondary metabolism. Annual plant reviews Vol. 2 Boca Raton: CRC Press
- Wink, M. 1999b Functions of plant secondary metabolites and their exploitation in biotechnology Annual plant reviews Vol. 3 Boca Raton: CRC Press
- Zhang, K. J. (张康健), Y. Q. Wang (王亚琴), X. H. Ma (马希汉), L. Wang (王蓝) & T. Zhang (张檀). 1999. An ecological study on secondary metabolites of the leaves of *Eucamptia ulmoides* Scientia Silvae Sinicae (林业科学), 35(6): 28~ 34. (in Chinese)

责任编辑: 周玉荣