

# 热带次生林林窗边缘树干表面温度时空分布特征<sup>X</sup>



张一平 王进欣 马友鑫 刘玉洪

(中国科学院西双版纳热带植物园森林生态研究室 昆明 650223)

**摘要** 利用热带次生林林窗区域树干和树冠下的表面温度观测资料,探讨了昼间林窗边缘和林内的树干表面温度时空分布规律,以及林窗边缘与林内树干的表面温度差异。指出在林窗区域存在 4 个热力作用面(林冠面、林内地面、林窗林缘壁面和林窗地面),受太阳直接照射的东侧和北侧林壁是林窗最主要的热力作用面;4 个热力作用面的热力特征和相互作用制约了林窗的热力变化。其结果可为进一步研究林窗小气候形成机制提供研究基础,并为研究林窗的演替、更新以及对生物多样性影响提供科学依据。

**关键词** 林窗;林缘;林墙;表面温度;热力作用面

中图分类号 S718

文献标识码 A

文章编号 1000- 2006(1999)06- 0023- 06

## Spatial-temporal Characteristics of Boles Surface Temperature at the Edge of Canopy Gap in Tropical Secondary Forest

Zhang Yiping Wang Jinxin Ma Youxing Liu Yuhong

(Xishuangbanna Tropical Botanic Garden CAS Kunming 650223)

**Abstract** Microclimatic measurements were conducted near to the edge of secondary forest canopy gap in Xishuangbanna, Yunnan province in Jan. 1999. The daytime spatial-temporal characteristics of boles surface temperature at the edge of canopy gap and the interior of secondary forest and the thermal characteristics were discussed. Spatial-temporal changes in surface temperature and its differences between the edge of canopy gap and the interior of forest were also analyzed. The findings show that there are four thermal active surfaces on the vicinage of canopy gap, they are canopy surfaces, soil surface on the interior of forest, woody wall surface of edge and soil surface on the gap. The woody wall surface of edge on the East and North are a key thermal active surface of the canopy gap and the thermal variation were controlled by the thermal characteristics of four active surfaces and the interaction. The results provide a research basis for understanding microclimatic formation of canopy gap, and for studying impacts of forest fragmentation on biodiversity.

**Key words** Canopy gap; Edge of forest; Woody wall; Surface temperature; Thermal active surface

X 收稿日期 1999- 02- 27 修改稿收到日期 1999- 09- 03

\* 云南省自然科学基金(No. 98C098M)、中国自然科学基金(No. 39770141)、中国科学院/院长基金0和国家人事部/非教育系统留学回国人员科技活动择优资助经费0资助项目的部分研究结果

第一作者简介:张一平,男,中国科学院西双版纳热带植物园森林生态研究室副主任,研究员,博士。

森林群落演替更新作为生态学研究的核心问题,一直是研究热点,其中林窗和林缘的环境变化程度直接影响到顶极森林的结构、种类组成和种群动态。对于世界范围内的各种森林类型的更新和演替均有重要作用<sup>[1]</sup>,而在热带雨林中的作用更加显著和重要<sup>[2]</sup>,因此,国外学者十分重视林窗和林缘的环境变化对森林生态环境异质性的影响<sup>[3~5]</sup>。

国内林窗和林缘研究领域的研究近年已有不少报道,除综述性<sup>[6~8]</sup>之外,对林窗、林缘的特征也进行了探讨<sup>[9]</sup>,但对环境的影响效应研究为数不多<sup>[10,11]</sup>,对林窗边缘不同热力作用面的热力特征的时空分布研究尚不多见。

在林窗区域,由于不同热力作用面(林冠面、林缘林墙壁面和地面等)的热力时空分布,将影响森林群落与林窗空地之间热量和水汽等的水平输送和垂直扩散,所以探讨林窗不同热力作用面的热力时空分布特征,对于把握林窗小气候形成原因以及深入开展林窗研究都是十分重要的。

笔者根据1999年1月在西双版纳地区次生林林窗小气候观测资料,试对林窗区域的各热力作用面的热力时空分布特征进行分析,为进一步探讨林窗局地小环流、林窗小气候形成机制和林窗生物多样性等提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究地概况

观测样地在云南省西双版纳州勐仑镇(101b15cE, 21b55cN, 海拔580 m),为砍伐原始雨林种植农作物后于1970年撂荒形成的次生林。面积约为10 hm<sup>2</sup>,东西向分布,其南侧有橡胶林,北侧有沟谷雨林,整体处于连片森林中。群落结构复杂,成层现象明显,可划分为乔木层、灌木层、草本层及层间植物四个层次,群落高度10~16 m,枝下高8~12 m,平均胸径7.15~8.5 cm;乔木层主要有白背桐(*Mallotus paniculatus*)、大叶藤黄(*Garcinia xanthochymus*)、川楝(*Melia toosenden*)、鸡血藤(*Millettia leptobotrya* Dunn)等;灌木层主要有窄序岩豆藤(*Millettia leptobotrya*)、笔官榕(*Ficus superba* var. *japonica*)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*)等。

### 1.2 研究方法

样地林窗形成于1993年(图1),在1998年12月对林窗内的植物进行了清伐。图中内圈线为林窗边缘(林缘树冠垂线处),外圈线为扩展林窗边缘(林缘树干处);该林窗为南北侧长(约10 m),东植向窄(约6 m)的长型林窗;北侧和东北侧的林冠冠幅(约5 m)较大,其它各侧的冠幅较小(约在2~3 m)。实际林窗面积约51 m<sup>2</sup>;扩展林窗面积约199 m<sup>2</sup>。

在林窗中沿S)N、E)W、SE)NW、SW)NE设置4条观测样线,每条样线设置7个观测点,考虑到边缘效应的作用,观测点为不等距分布,分别位于林窗中央、林缘树冠垂线处、林缘树干处和林内。观测要素为地上115 m高处最高、最低气温和气温,光照以及地面温度;在林窗边缘的东(E)、南(S)、西(W)、北(N)侧(以林窗中央为基准,下同)和林内观测了树干的的不同高度(0、0.15、1、2、4、8、12、16 m)和树冠下方(Cp)的表面温度(红外辐射温度计,COM2 PAC3,日本国Minolta株式会社)。观测在1999年1月22~27日昼间进行间隔1 h的小气候观测,观测

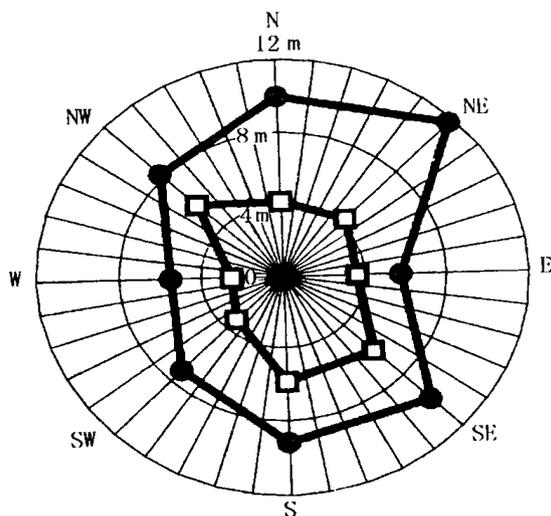


图1 次生林窗轮廓

Fig. 1 The outline of secondary forest gap

N: 北; E: 东; S: 南; W: 西

NE: 东北; SE: 东南; SW: 西南; NW: 西北

) t) 林窗边缘; ) p) 扩展林窗边缘

期间天气晴好, 由观测期间的总云量得知, 在上午(8~ 12时)基本上受雾笼罩, 下午(13~ 20时)为晴天。本文乃是利用不同高度树干和树冠下表面温度的观测资料, 对林窗4方位边缘不同高度的树干和树冠下表面温度进行分析所得的初步结果。

## 2 结果与分析

### 2.1 表面温度的时空变化

林窗4方位边缘不同高度表面温度的时间分布如图2所示。从整体看, 林窗各方位边缘树干表面温度受雾和太阳辐射的影响, 上、下午的分布有明显差异。上午12时前, 林窗4方位边缘各高度的表面温度均以地面(0 m)为高, 表面温度值基本上随高度增加而递减, 显示了地面的放热作用。

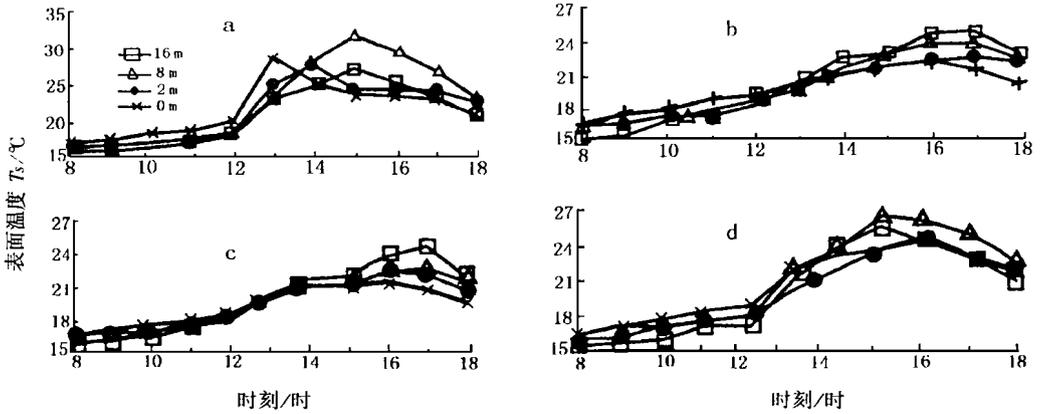


图2 林窗4方位边缘不同高度树干表面温度时间变化

Fig. 2 Variation of surface temperature of boles on different heights on 4 azimuth edge of gap  
 a) 东侧; b) 西侧; c) 南侧; d) 北侧

12时后, 雾散日出, 受太阳辐射的影响, 林窗4方位边缘不同高度表面温度的时间分布出现较大差异。林窗东侧边缘(图2a)表面温度升高最快, 而且不同高度的表面温度有着不同的变化趋势, 树干中部为表面温度高值区, 15时表面温度可达31.14 e (8 m高度)。即在林窗边缘东侧, 林缘中部的热力作用大于地面和林冠, 成为林窗东侧边缘的最大热力作用面。另外, 由于不同时刻太阳辐射直接照射的位置不同, 使得不同高度表面温度最大值出现的时刻不同, 0 m高度出现在13时(28.16 e), 2 m高度在14时(27.16 e), 而8 m和16 m高度均出现在15时(31.14 e、27.10 e)。

林窗西侧和南侧边缘(图2b, 2c), 在下午各高度树干的表面温度均有升高, 其热量主要来源于树冠上, 使得高层树干的表面温度较高, 最大值均出现在16 m高度(17时), 其值也相近(西侧24.13 e、南侧24.17 e)。

对于林窗北侧边缘(图2d), 树干表面温度的时间分布与东侧边缘有相似之处, 即树干中部温度较高, 最大值出现在8 m高度的15时(26.14 e), 但是其它高度的最大值出现时刻相近(15~ 16时), 并且时间变率也小于东侧。

次生林4方位林缘树冠下表面温度的时间分布如表1所示。上午(12时前), 各方位林缘树冠下表面温度随时间增加虽有升高, 但是增幅不大。而下午(12时后)由于雾逐渐变薄消散, 树冠上方受太阳直接辐射, 表面温度不断升高, 同时树冠下方的表面温度也逐渐增加, 特别是在15时, 东侧林缘树冠下的表面温度值为最高(27.16 e)。另外, 从下午各方位的变化情况来看, 林窗东侧和北侧边缘树冠下表面温度的增温率较大, 其中东侧的变幅最大; 而林窗南侧和西侧边缘, 树冠下表面温度的增温率较小, 最大值出现在17时。

由以上分析可以认为, 在林窗边缘的各个热力作用面(林冠面、林内地面、林缘壁面和林窗地面), 由

于受雾、太阳辐射和林缘位置的影响,不同时刻各热力作用面的作用强度不同:上午由于浓雾的影响,太阳直接辐射较小,热量主要是来自于地面的放热,地面为主要热力作用面;下午受太阳辐射直接照射较多的东侧和北侧的主要热力作用面为林缘壁面,其作用强度的顺序为:林缘壁面>林冠面>林窗地面>林内地面;而几乎没有太阳直接照射的南侧和西侧其主要热力作用面为林冠面,其作用强度的顺序为:林冠面>林缘壁面>林窗地面>林内地面。如此的热力作用效应,势必影响林窗边缘和林窗内的大气热力垂直分布,进而影响不同方位植物的生长,最终影响林窗的更新、演替。

表1 林窗4方位边缘树冠下表面温度的时间变化

Table 1 Variation of surface temperature below canopy on 4 azimuth edge of gap

方位	时 间										
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
东侧	151.3	161.0	161.3	161.7	171.9	191.7	231.6	171.6	221.8	221.9	191.0
南侧	161.0	161.1	161.9	171.8	181.4	201.4	221.4	241.2	231.9	241.2	211.8
西侧	151.4	151.6	161.4	171.7	161.9	211.0	211.9	211.9	241.6	241.6	211.9
北侧	151.4	151.7	151.8	161.7	161.1	191.8	211.7	221.4	231.3	231.7	181.4

## 21.2 林窗边缘与林内表面温度差异特征

### 21.2.1 树冠下表面温度的差异

表2给出了不同时刻林窗边缘树冠下表面温度与林内树冠下表面温度的差值。可见在上午受雾和林窗空洞散热效应综合影响,林窗边缘树冠下的表面温度增温幅度要小于林内,所以4方位边缘树冠下的表面温度均低于林内( $T_s < 0$  e);而13时后,东侧边缘树冠下的太阳辐射较强的中午14时、15时,树冠下表面温度高于林内,除此之外,其余时刻东侧边缘树冠下表面温度仍低于林内,而林窗其它方位边缘树冠下的表面温度均低于或接近林内树冠下表面温度。这显示了在树冠层下方,林内热力作用大于林窗边缘。

表2 林窗4方位边缘与林内树冠下表面温度差的时间变化

Table 2 Variation of differences of surface temperature below canopy between 4 azimuth edge of gap and the interior of forest

方位	时 间										
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
东侧	-01.56	-01.33	-01.83	-11.50	-01.78	-11.44	11.72	31.56	-11.83	-11.78	-21.22
南侧	01.11	-01.22	-01.22	-01.39	-01.22	-01.72	01.56	01.28	-01.78	-01.50	01.56
西侧	-01.44	-01.67	-01.72	-01.50	-11.78	-01.17	-01.06	-21.06	-01.06	-01.06	01.72
北侧	-01.44	-01.61	-11.33	-11.56	-21.61	-11.39	-01.22	-11.56	-11.33	-11.00	-21.83

### 21.2.2 各方位边缘不同高度与林内表面温度的差异

对于16 m高度(图3a),其分布趋势与树冠下(表2)基本相似。林窗东侧和北侧边缘,上午的表面温度均低于林内;下午14时和15时高于林内,其余时刻仍然是 $T_s < 0$  e;而南侧和西侧边缘16 m高度的树干表面温度基本上是低于或接近林内,并且,各方位的表面温度差值的时间变率下午大于上午。

对于8 m高度树干表面温度差值的时间变化(图3b)与树冠下和16 m高度有较大区别。上午(12时前),林窗边缘8 m高度树干表面温度与林内基本相近( $|T_s| < 11.0$  e);而12时后,林窗边缘8 m高度树干表面温度与林内的差异,随所处方位的不同具有较大差异。在受太阳直接辐射最多的林窗东侧边缘表面温度增温率也最大,各时刻的表面温度均高于林内,在15时达最大值(91.0 e)。北侧边缘树干表面温度虽然低于东侧边缘,但是仍然高于林内,最大差值可达31.9 e(15时)。显示了林窗的东侧和北侧边缘林墙壁面中部,具有较强的热力作用。于是,对于南侧和西侧边缘树干表面增温率较小,表面温度低于(南侧)或接近(西侧)林内。

对于林窗边缘低层(图3c、3d),表面温度差的时间变化在上午与其它高度相似,差值和变幅均较小,但是下午,林窗东侧边缘的表面温度均高于林内,并且变幅最大,2 m高度的最大差值为(61.8 e, 14时),而地面(0 m)的最大差值为(81.7 e, 13时);北侧边缘表面温度差的最大值和变幅均小于东侧边

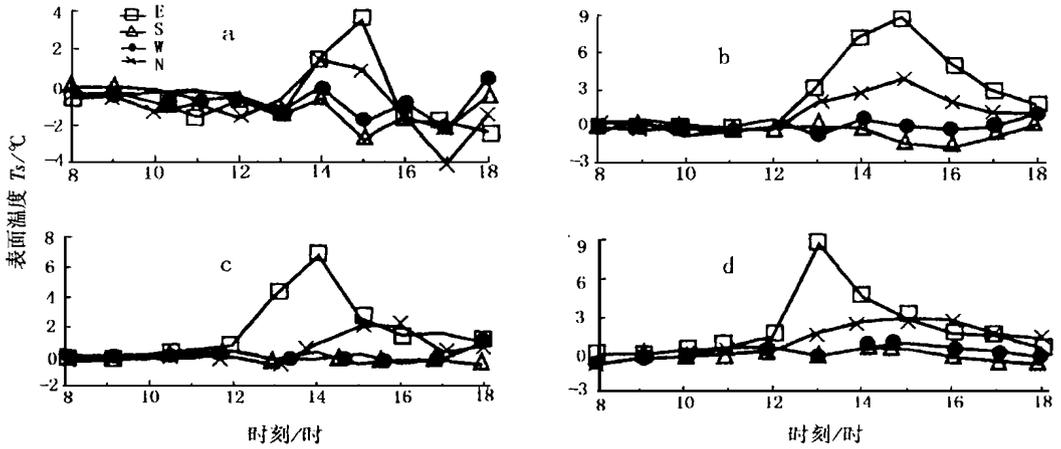


图3 林窗4方位边缘不同高度树干与林内树干的表面温度差的时间变化

Fig. 3 Variation of differences of surface temperature of boles between the different locations on 4 azimuth edge of gap and the same height in the interior of forest

a) 16 m 高度; b) 8 m 高度; c) 2 m 高度; d) 0 m 高度

缘,最大差值出现时刻也晚于林窗东侧边缘,但也大于林内,使得  $T_s < 0$ , 2 m 高度的最大差值为 212 e (16 时),而地面(0 m)的最大差值为 311 e (15 时)。对于受太阳直接辐射较小的南侧和西侧边缘低层,下午的表面温度差的分布与上午相似,表面温度的差值和变幅均较小, ( $|T_s| < 110$  e)。

另外,比较图 3,可以看出,表面温度最大差值出现时刻受太阳直接辐射的影响较大,特别是东侧边缘,从地面(0 m)到 16 m 高度,表面温度最大差值出现时刻逐渐推后,0 m 高度为 13 时,2 m 高度为 14 时,8 m 高度和 16 m 高度则出现在 15 时。

### 2.1.2.3 平均表面温度差值的分布特征

分别求算了各方位不同高度的上午(8~12 时)、下午(13~18 时)和昼间(8~18 时)的平均表面温度与林内相应位置平均表面温度的差值(表 3)。可见,在上午,各方位差值的分布趋势相似,绝大多数(除北侧树冠下)的平均表面温度差值均较小( $|T_s| < 110$  e),并且从树冠下到地面,表面温度差呈现逆转的趋势,即表面温度差由  $T_s < 0$  e 转变为  $T_s > 0$  e 或  $T_s \geq 0$  e;其中以东侧边缘最明显。

表 3 林窗 4 方位边缘与林内相同高度树干平均表面温度差的分布

Table 3 Distributions of difference of average surface temperature of boles between the different location on 4 azimuth edge of gap and the same height in forest

方位	上午				下午				昼间			
	东侧	南侧	西侧	北侧	东侧	南侧	西侧	北侧	东侧	南侧	西侧	北侧
林冠下	- 01 80	- 01 18	- 01 82	- 11 31	- 01 33	- 01 10	- 01 28	- 11 39	- 01 54	- 01 14	- 01 53	- 11 35
16 m	- 01 51	- 01 26	- 01 40	- 01 96	01 05	- 11 43	- 01 86	- 01 81	- 01 21	- 01 89	- 01 65	- 01 87
8 m	01 06	- 01 02	01 12	- 01 13	41 96	- 01 56	01 22	21 23	21 73	- 01 32	01 18	11 16
2 m	01 48	01 28	01 07	01 09	31 08	- 01 42	01 23	11 07	11 87	01 10	01 16	01 63
0 m	01 61	- 01 11	01 22	- 01 10	31 44	01 17	01 50	21 28	21 15	01 04	01 37	11 20

而下午,不同方位的表面温度差值的分布趋势差异较大,总的看来,可以分为两类。东侧和北侧林缘为一类,其分布趋势为:上部由于林窗空气的影响,表面温度小于林内相应位置( $T_s < 0$  e),以树冠下差异较大,显示了林内树冠的热力作用大于林窗边缘树冠。在林窗边缘中、下部由于受到太阳直接辐射的影响,表面温度高于林内相应位置( $T_s > 0$  e),并且在高度 8 m 处呈现最大值(东侧边缘 510 e, 北侧边缘 212 e);进一步观察,可以发现,由于地面也受到太阳辐射直接照射影响,地面附近还存在着表面温度差值的次极大值(东侧 314 e, 北侧 213 e)。由此可以认为:在林窗区域,除了林冠面、林窗地面和林内地面,林墙壁面也是主要热力作用面,即林窗区域存在 4 个(林冠面、林内地面、林缘壁面和林

窗地面),特别是在林窗东侧和北侧边缘的林缘壁面和地面起着重要的热力作用。

南侧和北侧边缘可为一类。由于处于背阴处,无太阳直接辐射,加之林窗大气的影响,除16 m高度之外,表面温度差值均较小( $|T_s| < 0.16 e$ ),但是其表面温度差呈现高层为负,低层为正的趋向,显示了林窗边缘高层受空气的影响,表面温度低于林内,而低层受林窗边缘地面的影响,表面温度高于林内的分布趋势。

昼间的平均表面温度差值的分布型(表3)与下午相似,仅是表面温度差的数值有所不同。由此可以认为,对于昼间林窗,其热力作用的主要贡献是下午的热力分布。

### 3 结 论

(1)在西双版纳林窗边缘附近,存在4个热力作用面(林内地面、林冠面、林缘壁面、林窗地面),4个热力作用面的温度差异影响着林窗的热力状况,对形成林窗小气候具有重要贡献。

(2)在4个热力作用面中,东侧和北侧的林缘林墙壁面的热力作用最为显著,不仅大于林内地表面,而且大于林外地表面,是影响林窗热力状况的主要因子。

(3)昼间由于太阳辐射对各热力作用面影响不同,林窗边缘的表面温度在不同方位间具有不同的分布型,最大值出现时刻不尽一致,特别以东侧边缘最明显,呈现随高度增加而推后的趋势。

(4)上午由于浓雾影响,基本上没有太阳辐射,林窗各方位边缘与林内相应位置的表面温度在高层和低层呈现相反结果,高层 $T_s < 0 e$ ,而低层 $T_s > 0 e$ 。下午表面温度差值分布主要分为两类,一类是受到太阳直接照射的东侧和北侧边缘,低层表面温度较高( $T_s > 0 e$ ),高度8 m附近呈现表面温度差的最大值;其次地面还有正的次极值;但在高层表面温度差低于林内相应位置。而基本受不到太阳直接照射的西侧和南侧边缘则为一类,其高层的表面温度低于林内相应的位置,且差异较大;而低层表面温度与林内相近,差异较小。

(5)林窗边缘的这种热力效应将对林窗内的小气候分布产生影响,进而影响林窗特别是林窗边缘植物的生长、发育及分布,最终影响林窗的演替、更新。

### 参 考 文 献

- 1 Platt W J, Strong D R. Special Feature 2 Gaps in canopy ecology. *Ecology*, 1989, 70
- 2 Denslow J S. Gap partitioning among tropical rain canopy trees. *Biotropica*, 1980, 12(Supplement): 47~ 55
- 3 Breshears D D, Myers O B, Johnson S R, et al. Differential use of heterogeneous soil moisture by two semiarid woody species. *Pinus edulis* and *Juniperus monosperma*. *Journal of Ecology*, 1997, 85: 289~ 299
- 4 Sharpe P J H, Walker J, Penridge L K, et al. Spatial consideration in physiological models of tree growth. *Tree Physiology*, 1986, 2: 403~ 421
- 5 Tuner I M. Species loss in fragments of tropical rain forest: a review of the evidence. *Journal of Applied Ecology*, 1996, 33: 200~ 209
- 6 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
- 7 夏 冰, 邓 飞, 贺善安. 林窗研究进展. *植物资源与环境*, 1997, 6(4): 50~ 57
- 8 奚为民. 林窗植被研究进展. *西南师范大学学报(自然科学版)*, 1992, 17(2): 268~ 274
- 9 奚为民. 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
- 10 安树青, 洪必恭, 李朝阳, 等. 紫金山次生林林窗植被和环境的研究. *应用生态学报*, 1997, 8(3): 245~ 249
- 11 马友鑫, 刘玉洪, 张克映. 西双版纳热带雨林片断小气候边缘效应的初步研究. *植物生态学报*, 1998, 22(3): 250~ 255

(责任编辑 郑琰)