

云南哀牢山常绿阔叶林林缘不同热力作用面热力特征^{*}

张一平^{**} 马友鑫 刘玉洪 郭萍 窦军霞

(中国科学院西双版纳热带植物园, 昆明 650223)

摘要 利用云南哀牢山原生的亚热带常绿阔叶林西南向边缘的表温观测资料,探讨了原生常绿阔叶林林缘区域不同热力作用面表温的水平、垂直分布特征及其差异。指出哀牢山原生的亚热带常绿阔叶林林缘与热带片断化季雨林林缘相同,其林缘壁面的热力效应同样是不可忽视的,在林缘区域构成了除了公认的林外地表面、林冠面和林内地表面 3 个热力作用面之外的一个新的第 4 热力作用面。对其进行深入研究,将有助于解释森林边缘的小气候效应和生物效应。

关键词 林缘壁面,表温,热力作用面,常绿阔叶林,哀牢山

中图分类号:Q143 文献标识码:A 文章编号:1000-4890(2003)02-0074-06

Thermodynamic characteristics on different thermal active surfaces near edge of ever-green broad-leaved forest of Ailao Mountain. ZHANG Yiping, MA Youxin, LIU Yuhong, GUO Ping, DOU Junxia (Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650223, China). *Chinese Journal of Ecology*, 2003, 22(2): 74~79.

Based on the data of surface temperature on Southwest slope edge of ever-green broad-leaved forest in Ailao Mountain, the characteristics and differences of horizontal and vertical distribution of surface temperature on different thermal active surfaces were discussed in this paper. The findings showed that thermal effect of vertical active surface could not be neglected at the edge of fragmented forest. Vertical active surface of edge was a new thermal active surface with the exception of forest canopy surface, soil surface in and out of the forest. The study will be useful for us to understand microclimatic and biological effect of forest edge.

Key words vertical active surface of edge, surface temperature, thermal active surface, ever-green broad-leaved forest, Ailao Mountain.

1 引言

由于人口的增加,对资源需求不断扩大,连片的森林遭到破坏,变成支离破碎的片断森林,导致森林外边缘增加,边缘效应对森林的影响程度加大。林缘的物理和生物显著变化(即边缘效应)的重要性已引起广泛关注^[2,10,11,13],并对温带至热带的不同类型森林的边缘效应进行过研究^[1,7~9,12]。在西双版纳地区,马友鑫等^[1]探讨了不同片断化热带雨林的林缘小气候效应的水平分布特征;张一平等^[4]探讨了橡胶林边缘小气候效应的水平分布特征,但是对森林边缘效应垂直分布的研究尚不多见。

另一方面,张一平等^[4,5]在对西双版纳热带次生林林窗林缘和片断化季节雨林边缘的研究表明,在热带次生林林窗林缘和片断化森林林缘,林缘壁面的热力效应是不可忽视的,特别是受太阳直接辐射较强时,其热力作用仅次于林外旷地。认为在热带次生林林窗林缘和片断化森林林缘区域除了公认的林外地表面,林冠面和林内地表面 3 个热力作用

面之外,林缘壁面构成了一个新第 4 热力作用面。而在亚热带的常绿阔叶林外部边缘,林缘壁面的热力效应如何?强度和影响范围多大?是否同样构成森林边缘第 4 个热力作用面等?乃是值得深入探讨的问题。

本文根据 1998 年 5 月在云南哀牢山自然保护区,对常绿阔叶原始林林缘表面温度的小气候观测资料,试对亚热带的常绿阔叶林林缘各热力作用面的热力特征进行初步分析,为进一步探讨林缘小气候形成机制和林缘生物多样性等提供科学依据。

2 研究地区与方法

2.1 自然概况

哀牢山纵贯云南省中南部,保存着我国亚热带地区面积较大的,且以云南特有种为优势的原生常

^{*} 中国科学院“九五”重大项目(KZ951-A1-104-01)、国家自然科学基金项目(39770141)和云南省自然科学基金资助项目(97C093M, 98C098M)。

^{**} 通讯作者

收稿日期:2001-06-11 改回日期:2001-07-23

绿阔叶林,已被定为国家级自然保护区。

本次观测的林缘样地选择在徐家坝地区(24°32'N,101°01'E,海拔2450m)的原生常绿阔叶林,系120年左右的成熟林^[6],林冠浓郁整齐,植被分层明显。乔木上层高25~30m,胸径0.30~0.45m,最大1.2m,主要为腾冲栲(*Castanopsis wattii*)、木果石栎(*Lithocarpus xylocarpus*)、滇木荷(*Schima noronhar*)和景东石栎(*L. chintungensis*)等,乔木亚层高5~15m,主要为绿叶润楠(*Machilus viridis*)、红花木莲(*Manglietia insignis*)和米饭树(*Vaccinum duclouxii*)等;灌木层高1~3.5m,主要以箭竹(*Sinuarundinaria nitida*)为优势;草本层在0.5m以下,主要为滇西瘤足蕨(*Plagiogyria communis*)和细梗苔草(*Carex teinogyne*)等。坡向为西南,坡度约10°。土壤为山地黄棕壤。

2.2 方法

观测在西南向林缘进行,在林外-林缘-林内水平方向设置12个观测点(以林缘为中心点,与林缘的距离林内为正值,林外为负值),考虑到边缘效应的作用,观测点为不等距分布,分别为-40,-21,-9,-4,-2,0,2,6,11,20,36和54m;观测要素为太阳辐射、温湿度、地表面温度、风速、风向、天气状况等。另外,在林缘(0m)和林内(41m)选取了代表性的样木(腾冲栲,树高约30m,胸径约0.4m),观测不同高度的树表面温度。

2.3 时间

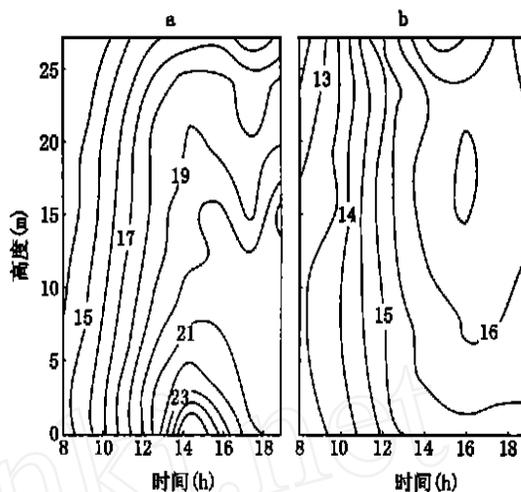
观测期间为1998年5月15~19日昼间(8:00~19:00时),每1h正点进行。本文使用各水平测点的地表面温度、林缘和林内不同高度树木表面温度的观测值进行分析。分析中的时段上午8:00~11:00时(北京时间,下同)、中午:12:00~15:00时,下午16:00~19:00时。另外,分析中林缘一般是指-2~2m,林内指10m以内,而林外指-10m以外。

3 结果与分析

3.1 平均表温的变化

3.1.1 平均树表温的时空变化 林缘和林内的表面温度时空变化(图1),由图1可见,上午12:00时以前由于太阳辐射较弱,林缘、林内的树基表温的时间和垂直空间变化均不大,而下午(12:00时以后)时间变化增加;空间分布林缘与林内呈相反的分布趋势:林缘树表温为树基处最大,随高度增加树表温降低,最大值出现在树基处(15:00时,29.1°);而林内树表温

的垂直分布则为逆温分布,随高度增加,树表温降低,最大值出现在树冠下(16:00时,17.1°)低于林缘。



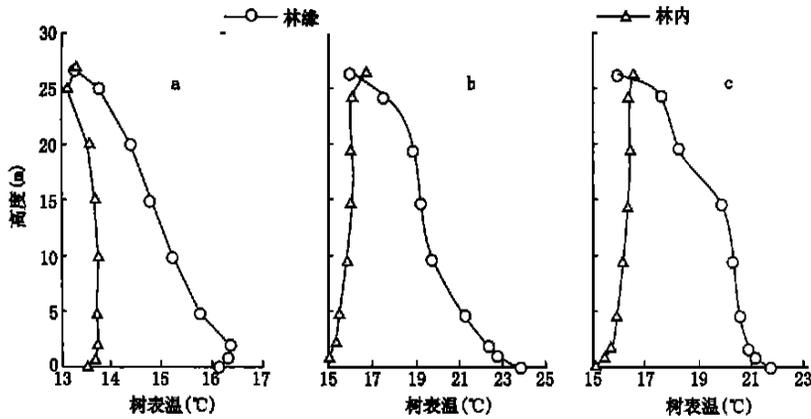
a. 林缘 b. 林内
图1 树表温的时空分布

Fig. 1 Temporal-spatial distribution of trunk surface temperature

3.1.2 平均树表温的垂直变化 林缘和林内不同高度的平均树表温(图2)。可见上午(图2a),林缘和林内的平均树表温的分布趋势与西双版纳热带季雨林林缘^[5]十分相似,随高度增加呈降低趋势,近地层(1m高度)温度最高,树冠(30m高度)温度较低,显示了垂直方向上,热量从地面向上传输。中午和下午(图2b,c),而林内由于基本没有太阳直接辐射,主要受林冠下传热量的影响,林内平均树表温的高度分布与上午有显著区别,树表温呈现上层温度较高的趋势,呈逆温分布趋势,最大值出现在30m高度,热量由上向下传递,林冠面为主要热力作用面。

林缘在太阳直接辐射和林缘壁面附近空气温度共同作用下,树表温呈下层温度较高,上层较低的分布特征,并且最大值出现在0m高度(树根基处),垂直方向热量的传递为由上向下;而值得注意的是:在林缘壁面中部(中午10~20m,下午1.5~15m),树表温随高度增加变化较小,呈等温分布趋势。

3.1.3 平均地表温的水平时空分布 林外-林缘-林内地表温的水平空间分布(图3),由图3可见,总的趋势为林外的地表温较高,林内地表温较低。8:00~10:00时,由于太阳直接辐射较弱,地表温的林内外差异较小;而中午,太阳直接辐射较多的林外,出现地表温最高值区域,地表温远高于林内,最大值为42.6°(14:00时)出现在林外-40m处,另外,中午(12:00~16:00时)林缘效应也较明显,热力影响可达林内10m附近,并且在林缘附近(-2m



a. 上午 b. 中午 c. 下午
图 2 林缘林内树表温垂直变化

Fig. 2 Vertical variation of trunk surface temperature on edge and interior of forest

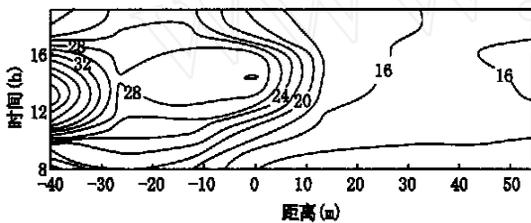


图 3 林缘区域地表温水平时空分布
Fig. 3 Temporal-spatial distribution of soil surface temperature in horizontal direction on forest edge

处)呈现地表温的次极大值(36.8)。17:00 时后,地表温的水平时空变化又趋于缓和。

从平均状况(图 4)来看,上午,地表温的林内外差异相对较小;林外到林缘,地表温呈降低趋势;而林缘到林内,地表温变化较小。基本上呈等温趋势。中午,林外受太阳直接辐射影响较大,地表温与林内有较大差异,特别在 -20~10m 范围内,呈现下降趋势。下午,虽然林内外地表温差异减小,但是从图 4

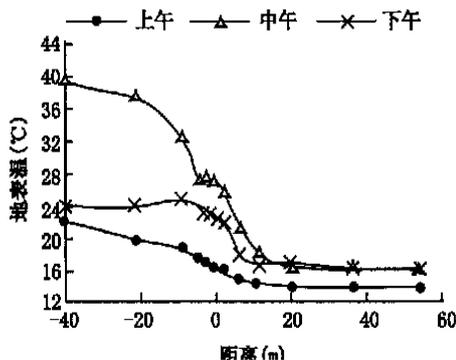


图 4 林缘区域平均地表温空间变化
Fig. 4 Spatial variation of average soil surface temperature on the forest edge

可见,林缘效应则呈增强趋势,林缘附近的地表温甚高于林外。

3.2 林缘与林内树表温的差异

林缘与林内树表温差值(图 5)可见,林缘树表温一般高于林内树表温,在上午各高度的差异均较小,显示了水平热量传输很小;而中午,由于林缘、林内树表温呈不同的垂直分布(图 2),导致树表温差随高度变化十分显著,在下层差异较大,差值为正,林缘树表温高于林内,最大可达 12.6 以上,而上层差异较小,甚至林缘树冠附近表温还低于林内 ($T_e < 0$)。下午林缘与林内树表温差的时空变化趋于缓和。

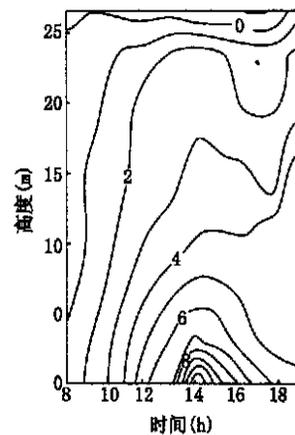


图 5 林缘与林内树表温差
Fig. 5 Difference of trunk surface temperature between edge and interior of forest

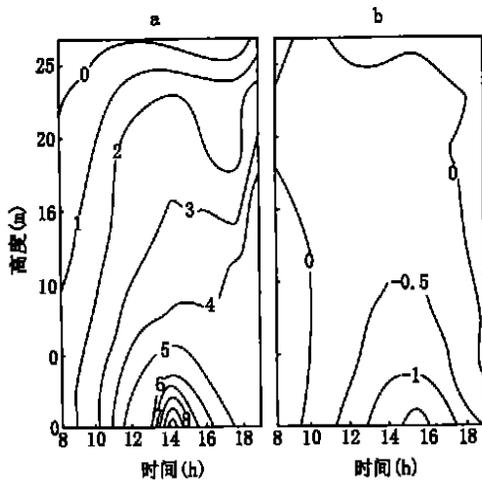
林缘与林内树表温在不同高度如此差异,势必导致林缘附近热量传输强度的差异,特别是中午,在

下层热量水平方向是从林缘向林内传递,强度随高度增加而减弱,到上层,水平方向热量传递强度进一步减弱,甚至在树冠附近出现弱逆转现象。

研究表明,在中午和下午,林缘向林内侧一定距离区域,将同时受到林冠面和林缘壁面,两方面热源的影响。前者由上向下传输热量,而后者由外向内传输热量。如此特殊的热量传输方式,势必造成林缘区域的小气候在水平和垂直方向的不同,进而导致林缘生物多样性的差异。

3.3 不同热力作用面表温差异

3.3.1 林缘壁面作用面 研究表明,林缘附近的热力作用十分复杂,为了定量地比较不同热力作用面的热力效应差异,取林内各点(54~20m)地表温的平均值为基准,求算其它热力作用面与它的差值,对不同热力作用面的热力效应进行探讨。由图6可见林缘处树表温基本上高于林内平均地表温,说明林缘壁面的热力作用不可忽视,其效应越接近地面作用越强,并且其规律在中午最为显著;而林内树表温基本上与地表温相近,仅在中午前后,差值为负,且越接近地面,绝对差值越大。



a. 林缘 b. 林内

图6 树表温与林内平均地表温差的时间空分布

Fig.6 Temporal-spatial distribution of difference between trunk surface temperature and mean soil surface temperature of interior

进一步探讨上午、中午、下午平均状况(表1),由表1可见各时段,除林缘树冠下(27m)之外,林缘不同高度树表温与林内平均地表温的差值均为正值,且随高度增加,差值减小,表明林缘壁面的热力作用均大于林内内表面。但是差值上午较小,中午最大,下午次之,说明林缘壁面的热力作用强度不可忽视。这与张一平等^[5]对热带次生林林缘壁面和热带季雨林林缘壁面研究的结果相一致。

上午林内上层树表温低于林内平均地表温,而下层与平均地表温相近,说明上午林内地面的热力作用大于林内各植被层;而中午在林冠高度以下差值均为负,树表温均低于林内平均地表温,其绝对值随高度增加而减小;说明在林内植被层,由于植物与附近的空气热交换,导致其热力作用小于林内地表面。下午的差值分布与上午呈相反趋势,上层差异较小,而下层差异较大,说明下午在林冠面的热力影响下,森林上层的树表温升高,已接近林内地表温。这显示了林内立体空间热力效应的复杂性。

3.3.2 林冠作用面 从表1可见,上午,林缘和林内的林冠下方树表温与林内平均地表温的差均为负值,说明在上午林冠作用面的热力作用小于林内地表面;而中午和下午,林缘的林冠下方树表温与林内平均地表温的结果与热带季雨林林缘所的结果不同^[5],其差仍为负值,显示了林缘处的林冠由于受附近大气的影晌,其热力效应低于林内地表面;而林内的林冠下树表温与林内平均地表温的差均为正值,这与热带季雨林林缘的结果相似^[5],表明林冠作用面的热力作用大于林内地表面;且大于林缘林冠面。

表1 林缘、林内不同高度树表温与林内平均地表温的差值()
Tab.1 Difference of surface temperature between different height of trunk on edge and interior and mean soil surface temperature of interior

林冠下树高(m)	林缘			林内		
	上午	中午	下午	上午	中午	下午
27	-0.5	-0.4	-0.4	-0.4	0.3	0.1
20	0.0	1.3	1.2	-0.6	-0.2	-0.1
16	0.7	2.7	2.0	-0.2	-0.3	0.1
12	1.1	3.0	3.5	0.0	-0.3	0.0
8	1.5	3.5	4.1	0.1	-0.4	-0.2
4	2.0	5.0	4.3	0.1	-0.8	-0.3
2	2.6	6.2	4.6	0.1	-0.8	-0.5
1	2.6	6.5	4.9	0.0	-1.1	-0.7
树基(0)	2.5	7.6	5.5	-0.1	-1.2	-1.1

3.3.3 林外地面作用面 由图7可见,林缘热力效应($T_s - 2.0$)范围在14:00时左右可达林内10m附近;而林外的地表温均高于林内。

另外,从平均状况(表2)来说,在上午,林外各测点的地表温高于林内平均地表温,表明林外地表面的热力作用大于林内地表面,但各测点间差异相对较小,最大值为8.6(-40.0m处);林缘附近的地表温差也达2.0以上,表明一定的林缘热力效应,而林内各测点的地表温与林内平均地表温相近,差异很小。

表 2 林内外地表温与林内平均地表温差()

Tab.2 Difference of soil surface temperature between different station at field ,edge and interior and mean soil surface temperature of interior

时间	林外距离(m)				林缘距离(m)			林内距离(m)				
	- 40	- 21	- 9	- 4	- 2	0	2	6	11	20	36	54
上午	8.6	6.2	5.0	3.3	3.4	2.8	2.6	0.7	0.5	0.1	- 0.1	0.0
中午	23.7	21.8	16.8	10.9	11.9	11.3	10.2	5.2	2.0	0.0	0.2	- 0.2
下午	8.3	8.0	8.7	6.8	6.5	6.2	6.0	1.5	0.4	0.7	- 0.3	- 0.4

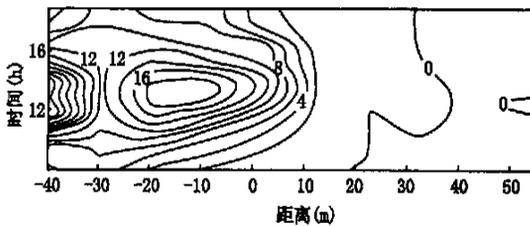


图 7 各测点与林内平均地表温差水平时空分布

Fig.7 Temporal-spatial distribution of soil surface temperature difference between different sites and interior of forest in horizontal direction

中午林外各测点的地表温与林内平均地表温的差异十分显著,大部分测点的差值 > 10.0 ,最大值出现在 - 40m 处(23.7) ;表明林外地表热力作用的十分强盛;林缘处的地表温差也 > 10.0 ,其热力效应(T_s 2.0)达到林内 11m 处;显示出林缘强大的热力效应;而距林缘 20m 以外的林内各测点地表温与林内平均地表温的差异仍很小($|T_s| < 0.5$)。下午分布趋势于上午相近,差异的数值略有增加。

3.3.4 林缘区域各热力作用面的热力效应 表 3 表明,各热力作用面的平均表温值。其中,林外地表温为林外各测点(- 9 ~ - 40m)的地表温平均值;林缘树表温为林缘壁面(1 ~ 20m 高度)的树表温平均值;林冠下树表温为林内树冠下树表温;而林内地表温为林内各测点(20 ~ 54m)的地表温平均值。

表 3 各热力作用面平均表面温度()

Tab.3 Mean surface temperature on different thermal action surfaces

时间	林外地表温	林缘树表温	林冠下树表温	林内地表温
上午	20.3	15.2	13.3	13.7
中午	37.0	20.2	16.5	16.2
下午	24.6	19.8	16.4	16.3

比较各热力作用面的平均表温,初步看出不同时段,各热力作用面的热力作用的强度大小顺序,上午为林外地表面 > 林缘壁面 > 林内地表面 > 林冠下方表面,而中午和下午为林外地表面 > 林缘壁面 > 林冠下方表面 > 林内地表面;另外,从各热力作用面间表温差异的大小,可知中午各热力作用面的热力效应差异大于上午和下午。

研究表明,在原生亚热带常绿阔叶森林林缘,林缘壁面的热力效应同样是不可忽视的,其热力强度仅次于林外旷地,特别是受太阳直接辐射较强的中午,其热力作用显著高于林内。所以可以认为在亚热带常绿阔叶林林缘区域除了公认的林外地表面,林冠面和林内地表面 3 个热力作用面之外,林缘壁面同样构成了一个新的第 4 热力作用面。

4 结 论

通过对云南哀牢山原生的亚热带常绿阔叶林西南向边缘的林内、林外地表温和林缘树表温研究表明,上午和下午各热力作用面的表面温度时间变化较小,中午受太阳辐射影响,各热力作用面表面温度时间变化较大;上午林内树表温的垂直分布与中午、下午的分布呈不同的分布趋势,上午,林缘和林内的树表温均呈现随高度增加树表温降低的趋势;并且林缘与林内的差异较小;中午、下午林缘树表温仍然为下高上低的分布趋势,而林内树表温则为下低上高的逆温分布,在林冠下出现最大值。显示下午林缘热量是从下向上传递,而林内则反之;各高度热量的水平传输,在上午均较小;中午、下午下层热量的水平传输较强,而上层较弱;由此可知:中午、下午林缘附近的一定区域,同时受到两热源(林冠面和林缘壁面)影响,前者由上向下传输热量,而后者由外向内传输热量;林外地面具有显著的热力效应,其热力作用在中午可达林内 10 m 以上;

通过比较各热力作用面的平均表温,可知各热力作用面的热力作用的强度大小顺序在不同时段存在差异,上午为林外地表面 > 林缘壁面 > 林内地表面 > 林冠下表面,而中午和下午为林外地表面 > 林缘壁面 > 林冠下表面 > 林内地表面;另外,中午各热力作用面的热力作用大于上午和下午;通过分析,可以认为在原生的亚热带常绿阔叶林林缘,林缘壁面的热力效应同样是不可忽视的,即在林缘区域林缘壁面构成了一个新的,有别于公认的林外地表面,林冠面和林内地表面 3 个热力作用面之外的第 4 热力作用面。对其进行深入细致的研究,将有助于解释

森林林缘小气候效应和生物效应。

致谢 本研究得到了中国科学院西双版纳热带植物园哀牢山亚热带森林生态站的大力支持,在观测中使用了中国生态系统研究网络西双版纳热带森林生态站部分观测仪器,在此表示感谢。

参考文献

- [1] 马友鑫,刘玉洪,张克映. 1998. 西双版纳热带雨林片断小气候边缘效应的初步研究[J]. 植物生态学报, 22(3):250~255.
- [2] 王庆锁,王襄平,罗菊春,等. 1997. 生态交错带与生物多样性[J]. 生物多样性, 5:126~131.
- [3] 张一平,王进欣,马友鑫,等. 2001. 热带次生林林窗不同热力作用面特征分析[J]. 应用生态学报, 12(2):179~184.
- [4] 张一平,马友鑫,刘玉洪,等. 2000. 中国热带静风区林缘水平热力特征的初步分析[J]. 应用生态学报, 11(2):205~209.
- [5] 张一平,马友鑫,刘玉洪,等. 2000. 热带雨林林缘不同热力作用面热力特征初探[J]. 北京林业大学学报, 22(3):8~13.
- [6] 邱学忠. 1998. 哀牢山森林生态系统研究[M]. 昆明:云南科技出版社, 7~33.
- [7] Camargo JLC, Kapos V. 1995. Complex edge effects on soil moisture and microclimate in central Amazonian forest [J]. *J. Trop. Ecol.*, 11:205~221.

- [8] Chen J. 1991. Edge Effects: Microclimatic Pattern and Biological Responses in Old-growth Douglas-fir Forests [D]. Washington: PhD Thesis, University of Washington, Seattle, WA, USA.
- [9] Kapos V. 1989. Effects of isolation on the water status of forest patches in the Brazilian Amazon[J]. *J. Trop. Ecol.*, 5:173~185.
- [10] Lee R. 1978. Forest Microclimatology [M]. New York: Columbia University Press, 276.
- [11] Mucia C. 1995. Edge effects in fragmented forests: implications for conservation [J]. *Trends Ecol. Evol.*, 10:58~62.
- [12] Sizer NC. 1992. The edge effect and natural regeneration in lowland tropical rain forest, Central Amazonia [D]. Cambridge, UK: PhD Thesis, University of Cambridge.
- [13] Tuner IM. 1996. Species loss in fragments of tropical rain forest: a review of the evidence [J]. *J. Appl. Ecol.*, 33:200~209.

作者简介 张一平,1957年8月生,男,研究员,博士。1995年3月毕业于日本广岛大学,主要从事生态气候学研究,发表论文60余篇。E-mail: yipingzh@xtbg.ac.cn
yiping@public.km.yn.cn
责任编辑 王伟

书 讯

《新疆鸟类名录》

近日新疆动物学会马鸣先生自筹资金将第一部《新疆鸟类名录》(A checklist of birds in Xinjiang, China)付梓出版。该书融合了一百多年来动物学工作者在新疆辛勤耕耘的精华。内容包括新疆422种野鸟的规范名称(汉、拉、英)、分布(至少到县)和生态等。是目前惟一的、独特的、也是最为完整的一个地区性的分布资料。目的是为了回答“什么鸟-何时-在那里出现?”的问题。并注明亚种名称和主要文献出处。对于有疑问的种类单独附录列出(约有70种);最后还附有320余篇参考文献(1876~2001年)。可供研究人员、生物学教师、学生、自然保护工作者、业余观鸟和爱鸟者使用。

该书大16开本,约100页,封面有彩色照片6幅。定价20元(无发票,含邮寄费)。如果您愿意可以免费与作者交换鸟类图书或文章。特别欢迎交换各地的鸟类名录、鸟类志和当地大学学报等。

另外,作者还有少量《新疆鸟类简介》(100元)、《野生天鹅》(20元)、《Swans in China》(美国版,全英文,100元)、《中国新疆野生动物》(60元)、《中国野生天鹅》(简读本,10元)等均可按上述方式交流。

联系地址:乌鲁木齐市北京路40号附3号,中国科学院新疆生态与地理研究所 邮编:830011

联系人:马鸣 (0991-3840369)

E-mail:maming@ms.xjb.ac.cn