

中国热带静风区林缘水平热力特征的初步分析*

张一平** 马友鑫 刘玉洪 张克映 (中国科学院西双版纳热带植物园, 昆明 650223)

【摘要】 利用我国热带静风区——西双版纳橡胶林西南向边缘 1 月的温度观测资料, 探讨了昼间林缘区域热力特征及时空变化规律. 结果表明, 在林缘存在着明显的热力效应; 对地面温度的影响深度可至林内约 13m 处, 地面温度在林外 4.5m 处达最高, 气温则在林缘(0m) 出现最大; 林缘附近热量的输送在数值和方向上存在较大差异, 即林外热量从地面向空中输送; 林内在午后与林外相反, 热量由上(林冠) 向下(地面) 输送; 林缘附近则在不同地点、不同时刻之间存在较大差异.

关键词 林缘 气温 地面温度 气地温差 热力作用面

Horizontal thermal characteristics at forest edge in calm tropical region of China. ZHANG Yiping, MA Youxin, LIU Yuhong and ZHANG Keying (*Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650223*- *Chin. J. Appl. Ecol.*, 2000, 11(2): 205~ 209.

The temperature measurement at south west-facing edge of a rubber forest was conducted in a calm tropical region of Xishuangbanna, Yunnan, China in January 1998, and the daytime thermal characteristics and their time space variations nearby the edge of the rubber forest were discussed. There was an obviously thermal effect at forest edge. The depth of edge influence on soil surface temperature was up to 13 m from the edge into the forest. Soil surface temperature reached its highest at 4.5 m outside the forest. The highest air temperature occurred at 0 m of the edge. The heat transfer nearby the edge was quite different in number and in direction. Outside the forest, the heat was transferred from ground to air on almost daytime, while at interior of forest, was opposite after the noon. The heat was transferred from the rubber canopy to the ground. At the forest edge, such variation was complex, depended mainly on location and time.

Key words Forest edge, Air temperature, Surface temperature, Air minus soil temperature, Thermal active surface.

1 引言

林缘已成为自然景观主要特征之一, 其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^[4,8,10,11]. 一些研究者对温带至热带的不同类型自然林的环境边缘效应进行过研究^[1~3,7,9]; 对于我国热带地区所占面积较大的橡胶林, 马友鑫等^[5,6]探讨了其林内和冠面的热力状况. 但对橡胶林林缘的热力特征则少有报道. 在静风区, 林缘附近的热力可能是森林与邻区之间热量和水汽等的水平输送和垂直扩散的重要驱动力; 同时, 研究林缘热力特征有助于理解其小气候形成原因. 本文根据 1998 年 1 月在我国静风区——西双版纳地区橡胶林缘小气候边缘效应观测资料, 试对林缘水平热力特征进行分析, 为进一步探讨林缘局地小环流和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 研究地概况与研究方法

观测样地设在云南省西双版纳州勐腊县的一橡胶林地(21°55' N, 101°06' E), 面积 6.8hm², 定植 12 年, 平均树高约 14m, 平均胸径 0.166m, 株距 2.5m, 行距 8.0m, 密度 450 株·

hm⁻². 橡胶林与林外旷地基本处在相同水平面上.

在橡胶林西南侧的林缘、林内和林外, 设置 8 个观测点(表 1), 考虑到边缘效应的作用, 观测点为不等距分布. 观测要素为地上 1.0m 高处空气温、湿度(阿斯曼通风温度计, 天津气象海洋仪器厂产)、风速、风向(轻便三杯风向风速表, 天津气象海洋仪器厂产)和地面温度(红外辐射温度计, COMPAC3, 日本国 Minolta 株式会社产)以及光照(照度计, 德国 GOSSEN 公司产)(项目 1, 移动观测); 林内、林缘和林外的太阳总辐射、红外辐射、光合有效辐射(管状辐射表, 英国 Delta T 公司产)(项目 2); 另外, 在橡胶林距林缘 28.3m 处(林内)和-28.4m 处(林外), 各设一高约 15m 简易观测架, 进行干、湿球温度垂直观测(TR 型自记温度计, 日本 T & D 株式会社产)(项目 3). 观测在 1998 年 1 月 10~24 日昼间(8~19 时)每小时正点进行. 观测期间天气晴好无云, 早上有雾, 午后偶有阵风.

本研究为利用项目 1 的资料对林缘温度水平特征分析的初步结果. 分析中将林外-28.4m 处定为对照点(下同). 为了使资料具有统一性, 根据各观测点与对照点用阿斯曼同时观测的温度资料求得的线形回归方程, 将各观测点温度统一订正到正点时.

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

** 通讯联系人.

1998-10-15 收稿, 1999-02-01 接受.

表1 观测点和项目
Table 1 Location and items of observation

	(NE)	林外 Clearing	林缘 Edge	林内 Interior (SW)
距离 (m) Distance	-28.4	-17.7 - 10.6 - 4.5	0	3.8 13.5 28.3
观测内容 Content of observation	△ ● ○	● ○ ● ● ● ○ ● ● △ ● ○		

●项目 1 Item 1(光照 Illumination, 地面温度 Surface temperature, 气温 Air temperature, 湿度 Humidity, 风速 Wind speed, 风向 Wind direction);
○项目 2 Item 2(总辐射 Global radiation, 红外辐射 Infrared radiation, 光合有效辐射 Photosynthetically active radiation); △项目 3 Item 3(0.5, 1.0, 2.0, 4.0, 8.0, 12.0 和 14.5m 高度的气温和湿度 The air temperature and humidity on the 0.5m, 1.0m, 2.0m, 4.0m, 8.0m, 12.0m, 14.5m).

3 结果与分析

3.1 平均温度的水平变化

典型天气下橡胶林边缘区域, 昼间平均温度水平分布如图 1 所示. 可见地面温度(图 1a)林内外差异显著, 林外明显高于林内 4~6℃; 在林缘外侧 4.5m 的地面温度最高; 林外的地面温度距林缘越近, 温度越高; 而林内则是在距林缘 13m 以内, 随着远离林缘, 温度急速下降, 到达 13m 左右后温度基本上不变. 可以认为, 与自然热带雨林相比, 橡胶林具有林冠稀疏和下层植物较少的结构特征, 太阳辐射易于透射进来, 使得橡胶林林缘对林内昼间平均地面温度的影响仅发生在距

林缘约 13m 左右. 对于平均气温(图 1b), 与同地区自然雨林的观测结果相似^[7], 即林缘(0m)气温最高, 随着距林缘的距离增大, 林内外的气温均逐渐降低, 以林外对照点处为最低. 图 1c 显示了平均气温与平均地面温度差值的水平变化. 可见在林外差值为负, 即热量从下(地面)向上(空中)传递; 而林内差值为正, 热量从上(林冠)向下(地面)输送. 显示了林缘区域存在两种主要热力作用面: 即林外为地面, 而林内为林冠面.

3.2 热力效应的水平变化

3.2.1 地面温度 图 2 为昼间不同时刻(考虑地方时, 取上午为北京时 8~11 时, 中午为 12~15 时, 下午为 16~19 时, 下同), 各点的地面温度与林外对照点差值 (ΔT_s) 的水平分布. 在上午(图 2a) 8 时, 因受浓雾存在的影响, 对照点的地面温度为最低, 各点温差均为正 ($\Delta T_s > 0$), 其差异林内大于林外; 随着时间推移, 雾逐渐消散, 林外对照点由于遮蔽较小, 受太阳直接照射多, 地面温度升高, 大部分测点(特别是林内各点)与对照点的差值转为负值 ($\Delta T_s < 0$). 以 11 时差异较大, 特别在林缘处最显著 ($\Delta T_s = -8.5^\circ\text{C}$). 中午时分(图 2b), 地面温差的分布与午前不同, 林缘的增温效应逐步显露, 温差为正; 而林内由于有林冠的遮蔽影响, 地面温度低于林外对照点 ($\Delta T_s < 0$), 且差异较大, ΔT_s 的绝对值可达 5°C 以上. 下午(图 2c), 林缘附近仍然呈

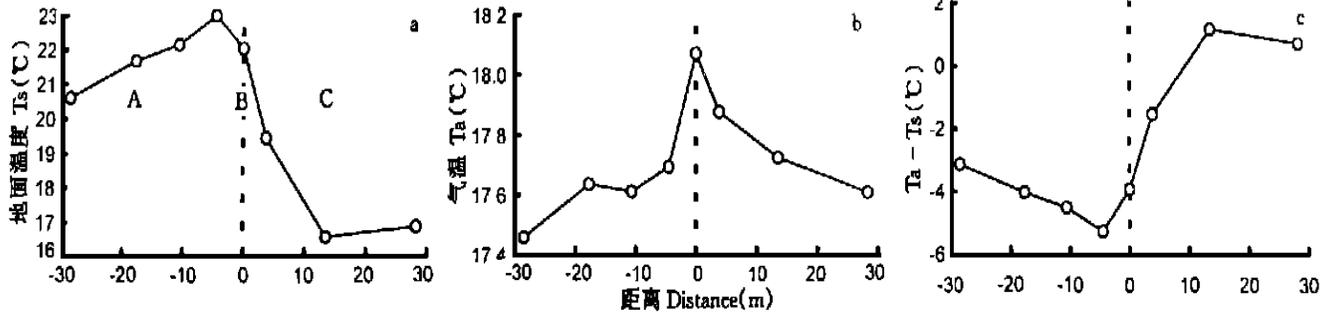


图 1 各测点昼间平均温度的水平分布

Fig. 1 Variations in mean daytime temperatures with distance from the rubber forest interior to the clearing.

a. 地面温度 Surface temperature, b. 气温 Air temperature, c. 气地温差 Difference of temperature between air and surface. A. 林外 Clearing, B. 林缘 Edge, C. 林内 Interior. 下同 The same below.

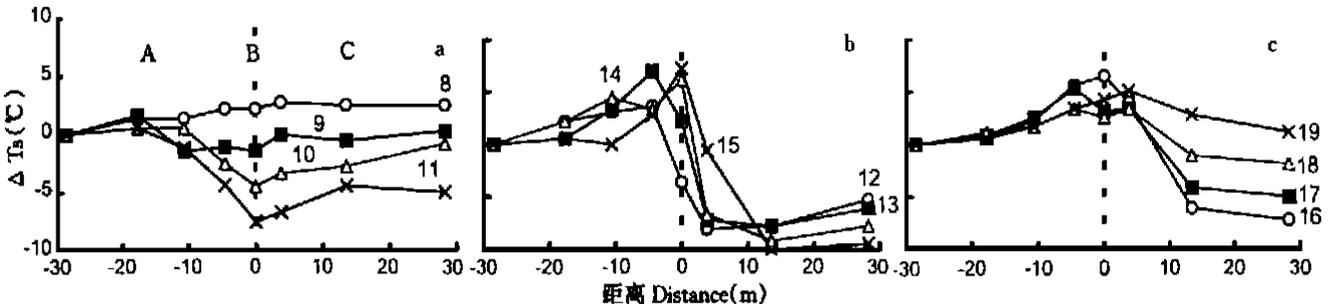


图 2 各测点与林外对照点(-28.4m)地面温度差的水平分布

Fig. 2 Variation in soil surface temperature difference between various locations and location of -28.4m away from the forest edge.

a. 上午各时 The morning, b. 中午各时 Around noon, c. 下午各时 The afternoon. 下同 The same below.

现较明显的增温效应, 林缘的增温效应不仅影响林外侧, 而且波及到林内侧, 距林缘 5m 以内 $\Delta T_s > 0^\circ\text{C}$. 而林内(距林缘 13m 以外) $\Delta T_s < 0^\circ\text{C}$. 但由于橡胶林林冠结构稀疏, 透过辐射对林内地面的影响, 加之林冠向下传递的热力作用¹⁾, 林内与林外对照点的地面温差随时间增加逐步减小; 在 19 时差值转为正值.

3.2.2 气温 图 3 给出了不同时刻各点的气温与林外对照点差值(ΔT_a)的水平分布. 在上午(图 3a), 各点的气温均高于林外对照点($\Delta T_a > 0^\circ\text{C}$), 除林缘点(0m)和林内点(28.2m)外, 差值均不大($\Delta T_a = 0.2 \sim 0.3^\circ\text{C}$). 在林缘点(0m), 随着时间增加, 其增温效应逐渐加强, 温差从 8 时的 0.3°C 增加到 11 时的 0.5°C ; 而在林内点(28.2m), 其温差变化与林缘完全相反, 温差逐渐减小, 从 0.7°C (8 时) 减小到 0.2°C (11 时). 中午(图 3b)和下午(图 3c), 其温差分布基本相同. 除林内 28.2m 处, 其它各点 $\Delta T_a > 0^\circ\text{C}$, 在 $-5 \sim 15\text{m}$ 范围内差异明显, 林缘(0m)处温差最大($\Delta T_a = 0.6 \sim 0.8^\circ\text{C}$); 并且各时刻间差异较小. 这充分显示了林缘具有明显的增温作用, 并可影响到林缘内外, 增温效应($\Delta T_a > 0.2^\circ\text{C}$)的范围, 林缘内侧约 18m, 大于外侧(约

8m).

3.2.3 气地温差 气地温差反映了热量的传递方向和量级. 图 4 显示了不同时刻气地温差的水平分布. 在上午(图 4a) 8~9 时, 林内外的气地温差均为负值($T_a - T_s < 0^\circ\text{C}$), 热量由地面向空中输送; 随着时间推移(10~11 时), 林缘效应开始增强, 林缘处气温高于地表温($T_a - T_s > 0^\circ\text{C}$), 而林内外气地温差仍小于零, 但气地温差的绝对值林外逐渐增大, 而林内逐渐减小, 显示林内外热量的输送发生转变. 中午(图 4b), 由于林内外热力作用面的不同, 使得气地温差产生显著差异: 林内差值大多为正($T_a - T_s > 0^\circ\text{C}$); 林外差值为负($T_a - T_s < -3^\circ\text{C}$), 且差异大于林内, 越接近林缘, 差的绝对值越大; 最为引人注目的是林缘(0m)处, 气地温差均小于零, 且变化较大, 其差值由 12 时的 -0.9°C 逐渐变为 15 时的 -13.5°C . 由此可知, 中午时分, 在林外地面仍是主要热力作用面, 热量从地面向空中输送; 而在林内, 林冠面则是主要热力作用面, 热量从树冠面向下输送. 这与林内外垂直观测的结果相一致. 由于林缘在不同时刻对气温和地面温度的效应不同, 使得林缘处的热量输送发生较大变化. 下午(图 4c), 随着太阳辐射

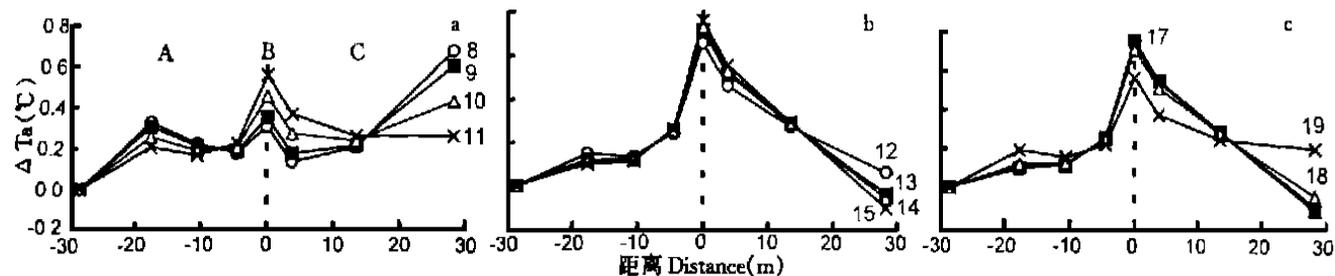


图 3 各测点与林外对照点(-28.4m)气温差的水平分布

Fig. 3 Variation in air temperature difference between various locations and location of -28.4m away from the forest edge.

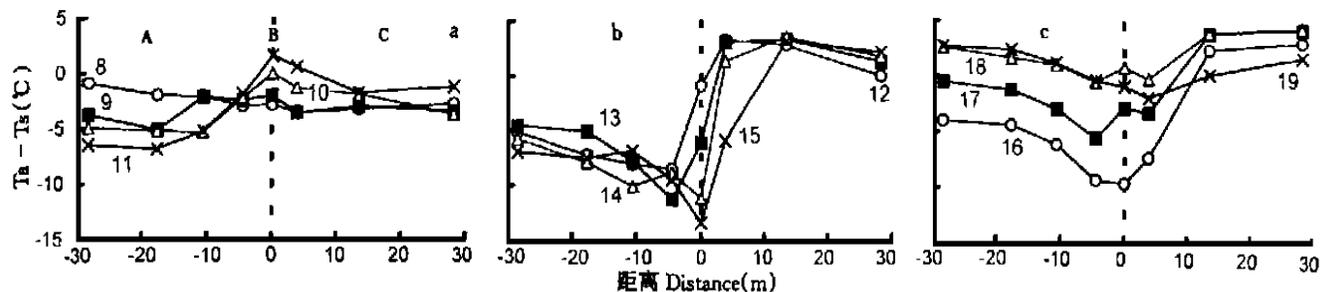


图 4 各测点气地温差的水平分布

Fig. 4 Variation in difference of the temperature between air and soil surface with distance from the rubber forest interior to the clearing.

的减弱, 林外和林缘附近的气地温差发生较大变化, 其差值由负值逐步转变正值; 而距林缘 13m 以外的林内气地温差仍然为正值, 但差值逐渐减小.

3.3 热力效应的时间变化

3.3.1 地面温度 图 5 为昼间各点的地面温度与林外对照点差值(ΔT_s)的时间分布. 对于林外 17.7m 和-

10.6m 点(图 5a), ΔT_s 的数值和时间变化均较小; 而林缘附近(-4.5m、0m 和 3.8m)(图 5b), 其热力效应的时间变化较明显, 从时间变化来看, 其趋势是: 上午(除 8 时外), $\Delta T_s < 0^\circ\text{C}$, 随时间增加, 差异增大; 午后则反之, $\Delta T_s > 0^\circ\text{C}$; 且在 16 时后基本上不随时间变

1) 张一平等. 橡胶林林缘热力垂直特征的初步分析(投稿中).

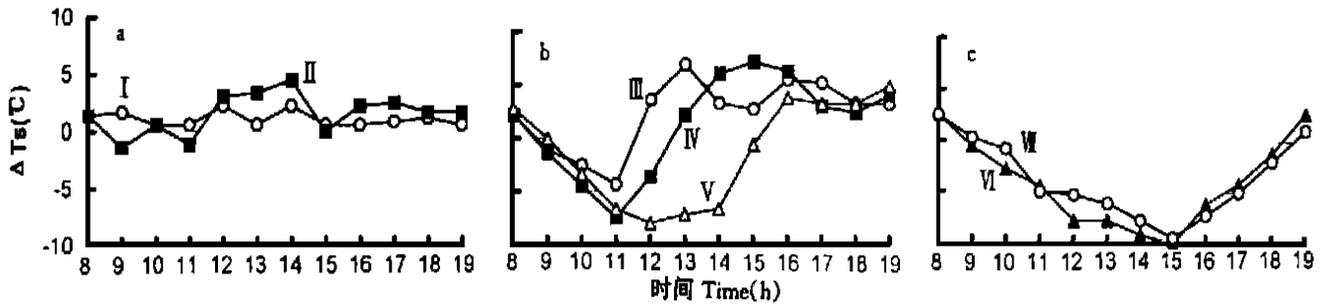


图5 各测点与林外对照点(-28.4m)地面温度差的时间分布

Fig. 5 Daytime variation in surface temperature difference between various locations and location of -28.4m away from the rubber forest edge.

a. 林外 The clearing, b. 林缘附近 Near to the edge, c. 林内 The interior. I. - 17.7m, II. - 10.6m, III. - 4.5m, IV. 0m, V. 3.8m, VI. 13.5m, VII. 28.3m. 下同 The same below.

化.但是从不同测点来看,从林外侧到林内侧,各点温差的时间变化出现明显的位相差,温差为零($\Delta Ts = 0^\circ\text{C}$)的时刻逐渐后移,林外-4.5m处约在11:30;林缘(0m)处约在12:30;而林内3.8m处则在15:10.在林内(图5c),13.5和28.3m处的地面温差的时间变化基本相似,与林外和林缘附近有较大差异:在早上(8时)和傍晚(19时), $\Delta Ts > 0^\circ\text{C}$,林内地面温度高于林外;其余各时温差大多为负值($\Delta Ts < 0^\circ\text{C}$),在15时出现最大值(约为 -10°C).由此可见,因受林缘的影响,在不同位置地面温度热力效应的时间变化是有很大差别的,这势必对林缘附近的热量传输产生影响.

3.3.2 气温 图6给出了各点气温与林外对照点差值(ΔTa)的时间分布.对于林外-17.7m、-10.6m和-4.5m点(图6a),虽然气温差均大于零,但差值均较小($\Delta Ta = 0.1 \sim 0.3^\circ\text{C}$),可认为与对照点相近;但是在林

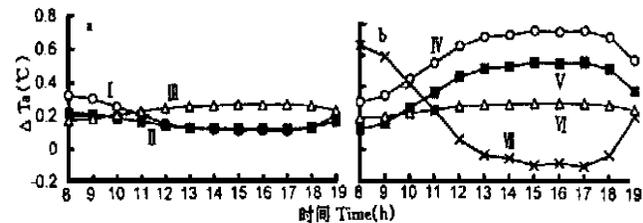


图6 各测点与林外对照点(-28.4m)气温差的时间分布

Fig. 6 Daytime variation in air temperature difference between various locations and location of -28.4m away from the rubber forest edge.

a. 林外 The clearing, b. 林缘和林内 The edge and interior.

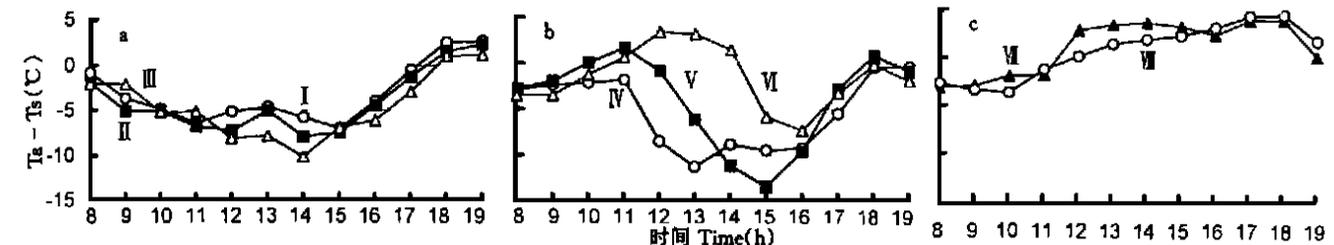


图7 各测点气地温差的时间分布

Fig. 7 Daytime variation of difference of temperature between air and soil surface at various locations near to the rubber forest edge.

I. - 28.4m, II. - 17.7m, III. - 10.6m, IV. - 4.5m, V. 0m, VI. 3.8m, VII. 13.5m, VIII. 28.3m.

异,曲线总的趋势为下降,其中林缘内侧3.8m处11~14时 $TaTs > 0^\circ\text{C}$,峰值可达 3.3°C ,显示出热量的传

缘和林内(图6b),其温差的时间变化与林外有明显差异:林缘(0m)和林内3.8m和13.5m处的温差的时间变化趋势十分相似,均是 $\Delta Ta > 0$,在早上(8时)温差较小,随后温差逐渐增大,到14时达到较大值后增幅减小,维持一定值,到17时后差值减小;其中,林缘(0m)处的时间变率最大,林内13.5m处的时间变率最小;而林内28.3m处的时间变化规律又有其独特特征:早上8时 $\Delta Ta > 0$,随后温差减小,在13时后 $\Delta Ta < 0$,差值约为 -0.1°C ,且时间变率减小,到19时差值再次转为正值.另外,从林缘到林内,各点与对照点的气温差具有较大差异,特别是在14~17时差异显著,林缘(0m)其温差可达 0.7°C ,随着深入林内,热力效应逐渐减弱,13.5m处温差降至 0.3°C ,28.3m处时温差为负值(-0.1°C),已趋于林内一般情况.

3.3.3 气地温差 图7显示了不同测点气地温差的时间变化.林外(图7a)各点的气地温差的时间变化趋势基本相似,早上和傍晚气地温差较小,中午差值较大;另外,除18、19时 $TaTs > 0^\circ\text{C}$ 之外,其余大部分时间与旷地一般规律相似, $TaTs < 0^\circ\text{C}$,热量由地面向空中输送,主要热力作用面是地面.在林缘附近(图7b),气地温差的时间变化比较复杂,为双峰曲线型.在11~12时以前,各点变化基本相似,曲线为上升趋势,气地温差由负值趋于零或转为正值,在11时(-4.5m和0m)或12时(3.8m)出现峰值,随后各点变化有较大差

输方向发生了改变, 即由上向下传输, 说明林冠成为主要热力作用面。另外, 从图 7 还可看出, 各点出现最小值的时刻不尽一致, 林缘外侧(-4.5m)在 13 时, 林缘(0m)在 15 时, 而林缘内侧(3.8m)则在 16 时, 显示不同地点的气地温差变化呈现明显的位相差; 并且以林缘(0m)的气地温差最显著, 可达 -13.5°C (15 时)。在达最小值后气地温差曲线上升, 16 时后各点的气地温差值又趋于相近, 于 18 时出现第 2 峰值。在林内 13.5 和 28.3m 测点(图 7c), 气地温差的时间变化趋势相似, 基本是趋于上升, 在早上 $T_a - T_s < 0^{\circ}\text{C}$, 地面为主要热力作用面; 随着时间逐渐增加, 差值逐渐减小, 在 11:30 左右 $T_a - T_s = 0^{\circ}\text{C}$, 随后 $T_a - T_s > 0^{\circ}\text{C}$, 热量从上向下输送, 树冠成为主要热力作用面, 在 18 时气地温差值达最大(4.0°C 和 4.5°C)。由此可见, 在林缘内外, 由于主要热力作用面的不同, 气地温差具有不同的变化趋势。在林外, 气地温差多为负值, 热量从下向上传输; 林内则反之, 气地温差多为正值, 热量由上向下输送; 而林缘附近, 由于林缘效应的影响, 气地温差的时间变化比较复杂, 特别是林缘效应较显著的 11~17 时, 不同地点、不同时刻之间, 气地温差值的差异较大, 势必造成热量传输的数量和方向的不同, 最终影响林缘附近的热力特征。

4 讨 论

通过对橡胶林缘水平热力要素之一温度的分析, 可初步看到在橡胶林缘附近存在较明显的林缘热力效应, 林缘对地面温度的影响深度可至林内 13m 处。气温和地面温度最高值分别出现在林缘 0m 处和林外 4.5m 处。这种林缘增温效应将有助于缓解橡胶树的低温寒害^[1]。林缘热力状况及其影响机制目前仍处于研究阶段, 尚需进一步研究以揭示其成因。

在林缘区域, 由于主要热力作用面的不同, 以及林

缘热力效应的作用, 使林缘附近的气温和地面温度在时空分布上存在明显差异, 且以林缘处最显著, 其结果将使不同位置的气地温差改变显著, 进而造成热量传输在数量和方向上的不同, 从而将导致林缘附近的热力特征和局地小环流发生变化。这些都有待进一步研究。

参考文献

- 1 Camargo JLC & Kapos V. 1995. Complex edge effects on soil moisture and microclimate in central Amazonian forest. *J Trop Ecol*, **11**: 205~221
- 2 Chen J. 1991. Edge Effects: Microclimatic Pattern and Biological Responses in Old-growth Douglas fir Forests, PhD Thesis, University of Washington, Seattle, WA, USA
- 3 Kapos V. 1989. Effects of isolation on the water status of forest patches in the Brazilian Amazon. *J Trop Ecol*, **5**: 173~185
- 4 Lee R. 1978. Forest Microclimatology. New York: Columbia University Press. 276pp.
- 5 Ma Y-X(马友鑫). 1994. Studies on the increased heat effect within the rubber tree rows of marmade rubber-tea community. *Acta Ecol Sin*(生态学报), **14**(1): 9~15(in Chinese)
- 6 Ma Y-X(马友鑫), Liu Y-H(刘玉洪), Zhang K-Y(张克映). 1996. A preliminary study on canopy surface temperature of rubber forest in Yunnan: *Scientia Silvae Sinicae*(林业科学), **32**(3): 193~198(in Chinese)
- 7 Ma Y-X(马友鑫), Liu Y-H(刘玉洪), Zhang K-Y(张克映). 1998. On microclimate edge effects of tropical rainforest fragments in Xishuangbanna. *Acta Phytocool Sin*(植物生态学报), **22**(3): 250~255(in Chinese)
- 8 Mucia C. 1995. Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. *Trends in Ecology and Evolution*, **10**: 58~62
- 9 Sizer NC. 1992. The edge effect and natural regeneration in lowland tropical rain forest, Central Amazonia. PhD Thesis, University of Cambridge, Cambridge, UK.
- 10 Tuner IM. 1996. Species loss in fragments of tropical rain forest: a review of the evidence. *J Appl Ecol*, **33**: 200~209
- 11 Wang Q-S(王庆锁), Wang X-P(王襄平), Luo J-Ch(罗菊春) et al. 1997. Ecotone and biodiversity. *Chin Biodiver*(生物多样性), **5**: 126~131(in Chinese)

作者简介 张一平, 男, 1957 年 8 月生, 博士, 研究员, 主要从事森林气象、农业气象、山地气候、城市气候研究。已发表论文 40 余篇。E-mail: yiping@public.km.yn.cn