

岷江上游山地森林生态气候效应

张 一平¹, 何云玲^{1, 2}, 钟水新³, 刘玉洪¹, 窦军霞^{1, 2}

(1. 中国科学院西双版纳热带植物园, 云南 昆明 650223;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100039; 3. 云南大学资源环境与地球科学学院, 云南 昆明 650091)

摘 要: 为探讨岷江上游地区山地气候特征及森林生态气候效应, 利用岷江上游南、北坡林内外的小气候观测资料, 对该地区南、北坡向山地的太阳辐射、气温(1.5 m)、地表温、水汽压、相对湿度、风速等小气候特征及森林生态气候效应进行了比较分析, 探讨了其分布规律以及彼此间的内在联系。结果表明: 不同坡向, 不同季节, 各山地气候要素分布存在区别; 而山地森林具有较显著的生态气候效应, 可以降低气温和地表温, 增加湿度, 减小风速, 其生态效应在不同季节和不同坡向存在差异; 通过林内、外气象要素的回归分析, 得知: 林内外的气象要素除 4 月风速之外, 大多数气象要素存在显著的林内外相关关系; 其中, 以气温和相对湿度的相关性最好。

关键词: 岷江上游, 小气候, 森林, 气候效应

中图分类号: P463. 22, S716. 3

文献标识码: A

地处青藏高原东缘横断山系北段高山峡谷地带长江重要支流的岷江上游地区, 是我国自然地理垂直地带中的两大阶梯过渡的地带, 也是青藏高原东缘和长江上游生态环境十分脆弱的高山峡谷区的典型代表。岷江上游干流长 341 km, 流域面积为 23 037 km², 自然条件复杂, 垂直分异显著, 是我国川西- 滇北植物特有现象中心的重要组成部分^[1]。然而, 多年以来, 由于多种自然因素和人为干扰活动相互交叉的影响, 特别是近 40 年来, 资源利用不当、人口增长等因素, 导致山地生态系统剧烈退化。如岷江上游的森林覆盖率曾经达到 50%, 然而长期以来的乱砍滥伐, 致使森林面积锐减, 森林覆盖率从 20 世纪 50 年代的 32% 下降到 80 年代初的 18.8%^[2]。森林的过度砍伐, 使得该地区环境严重恶化, 旱、涝灾害频繁, 水土流失严重, 大量的泥沙被携带入江, 进入下游, 淤积河道, 制约了对其丰富水资源的进一步开发, 成为限制当地区域经济发展的一大阻碍^[3]。受大地构造与大气环流的制约, 岷江上游地区分布着一系列不同类型的干旱河谷, 河谷

底部气候偏干, 降水稍少^[4]。许多学者已对岷江上游退化生态系统的恢复与重建进行了大量研究^[5-9]; 而在此区域要有效地进行退耕还林, 恢复植被, 增加植树成活率, 其山地气候环境条件是一个主要的控制因子。张一平等利用观测资料分析了岷江上游南北坡的山地气候特征^[2, 10], 包维楷等分析了油松人工幼林的生态环境效应^[11], 陈祖明和任守贤对岷江上游森林水文效应进行了研究^[12], 都取得了一些初步结果; 但对该地区森林的气候效应研究尚不多。为此本文对岷江上游南北坡森林气候效应进行了探讨, 以期为该地区的生态环境的建设和退化山地生态系统的恢复提供帮助。

1 研究概况

1.1 研究地概况

四川省茂县, 位于青藏高原东缘横断山系北段高山峡谷地带的长江重要支流岷江上游中部。观测地点为茂县大沟, 其中沟谷点为中科院茂县生态站

收稿日期(Received date): 2004- 10- 10; 改回日期(Accepted): 2004- 12- 02。

基金项目(Foundation item): 国家重点基础研究发展计划(国家 973 项目)(2003CB415100), 中国科学院创新重大项目(KSCX1- 07- 03)资助。[Supported by the National Key Project for Basic Research on Ecosystem Changes in Longitudinal Range- Gorge Region and Transboundary Eco- security of Southwest China (2003CB415100), the Knowledge Innovation Program of the Chinese Academy of Sciences (KSCX1- 07- 03).]

作者简介(Biography): 张一平(1957-), 男, 云南人, 博士, 研究员, 主要从事生态气候(城市气候、森林气象、农业气象)研究。Tel: 0871- 5160904, E- mail: yipingzh@xtbg.ac.cn [Zhang Yiping, male, born in 1957, doctor, researcher. Mostly field: ecological climatology (urban climate, forest meteorology and agricultural meteorology).]

($103^{\circ}53'58''\text{E}$, $31^{\circ}41'07''\text{N}$), 海拔 1 816.15 m; 观测点均在其附近的南北坡上, 南坡观测点位于土地岭 ($103^{\circ}53'34''\text{E}$, $31^{\circ}42'05''\text{N}$, 2 058 m), 主要植被为云南松 (*Pinus yunnanensis*) (平均树高 11 m, 平均胸径 11.7 cm), 密度为 42 株/(100 m²); 北坡观测点位于香柏树堂 ($103^{\circ}50'40''\text{E}$, $31^{\circ}41'28''\text{N}$, 2 067 m), 主要植被为连香树 (*Cercidiphyllum japonicum*) (平均树高 8 m, 平均胸径 10.3 cm), 密度为 30 株/(100 m²)。4 月岷江上游为干季后期, 气温升高, 植物正处于萌芽期; 而 9 月该地区为雨季, 植物处于生长期, 树木枝繁叶茂。

1.2 研究方法

观测时间为 2003-04-17~26 和 09-09-15。观测要素为: 总辐射和反射辐射(TBQ 型太阳辐射表, 锦州 322 研究所), 净辐射(MF-40 净辐射仪, 日本 EKO 株式会社), 1.5 m 高度干、湿球温度(TR-72 型自记温度计, 日本 T and D 株式会社), 地表面温度(505 型红外辐射温度计, 日本 MINOLTA 株式会社), 风速(FV-1 型微风仪, 长春气象气象仪器研究所), 云量(目测)。观测方法: 除干湿球温度(5 min 观测 1 次)外, 其余要素的观测在昼间(09:00~18:00)进行, 每小时 1 次。天气状况: 4 月多为晴朗天气, 9 月则为多云间阴天气。

1.3 数据处理方法

在分析森林的气候效应时, 是以旷地为参照点, 用林内的数值减去林外的差值加以分析。

在求算林内外各气象要素的相关关系时, 利用以下回归公式

$$Y = aX + b \tag{1}$$

式中 Y 代表林内要素值, X 代表旷地要素值。

另外, 由于 2003-04 的观测中, 南坡林内的观测仪器被盗, 数据丢失, 所以在分析森林生态气候效应时, 数据作为缺测处理。

2 结果与分析

2.1 旷地各气象要素的时间变化特征

为了把握岷江上游南北坡的气候特征, 首先对南北坡林外旷地的气候要素特征进行分析。

2.1.1 总辐射和净辐射

太阳辐射是自然界能源的主要来源, 观测期内旷地太阳辐射的时间变化如图 1 所示。可见, 4 月南、北坡旷地太阳总辐射日变化为单峰型, 在 13:00

达到最大值, 且数值相近(北坡 898.8 W/m², 南坡 980.3 W/m²)。9 月受多云天气的影响, 北坡呈现双峰型分布, 13:00 出现最大值(543.1 W/m²), 16:00 出现次大值; 而南坡仍是单峰型, 13:00 达到最大值(721.9 W/m²)。总的来看, 4 月的总辐射值均大于 9 月, 而 9 月的时间变化大于 4 月。

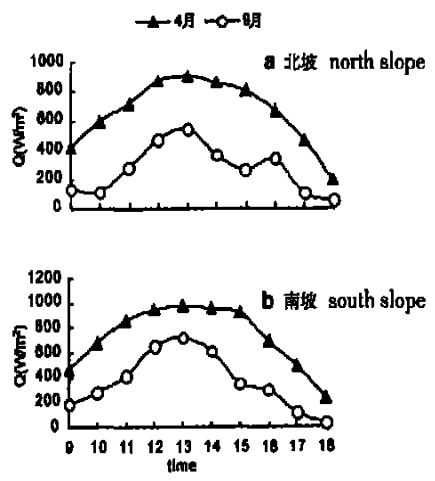


图 1 南北坡旷地太阳辐射时间变化
Fig. 1 Temporal variation of solar radiation

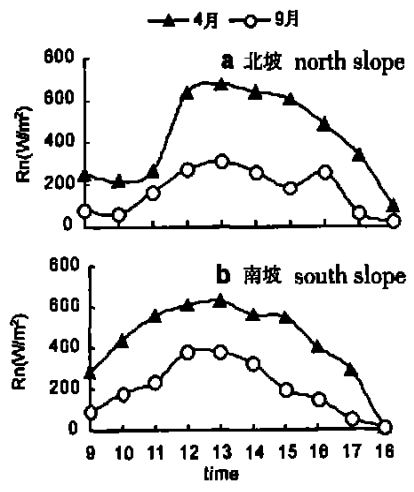


图 2 南北坡旷地净辐射时间变化
Fig. 2 Temporal variation of net radiation

净辐射显示了下垫面附近用于热量交换的能量, 当净辐射(R_n)为正时, 表示下垫面由辐射交换获得能量; 当净辐射(R_n)为负时, 表示下垫面由辐射交换损失能量。岷江上游南、北坡的昼间净辐射时间变化如图 2 所示。可见, 北坡 4 月净辐射时间变化呈现单峰分布, 在 13:00 出现最大值(676.9 W/

m²), 9 月呈双峰型, 在 13: 00(311. 6 W/m²) 和 16: 00(256. 0 W/m²) 出现峰值; 南坡在 4 月上旬 10: 00 前净辐射较小, 10: 00 后迅速增加, 于 13 时达最大值(628. 0W/m²), 9 月净辐射于 12: 00 达最大(383. 1 W/m²)。4 月的净辐射值同样大于 9 月。

2. 1. 2 气温

南、北坡旷地气温的日变化(图 3) 在干、雨季较为一致, 均为单峰分布, 最低值均在 7: 00 出现。但最高值出现时刻则有所不同, 北坡 4 月出现在 15: 00 左右, 9 月出现在下午 13: 00 左右; 南坡 4 月出现在 15: 00, 9 月出现在 14: 00。另外, 南、北坡 4 月的气温均低于 9 月。

表 1 南北坡旷地气温极值及日较差比较(℃)

Table 1 Extrema and daily ranges of air temperature of south and north slope(℃)

时间	北坡			南坡		
	最高	最低	日较差	最高	最低	日较差
4 月	12. 6	6. 7	5. 9	12. 4	6. 7	5. 7
9 月	15. 7	11. 4	4. 3	15. 4	11. 5	3. 9

对 4 月和 9 月南、北坡旷地的气温极值和日较差进行比较(表 1), 可见, 南、北坡气温较接近; 不同的是, 4 月北坡温度日较差比南坡低, 而 9 月北坡温度日较差则比南坡高。通常, 由于南坡接受的太阳辐射大于北坡, 所以南坡气温的最大值和最小值都应高于北坡, 且南坡气温日较差应小于北坡。但在本研究中观测得到的北坡气温最大值却高于南坡, 最小值低于南坡, 从而导致北坡气温日较差大于南坡。这是由于南坡的风速较强, 以致昼间气温降低所致, 其具体原因仍将是今后研究的内容。

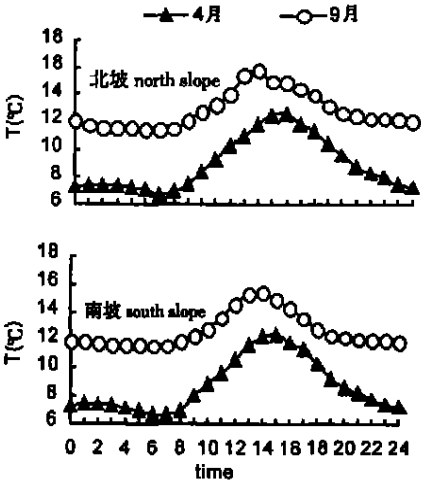


图 3 南北坡旷地气温日变化

Fig. 3 Daily variation of air temperature

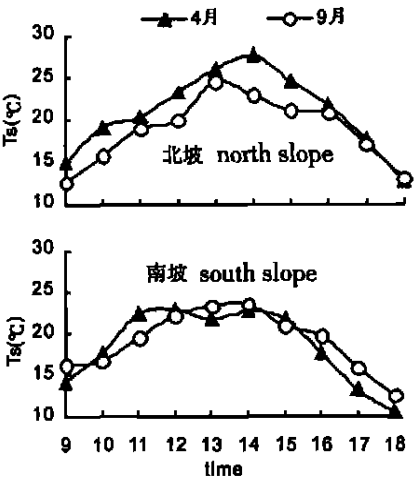


图 4 南北坡旷地地表温时间变化

Fig. 4 Temporal variation of ground surface temperature

2. 1. 3 地表温

地表温时间变化同样表现为单峰型(图 4), 北坡 4 月最高值出现在 14: 00(27. 6℃), 9 月出现在 13: 00(24. 5℃); 南坡 4 月最高值出现在 12: 00(22. 9℃), 并且在 11: 00~ 15: 00 均维持较高温度, 峰值不明显; 9 月的最高值出现在 14: 00(23. 4℃)。与气温不同, 北坡 4 月的地表温多高于 9 月, 上午和中午较明显; 而南坡 4 月的地表温与 9 月相近。

另外, 从图 5 可以看出昼间地表温均高于 1. 5 m 的气温, 并且 4 月的地气温差大于 9 月, 热量总是从温度高处向温度低处传输, 由此, 可以认为岷江上游山地昼间存在热量从地面传向空气的现象, 并且 4 月的热量传递强度大于 9 月。

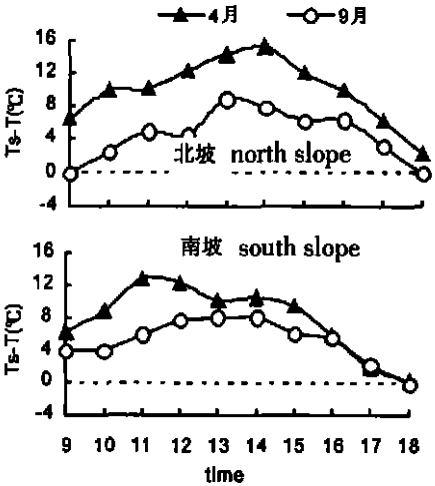


图 5 南北坡旷地地气温差时间变化

Fig. 5 Temporal variation of difference between ground surface temperature and air temperature

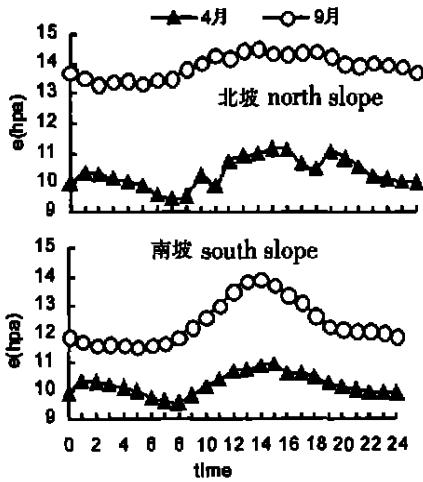


图 6 南北坡旷地水汽压日变化

Fig. 6 Daily variation of water vapour pressure

2.1.4 水汽压

水汽压均是昼间大于夜间(图 6), 北坡 4 月水汽压最大值出现在 14: 00, 最小值出现在 7: 00; 9 月的水汽压最大值出现在中午 13: 00, 而最小值出现在夜间 2: 00, 其时间变化小于 4 月, 而数值大于 4 月。南坡 4 月水汽压最大值出现在 15: 00, 最小值出现在 8: 00; 9 月最大值出现在 14: 00, 而最小值出现在 5: 00, 数值均高于 4 月。由此可知, 由于受降水的影响, 不论是南坡还是北坡, 雨季(9 月)空气中的含水量(水汽压)均要大于干季(4 月)。

2.1.5 相对湿度

南、北坡旷地相对湿度日变化如图 7 所示, 可以看出, 南、北坡旷地相对湿度在夜间均接近饱和, 到 8: 00 左右相对湿度值逐渐减小, 到 15: 00 前后达到一个极小值, 而后又逐渐升高, 到午夜时分接近饱和。另外, 南、北坡雨季(9 月)的相对湿度均在 80% 以上, 而干季(4 月)的相对湿度多小于雨季(9 月); 其干、雨季差异北坡在 14: 00~ 23: 00 较明显; 南坡则在 8: 00~ 23: 00 均呈现显著差异。

2.1.6 风速时间变化

南、北坡旷地风速昼间变化如图 8 所示, 可以看出, 南、北坡旷地风速昼间变化较为一致, 呈现逐渐增大的趋势。风速的时间变化上午较明显, 在 12: 00 之后变化减小; 下午风速大于上午。9 月的风速比 4 月大, 特别是下午差异显著, 并且 9 月的风速增加率也比 4 月大。

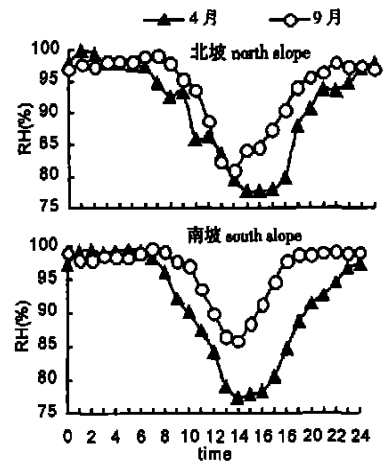


图 7 南北坡旷地相对湿度日变化

Fig. 7 Daily variation of relative humidity

2.2 山地森林生态气候效应

岷江上游为干暖河谷, 水土流失严重, 为了改善生态状况, 实施了天保工程和退耕还林工程。为了探讨该地区山地森林的生态气候效应, 以下通过分析各气象要素林内外差值特征、变化趋势, 来讨论在不同时间森林气候效应。

2.2.1 气温

首先对气温进行分析(图 9), 可见在北坡 4 月林内外气温差值均为负值, 显示了较大的降温效应; 9 月昼间降温效应比 4 月显著, 在 12: 00 降温效应达到最大(- 1.3 °C); 而在南坡, 9 月昼间 10: 00~ 14: 00, 温差小于零, 同样显示出降温效应, 但夜间温差为正值, 说明南坡雨季(9 月)夜间由于森林存在保温效应, 使得林内气温高于林外。

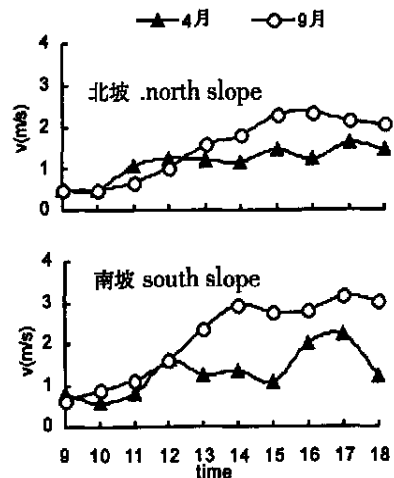


图 8 南北坡旷地风速时间变化

Fig. 8 Temporal variation of wind speed

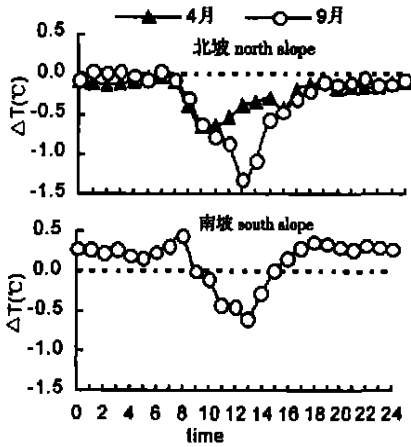


图 9 南北坡林内与旷地的气温差日变化

Fig. 9 Daily variation of difference of air temperature between inside and outside forest

2. 2. 2 地表温

比较南、北坡林内外地表温差(图 10), 可见林内的地表温大多低于林外, 说明昼间林内由于受树冠遮蔽作用的影响, 地表温低于林外, 森林起到降低地面温度的作用, 其效应在南坡 4 月大于 9 月, 差异在中午最显著; 北坡大多数时刻地表温差为负值, 同样显示森林对地表温的降温效应; 但北坡的地表温差在 4 日中午出现一个正值, 这是由于北坡的连香树 4 月正在萌芽, 树冠较稀疏, 中午阳光可直接透射进入林地, 形成光斑, 加之林内风速较小, 致使林内地表温较高。

2. 2. 3 水汽压

通过对林内与旷地水汽压差值的日变化特征分

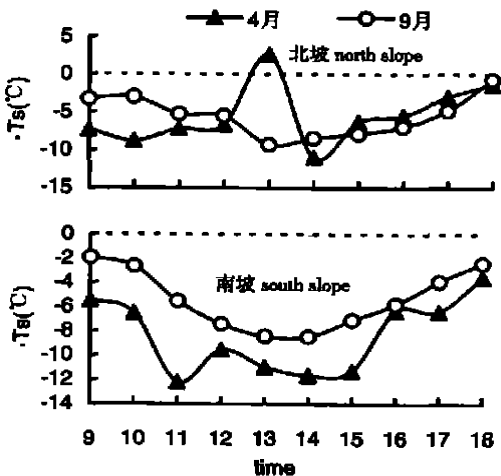


图 10 南北坡林内与旷地地表温差时间变化

Fig. 10 Temporal variation of difference of ground surface temperature between inside and outside forest

析(图 11), 可以更直观的得出森林水湿效应的强弱。在北坡, 9 月由于处在雨季, 森林内外均较湿润, 林内外水汽压大小接近, 差值较小, 时间变化也不明显, 森林效应很小; 干季的 4 月, 林内外水汽压差值均为负值, 林内空气中的水汽低于旷地, 在昼间差异更为明显, 说明在干季森林的保湿作用不明显。在南坡, 森林效应较明显, 9 月由于在雨季中, 其林内外水汽压差值均大于零, 说明南坡的云南松林内水汽压比旷地高, 森林起到了较好的保湿作用; 另外, 在 9 月的昼间, 林内外水汽压差值有个最低值, 说明在白天森林的保湿作用减弱, 在 13: 00 最弱, 林内外水汽压相差很小, 森林效应也最小。

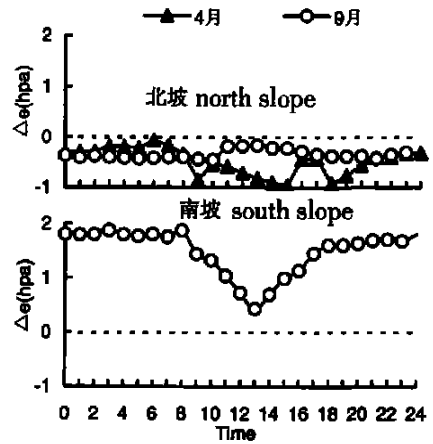


图 11 南北坡林内与旷地的水汽压差日变化

Fig. 11 Daily variation of difference of water vapour pressure between inside and outside forest

2. 2. 4 相对湿度

相对湿度的大小直接反映空气中水分距离饱和的程度, 相对湿度越小, 表明空气水分距离饱和越远, 反之则越近。相对湿度的大小不仅随大气中水汽含量而变, 也随着气温而变化。

南、北坡林内与旷地相对湿度差值的日变化如图 12。可见, 北坡在雨季(9 月) 林内与林外相对湿度差的日变化与气温的变化趋势相反, 其差值在昼间 9: 00~ 17: 00 均大于零, 在中午形成峰值; 夜晚由于气温降低, 林内受树冠的遮蔽作用, 热量不易流失, 林内气温高于林外, 使得林内相对湿度小于林外; 北坡在干季 4 月的林内外相对湿度差均为负值。而南坡在雨季, 林内与旷地相对湿度差值的日变化较小, 均是林外相对湿度大于林内。

2. 2. 5 风速

林内外的风速差时间变化如图 13 所示, 可见林

内外风速差均为负值, 显示了森林具有减小风速的作用; 差值上午较小, 而下午较大; 4 月的差值小于 9 月, 显示 4 月森林的风速效应低于 9 月。

2.3 林内外气象要素回归关系分析

将南、北坡的林内与旷地的气象要素利用公式 (1) 进行相关分析, 得出各参数如表 2。可见, 对气温而言, 南坡旷地和林内温度的拟合回归斜率 a 值在干、雨季相差不大, 相关系数均在 0.95 以上, 达到极显著水平, 说明运用回归方法通过林外气温求算林内气温时效果较好。在计算林内外水汽压相关时, 虽然相关系数均达到极显著水平, 但北坡干季相

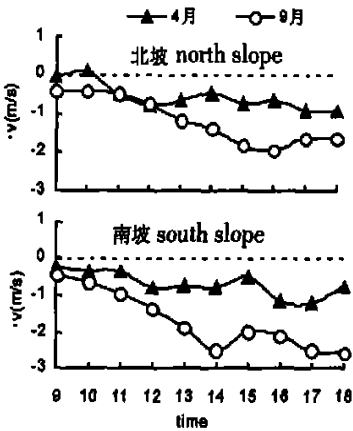


图 13 南北坡林内与旷地风速差时间变化
Fig. 13 Temporal variation of difference of wind speed

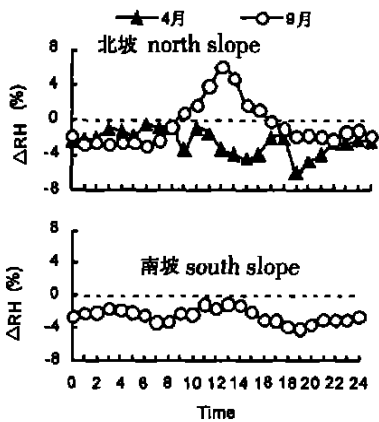


图 12 南北坡林内与旷地相对温度差日变化
Fig. 12 Daily variation of difference of relative humidity between inside and outside forest

关系数为最小, 说明在进行水汽压的林内外拟合时, 干季的效果低于雨季; 而南坡雨季相关系数可达 0.97 以上, 说明在用旷地水汽压来拟合林内水汽压时, 效果好于北坡。在对林内外相对湿度进行相关分析时, 相关系数都达 0.97, 说明在对相对湿度进行林内外拟合时, 效果都较好。在对地表温进行相关分析时, 相关系数仅在 0.54~ 0.75 间, 虽然达到极显著水平, 但是可知拟合效果低于气温等其它气象要素。在对风速进行相关分析时, 北坡 4 月的相关系数仅为 0.21, 未达到显著性水平, 可知拟合效果不好, 但其他时段, 相关系数均达显著性水平。

表 2 南、北坡林内外气象要素回归系数

Table 2 Regression coefficients of observational elements between inside and outside forest

项目		北坡			南坡		
		a	b	R^2	a	b	R^2
气温	4 月	0.958 8	0.136 9	0.992 1 ^{**}	--	--	--
	9 月	0.775 4	2.572 2	0.959 4 ^{**}	0.832 9	2.247 4	0.969 2 ^{**}
水汽压	4 月	0.553 8	4.128 1	0.780 5 ^{**}	--	--	--
	9 月	1.134 5	- 2.222 2	0.977 3 ^{**}	0.493 7	7.756 4	0.878 3 ^{**}
相对湿度	4 月	1.073 9	- 9.300 4	0.976 2 ^{**}	--	--	--
	9 月	0.620 9	35.011	0.885 3 ^{**}	0.889 9	8.099 2	0.969 0 ^{**}
地表温	4 月	0.877 1	- 2.908 8	0.541 6 ^{**}	0.370 7	3.224 6	0.687 3 ^{**}
	9 月	0.355 9	6.499 8	0.746 9 ^{**}	0.349 9	7.009 2	0.697 9 ^{**}
风速	4 月	0.120 9	0.453 3	0.207 7	0.387 5	0.095 6	0.849 8 ^{**}
	9 月	0.197 1	0.036 5	0.906 1 ^{**}	0.202 2	- 0.001 6	0.741 5 ^{**}

* * 为 $p < 0.01$ 显著性水平

3 讨论与小结

通过以上的分析可知,在考虑岷江上游森林气候效应时,不同季节,不同坡向对各森林小气候因素的影响程度不一样。具体有如下几点初步结论:

1. 在岷江上游,不同坡向,不同季节所接收的太阳辐射量不一样,南坡所接收的太阳辐射一般比北坡多,干季接收的太阳辐射量比雨季多。

2. 一般来说,受太阳辐射的影响,南坡气温高于北坡;在岷江上游山地4月气温低于9月;昼间,旷地气温高于林内气温,森林呈现降温效应;夜间林内气温高于林外气温,森林呈现保温效应;林内气温与林外气温,无论从季节上,还是从不同坡向上,均有较好的相关关系。

3. 岷江上游山地的地表温季节分布与气温相反,4月的地表温高于9月,使得4月的地气温差大于9月,显示了4月由地面向大气传输的热量大于9月,林内外相关关系,虽然通过显著性水平,但相关系数相对较小。

4. 岷江上游山地的相对湿度的大小与气温的大小呈反相关关系。凌晨,气温最低,空气中的相对湿度最大,在14:00,气温达最大值,相对湿度达到最小;夜间,林内外相对湿度差异较小,相对湿度几乎达饱和,昼间,林外气温较高,相对湿度比林内小,显示了森林的增湿效应。另外,林内外的相对湿度具有较好的相关关系。

5. 岷江上游山地的水汽压受坡向的影响很大,季节变化也较明显,雨季水汽压较干季时高。林内外水汽压的回归关系,在不同坡向有所差别;在同一坡向,不同季节,相关关系较好。

6. 对岷江上游山地的风速而言,南坡风速大于北坡风速,下午风速大于上午;林外风速变化幅度大于林内;而林外风速明显大于林内风速,显示森林具有显著的减小风速的效应。

由以上分析可以认为,在干暖河谷的岷江上游山地,进行森林植被恢复有利于山地生态环境的改变,种植树木,形成森林覆盖可以降低气温和地表温,增加湿度,减小风速,最终导致局地小环境得到改善。本文所得结果可为进一步研究森林小气候的形成机制提供基础,并为有关的环境保护,防止森林退化、水土流失及对生物多样性保护等提供依据,对研究岷江上游和青藏高原东缘长江上游的生态环境

的建设和退化山地生态系统的治理与恢复,可持续发展及改善流域生态环境质量都有着重要的意义。

致 谢:本单位研究生郭萍,刘洋、宋清海,云南大学地球科学学院段泽新同学参加了野外观测;在观测过程中得到中国科学院成都生物研究所茂县生态站的大力支持,在此表示感谢。

参考文献(References):

- [1] Liu Zhaoguang, Chen Qingheng. Degradation and countermeasures of subalpine forest ecosystem in the west of China [A]. In: Chen Lingzhi, Chen Weilie. Research of degraded ecosystem in China [C]. Beijing: China Science & Technical Press, 1995. 165~185. [刘照光, 陈庆恒. 中国西部亚高山森林生态系统退化趋势和防治对策[A]. 见: 陈灵芝, 陈伟烈. 中国退化生态系统研究[C]. 北京: 中国科学技术出版社, 1995. 165~185.]
- [2] Zhang Yiping, Zhang Zhaozhui, He Yunling. Distribution of climatic elements in the upper reaches of Minjiang River [J]. *Journal of Mountain Science*, 2004, 22(6): 179~183. [张一平, 张昭辉, 何云玲. 岷江上游气候立体分布特征[J]. 山地学报, 2004, 22(6): 179~183.]
- [3] Liu Bin, Zhang Rensui, Ji Xiantao. The present conditions of soil and water loss and its causes in dry river valley of Minjiang's upper reaches [J]. *Journal of Sichuan Agriculture University*, 1990, 8(1): 351~354. [刘斌, 张仁绥, 纪先桃. 岷江上游干旱河谷的水土流失现状和原因[J]. 四川农业大学学报, 1990, 8(1): 351~354.]
- [4] Zhang Rongzu, Zheng Du, Yang Qinye. Dry valley in the Hengduan Mountainous Region [M]. Beijing: Science Press, 1992. 2~11. [张荣祖, 郑度, 杨勤业. 横断山区干旱河谷[M]. 北京: 科学出版社, 1992. 2~11.]
- [5] Bao Weikai, Chen Qingheng, Liu Zhaoguang. Degradation of mountain ecosystem in the upper reaches of Minjiang River and countermeasures for their rehabilitation and reconstruction [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Valley*, 1995, 4(3): 277~282. [包维楷, 陈庆恒, 刘照光. 岷江上游山地生态系统的退化及其恢复重建对策[J]. 长江流域资源与环境, 1995, 4(3): 277~282.]
- [6] Bao Weikai, Chen Qingheng. Discussion on several problems of restoring and rehabilitating degraded mountain ecosystem [J]. *Journal of Mountain Science*, 1999, 17(1): 22~27. [包维楷, 陈庆恒. 退化山地生态系统恢复和重问题的探讨[J]. 山地学报, 1999, 17(1): 22~27.]
- [7] Bao Weikai, Wang Chunming. Degradation mechanism of mountain ecosystem at the dry valley in the upper reaches of the Minjiang River [J]. *Journal of Mountain Science*, 2000, 18(1): 57~62. [包维楷, 王春明. 岷江上游山地生态系统的退化机制[J]. 山地学报, 2000, 18(1): 57~62.]
- [8] Ye Yanqiong, Chen Guojie, Fan Hong. Vulnerability of the environment in the upper reaches of Minjiang River [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Valley*, 2002, 11(4): 383~

387. [叶延琼, 陈国阶, 樊宏. 岷江上游脆弱生态环境刍论[J]. 长江流域资源与环境, 2002, 11(4): 383~ 387.]
- [9] Ye Yanqiong, Chen Guojie, Yang Dingguo. Problems and management countermeasures in the upper reaches of Minjiang River[J]. *Journal of Chongqing Environment Science*, 2002, 24(1): 2~ 5. [叶延琼, 陈国阶, 杨国定. 岷江上游生态环境问题及整治对策[J]. 重庆环境科学, 2002, 24(1): 2~ 5.]
- [10] Zhang Yiping, Ge Zaiwei, Liu Yuhong, et al.. A comparative study on difference of microclimate between south facing and north facing slope of the upper reaches of Minjiang River in rainy season[J]. *Journal of Mountain Science*, 2002, 20(6): 680~ 686. [张一平, 葛在伟, 刘玉洪, 等. 岷江上游雨季南北坡小气候特征比较[J]. 山地学报, 2002, 20(6): 680~ 686.]
- [11] Bao Weikai, Qiao Yongkang, Chen Qingheng. Eco- environment effects of the typical young *Pinus Tabulaeformis* plantation rehabilitation in the upper reaches of Minjiang River[J]. *Journal of Mountain Science*, 2003, 21(6): 662~ 668. [包维楷, 乔永康, 陈庆恒. 岷江上游典型油松人工幼林的生态环境效应[J]. 山地学报, 2003, 21(6): 662~ 668.]
- [12] Chen Zuming, Ren Shouxian. A study on hydrological effects of forest in the upstream Minjiang River[J]. *Acta Geographica Sinica*, 1992, 47(1): 49~ 57. [陈祖明, 任守贤. 岷江上游森林水文效应研究[J]. 地理学报, 1992, 47(1): 49~ 57.]

A Study on Ecoclimatic Effects of Montane Forest in the Upper Reaches of Minjiang River

ZHANG Yiping¹, HE Yunling^{1, 2}, ZHONG Shuixin³, LIU Yuhong¹, DOU Junxia^{1, 2}

(1. *Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, CAS, Kunming 650223, China;*

2. *Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China;*

3. *School of Resource Environment & Earth Science, Yunnan University, Kunming 650091, China)*

Abstract: The goal of this paper is to investigate the montane climate characteristics and forest ecoclimatic effects in the upper reaches of Minjiang River. Based on the microclimatic observation data of inside and outside montane forest in the upper reaches of Minjiang River, Mao County, Sichuan Province, the distribution characteristics and correlation of solar radiation, air temperature, water vapor pressure, relative humidity, wind speed and ground surface temperature for different slope orientations were studied. The results indicate that microclimatic elements show the differences that exist in the various slope orientations and the notable seasonal variations. In addition, the obvious ecoclimatic effects, decreasing in air temperature, ground surface temperature and wind speed, and increasing in humidity, in the montane forest also show some great differences in different seasons and different slopes. Furthermore, using the regression analysis of microclimatic elements between inside and outside forest, we learn that there is a significant correlation between inside and outside forest in most of microclimatic elements except wind speed in April. Meanwhile, the correlation of air temperature and relative humidity is the most significant.

Key words: the upper reaches of Minjiang River, microclimate, montane forest, climatic effect