

文章编号: 1008- 2786- (2009) 2- 0203- 08

# 哀牢山北段地区气候特征及变化趋势

刘 洋<sup>1, 2</sup>, 张 一平<sup>1\*</sup>, 刘玉洪<sup>1</sup>, 高 富<sup>1, 3, 4</sup>, 巩合德<sup>1, 4</sup>

(1. 中国科学院西双版纳热带植物园, 云南 昆明 650223 2. 云南省农村科技服务中心, 云南 昆明 650051

3. 中国科学院昆明植物所, 云南 昆明 650204; 4. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

**摘 要:** 以哀牢山北段地区不同位置的景东(西侧盆地)、徐家坝(山顶)和楚雄(东侧盆地)为研究对象, 利用三地 1980~ 2005年同期气候观测资料, 通过统计分析, 探讨了哀牢山东、西侧盆地及山顶气温和降雨特征及长期变化趋势。结果表明: 哀牢山北段地区最热月均出现在 6月; 最冷月, 西侧盆地和山顶为 1月, 东侧盆地最冷月为 12月; 降雨的季节差异十分显著, 雨季降雨量占全年的 85% 以上, 以 7月降雨量最多。从气候的长期变化趋势来看, 年、季和月平均气温均呈现显著的升高趋势, 气温的显著升高主要发生在干季, 增温率为干季 > 年 > 雨季。最冷月均温增温率最大, 最热月均温没有显著增加, 气温年较差呈减小趋势。研究表明, 哀牢山北段地区山顶及两侧盆地均呈现显著的变暖趋势, 与植物生存直接相关的  $\Sigma \geq 0\text{C}$  有效积温和  $\Sigma \geq 10\text{C}$  活动积温也显著增加。气温的变化具有显著的空间差异, 增温速率为东侧盆地 > 山顶 > 西侧盆地。山地迎风坡面(西坡)气温垂直递减率显著减小, 背风坡面(东坡)气温垂直递减率整体呈增大趋势。降雨整体呈增加趋势, 不同季节间降雨的变化差异显著, 年降雨量的增加主要由于雨季降雨的增加, 干季降雨呈微弱上升或下降趋势, 降雨的增加率为东侧盆地 > 山顶 > 西侧盆地。哀牢山北段地区干季的干热气候特征进一步加剧, 这种变化趋势在山地的背风坡面(东坡)表现得更加剧烈。

**关键词:** 气候变化; 山地气候; 气候特征; 区域变化; 哀牢山

中图分类号: P463

文献标识码: A

全球气候变化和极端气候事件频发及其与之关联的诸多社会、经济和生态效应日益受到社会各界的广泛关注<sup>[1, 2]</sup>。IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)于 2007- 02 发布了第四次评估报告, 指出全球气候变暖和极端气候事件频发已经成为一个不争的事实, 近 100 a (1906~ 2005 年)全球地面平均气温上升了 0.74℃ (0.56~ 0.92℃)。自 1850 年以来最暖的 12 个年份中的 11 个出现在 1995~ 2006 年间, 近 50 a 的线性增温速率为 0.13℃/a 是过去 100 a 的 2 倍, 20 世纪 80 年代以来气候变化最为显著<sup>[3, 4]</sup>。中国近 100 a 的增暖幅度为 0.50~ 0.80℃, 近 50 a 北方部分地区增温速率达 0.80℃/(10 a), 远大于北半球的平均增温速率<sup>[5]</sup>。

全球范围内的降雨变化研究表明, 近 100 a 全球平均年降雨量略有减小, 北半球低纬度热带、亚热带地区降雨减少, 中高纬度地区降雨量增多<sup>[4, 6, 7]</sup>。中国近 50 a 降雨量总体下降, 形成了南涝北旱的降雨格局<sup>[5, 8]</sup>。研究表明, 西南部分地区气温呈下降趋势, 其中包括云南的北部<sup>[9, 10]</sup>, 云南的河谷地区降雨整体呈减少趋势<sup>[11]</sup>。全球气候变化将产生一系列的社会、经济和生态问题<sup>[12, 13]</sup>, 其中包括对森林生态系统的影响。全球森林面积仅占陆地面积的 26%, 但其碳储量却占陆地植被碳储量的 80% 以上, 森林每年固碳量占陆地生物总固碳量的 2/3<sup>[14]</sup>。全球气候变化将影响到森林生态系统的碳存储, 森林的分布范围、生产力、物种组成、植物的物候

收稿日期 (Received date): 2008- 03- 11; 改回日期 (Accepted): 2008- 11- 03.

基金项目 (Foundation item): 国家重点基础研究发展计划 (973 项目) (2003CB415101), 云南省自然科学基金重点项目 (2003C0002Z) 资助。 [ Supported by the National Key Project for Basic Research on Ecosystem Changes in Longitudinal Range-Gorge Region and Transboundary Ecosystem of Southwest China (2003CB415100), the Natural Science Foundation of Yunnan Province (2003C0002Z). ]

作者简介 (Biography): 刘洋 (1982- ), 男, 汉族, 黑龙江人, 博士, 主要研究领域: 生态气候。 [ Liu Yang (1982- ), male, the Han nationality. Mostly field ecological climatology. ] Tel 0871- 3169621, E-mail liuyang0315@foxmail.com

\* 通讯联系人 (Corresponding author): 张一平 [ Zhang Yiping ], E-mail yipingz@xtbg.ac.cn, Tel. 0871- 5160904

和土壤的养分循环等诸多方面<sup>[15]</sup>。区域气候变化由于其区域特性与全球变化有非同步性,并将最终对区域生态系统产生影响<sup>[16-17]</sup>。深入分析区域尺度和局部地区的气候变化,可以提高全球变化在区域尺度上的可信度和准确性<sup>[18]</sup>。

哀牢山纵贯云南中部,位于我国云贵高原、横断山地和青藏高原三大自然地理区域的结合部,是滇中高原与滇西纵谷区的地理分界线<sup>[19]</sup>。作为云南亚热带北部与亚热带南部的过渡区域,成为了多种生物区系地理成分东西交汇、南北过渡的荟萃之地,并且分布着我国目前面积最大(34 483 hm<sup>2</sup>)以云南特有植物种为优势的亚热带常绿阔叶林区,保存着处于原始状态、完整而稳定的亚热带山地森林生态系统。该区域在气候上同时受到低纬和高纬季风环流影响,除形成固有的山地垂直气候特征外,因山脉走向(西北-东南)与其环流风系(东北和西南季风)近垂直相交而派生出显著的坡向气候效应,从而形成了森林植被的垂直与坡向分异特征<sup>[19]</sup>。在20世纪80年代初,中国科学院昆明生态研究所在位于国家级自然保护区核心区中,设置了哀牢山亚热带森林生态系统研究站,对该地区山地气候的垂直分布特征开展过研究<sup>[20-22]</sup>,并按规范在山顶设置了气候观测站,开展长期定位气候观测,至今为止已经积累了宝贵的长期山地气候观测资料。

本研究从山地气候变化角度出发,利用长期观测资料,探讨该区域气候长期变化趋势,分析其变化趋势与全球和全国气候变化的关联性如何?以及山地的不同位置(迎风坡面、山顶和背风坡面)气候变化的有同步性?并预测气候变化对于这一区域特有植被类型和植物分布的潜在影响。

## 1 资料与方法

本文选取哀牢山北段地区纬度相近位置不同的景东(西侧盆地, 24°17'N, 100°31'E, 1 162 m)、徐家坝(山顶, 24°33'N, 101°02'E, 2 505 m)和楚雄(东侧盆地, 25°01'N, 101°32'E, 1 772 m)1980~2005年逐月气温和降雨资料,其中山顶观测点资料来源于中国科学院哀牢山亚热带森林生态系统定位研究站,气象站资料来源于中国气象局国家气象信息中心<sup>[23]</sup>,包含了自1980年以来的气候数据;以上三个站点受人为活动影响均较小。基于以上气候观测资料,求算气温和降雨近26 a平均值,气温和降雨逐

月、季和年的长期变化特征,并采用线性方程拟合其变化趋势。因为哀牢山地区均受西南季风的影响,冬季受到干暖季风环流控制,天气晴朗干旱;夏季受湿热季风环流控制,云雨较多。一年内干、湿季分明,因此分为雨季(5~10月)和干季(11月至次年4月)分别进行统计。

## 2 结果与分析

### 2.1 区域气候特征

哀牢山北段地区气候特征如图1所示,不同位置三地的气温年变化均呈单峰型分布,5~10月气温较高,各月间气温变化较小;11~4月气温较低,而各月间气温变化较大。对于西侧盆地、山顶和东侧盆地,多年平均最热月均温分别为23.78℃、15.17℃和21.53℃,最冷月均温分别为11.53℃、5.16℃和9.19℃。三地的最热月均出现在6月,西侧盆地和山顶的最冷月出现在1月,东侧盆地最冷月出现在12月,与全国大部分地区情况(最热月为7月,最冷月为1月)有所不同。形成这种温度分布格局的主要原因在于整个哀牢山地区均受西南季风控制,夏季受湿热季风环流控制,带来了充沛的降雨,7月降雨最多,相应的太阳辐射减少、气温降低,因此最热月出现在降雨峰值前的6月。哀牢山以西地区主要受到西南季风影响,哀牢山以东地区在冬季除了受西南季风影响外,同时还受东北季风的影响,因此哀牢山东侧盆地最冷月出现在12月而非1月。气温年较差是指最热月均温与最冷月均温的差值,哀牢山北段地区气温年较差分别为12.25℃(西侧盆地)、10.01℃(山顶)和12.34℃(东侧盆地),东、西侧盆地的气温年较差显著高于山顶,同时这一地区的气温年较差明显小于我国东部同纬度地区。

哀牢山北段地区的降雨具有显著的季节性差异,主要的降雨集中在5~10月占全年总降雨量的85%以上,尤其在6~8月降雨较多,而11月至次年4月降雨显著减小。对比不同位置的年降雨量,海拔相对较低的西侧盆地(景东, 1 162 m)年降雨量1 151.6 mm显著高于东侧盆地(楚雄, 1 772 m)的年降雨量891.3 mm,这是由于哀牢山脉为西北-东南走向,与西南季风近直交,西南季风带来的暖湿气流,在迎风坡面(西坡)形成了充沛的降雨,而过山气流在山体的背风坡面(东坡)产生了显著的“焚风效应”<sup>[20]</sup>。总体而言,哀牢山地区5~10月气温较

高、降雨较多, 11月至次年 4 月气温较低、降雨较少, 呈现了雨、热同期的气候特征。

### 2.2 气候变化趋势

#### 2.2.1 气温变化趋势

哀牢山北段干季、雨季和年平均气温, 在西侧盆地、山顶和东侧盆地均呈现了明显的增温趋势, 增温趋势干季最为显著, 年平均气温次之, 雨季最小(图 2 表 1)。对于西侧盆地、山顶和东侧盆地, 年、季平均气温的增温率均体现了干季 > 年 > 雨季的变化特征, 分别为西侧盆地的干季 (0.030 3 °C/a) > 年 (0.017 9 °C/a) > 雨季 (0.005 4 °C/a)、山顶的干季 (0.068 2 °C/a) > 年 (0.041 7 °C/a) > 雨季

(0.015 2 °C/a)和东侧盆地的干季 (0.077 7 °C/a) > 年 (0.041 9 °C/a) > 雨季 (0.006 0 °C/a)。

对比哀牢山北段三地的增温率, 可见, 东侧盆地的增温速率最大、山顶次之、西侧盆地最小(见表 1)。进一步分析可见, 哀牢山北段地区三地的相同季节的平均气温增温率, 干季差异最大为东侧盆地 (0.077 7 °C/a) > 山顶 (0.068 2 °C/a) > 西侧盆地 (0.030 3 °C/a), 年平均气温次之为东侧盆地 (0.041 9 °C/a) > 山顶 (0.041 7 °C/a) > 西侧盆地 (0.017 9 °C/a), 雨季的气温变率较小, 并且各地间差异不显著(表 1)。

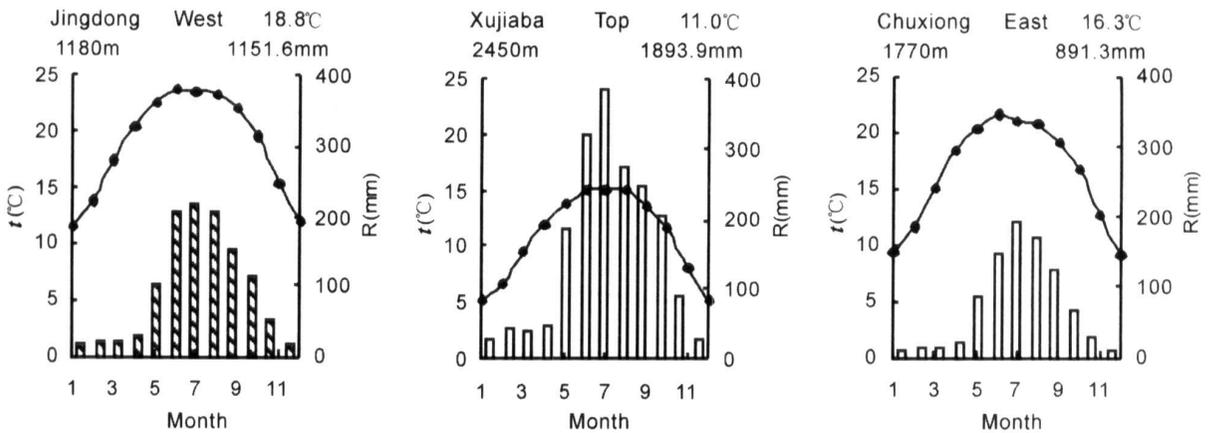


图 1 哀牢山北段地区气候特征图

Fig. 1 Climatic characteristics diagrams of three sites

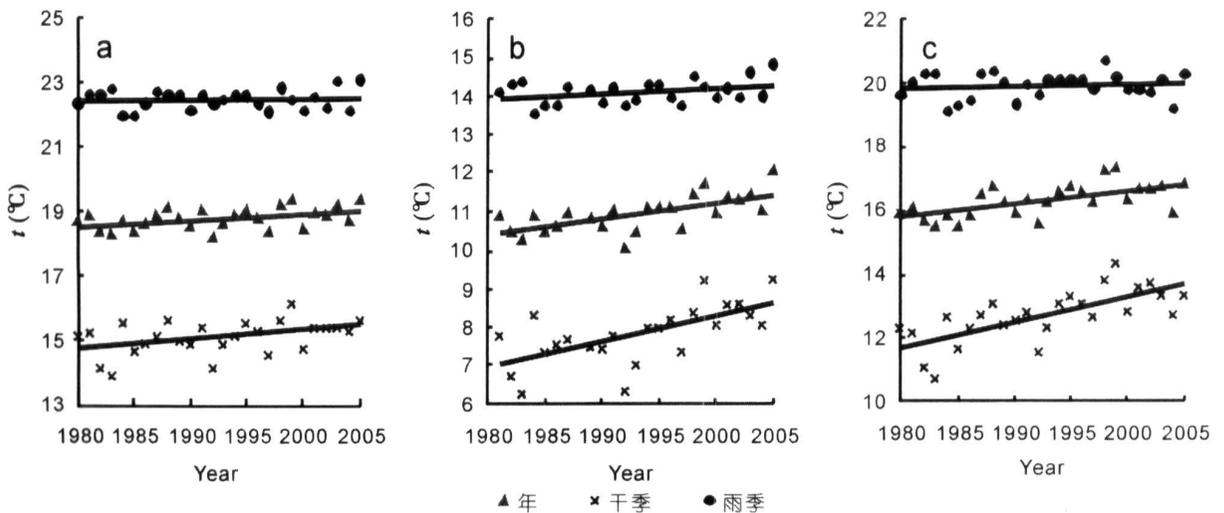


图 2 年、季平均气温变化趋势

(a) 西侧盆地; (b) 山顶; (c) 东侧盆地

Fig. 2 Change trend of annual and seasonal mean air temperature from 1980 to 2005

(a) west valley; (b) mountaintop; (c) east valley

表 1 年、季平均气温变化速率

Table 1 Incremental rate of mean air temperature in annual and seasonal scale ( $^{\circ}\text{C}/\text{a}$ )

项目	景东	徐家坝	楚雄
干季	0.0303*	0.0682**	0.0777*
雨季	0.0054	0.0152	0.0060
年	0.0179*	0.0417**	0.0419*

\*  $P < 0.05$ ; \*\*  $P < 0.01$ 

山地不同位置增温率的不同步将直接导致不同坡向气温垂直递减率的变化,东、西侧盆地与山顶气温差逐年变化趋势如图 3 所示,西侧盆地与山顶的

气温差在干季、雨季和年尺度上均呈现了显著减小的趋势,这将直接导致山地西坡气温垂直递减率的减小;而山地东侧盆地与山顶气温差整体呈微弱上升趋势,表明山地东坡的气温垂直递减率将略有增加。

对比最冷月均温和最热月均温的变化趋势可见,最冷月均温有显著的增温趋势(图 4a),其增温率明显高于年、季平均气温的增温率(见表 1,表 2)。其中,东侧盆地的增温率最大为  $0.0864^{\circ}\text{C}/\text{a}$  山顶次之为  $0.0698^{\circ}\text{C}/\text{a}$  西侧盆地最小为  $0.0311^{\circ}\text{C}/\text{a}$  最热月均温增温率最小,没有呈现显著的增温趋势(图 4b)。气温年较差呈减小趋势,减小幅度东侧盆地 > 山顶 > 西侧盆地(表 2)。

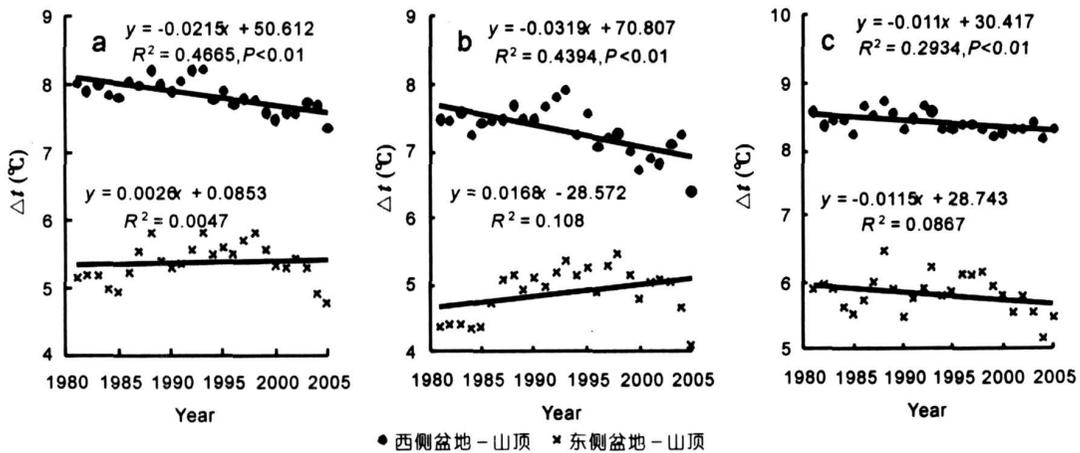


图 3 东、西侧盆地与山顶气温差变化趋势

(a) 年; (b) 干季; (c) 雨季

Fig. 3 Change trend of the differences in air temperature between east valley, west valley and mountaintop (a) annual; (b) dry-season; (c) rainy-season

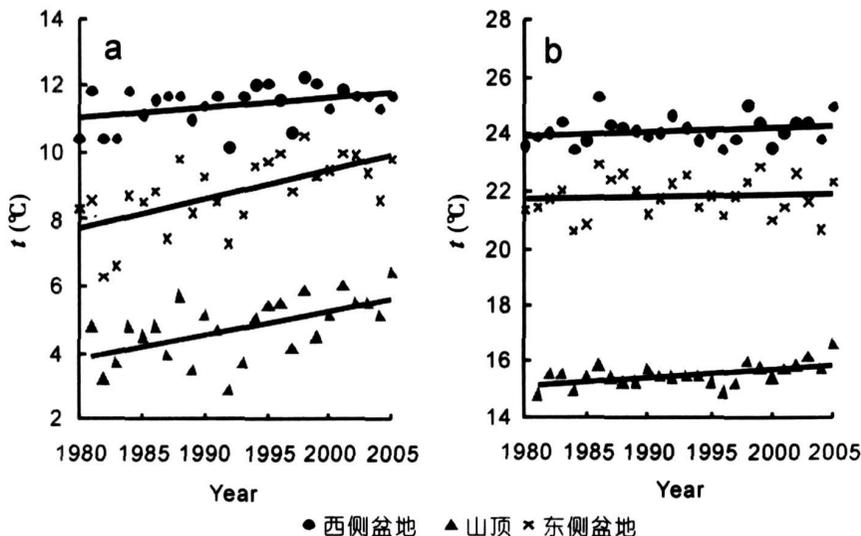


图 4 最冷月均温 (a) 及最热月均温 (b) 变化趋势

Fig. 4 Change trend of minimum (a) and maximum (b) monthly temperature

表 2 月平均气温变化速率

Table 2 Change rate of mean monthly air temperature (°C/a)

项目	景东	徐家坝	楚雄
最冷月	0.031 1*	0.069 8**	0.086 4*
最热月	0.011 1	0.029 6*	0.007 3
年较差	-0.020 0	-0.040 2	-0.079 1*

\*  $P < 0.05$ ; \*\*  $P < 0.01$

积温与植物的生长、发育和繁殖息息相关, 气候

的变化将直接作用于植物的生活史, 并将影响山地植物群落结构和物种分布范围。对于亚热带山地植物而言,  $\sum t \geq 0^\circ\text{C}$  的有效积温和  $\sum t \geq 10^\circ\text{C}$  的活动积温的生态效应最为显著。图 5 显示了活动积温和有效积温的变化趋势, 可见三地的活动积温和有效积温均呈现增加的趋势, 并且均达到了显著性水平 (表 3)。三地积温的增加幅度同样也体现了东侧盆地 > 山顶 > 西侧盆地的变化趋势, 同时东侧盆地有效积温的增加速率显著高于活动积温。

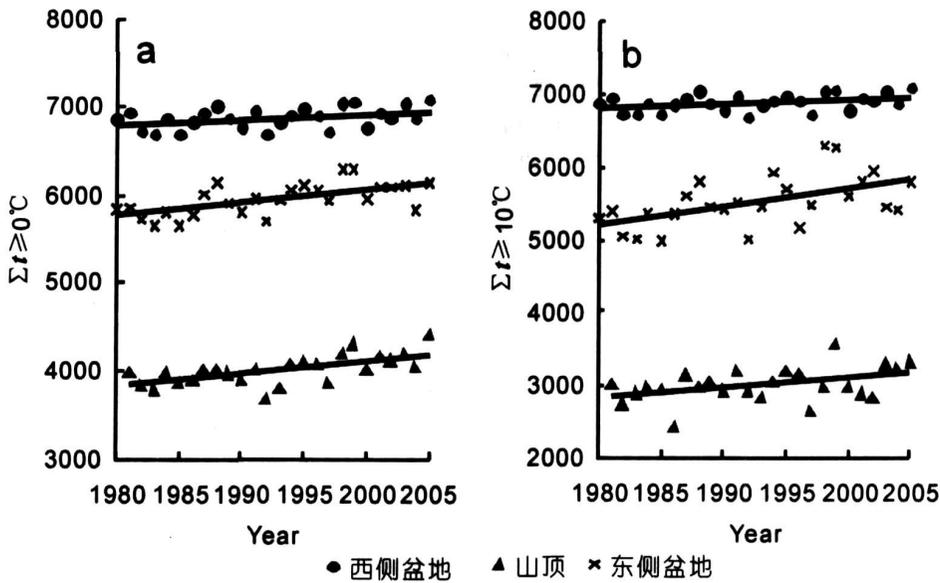


图 5 积温变化趋势  
(a)  $\sum t \geq 0^\circ\text{C}$ ; (b)  $\sum t \geq 10^\circ\text{C}$

Fig. 5 Chang trend of accumulative temperature  
(a)  $\sum t \geq 0^\circ\text{C}$ ; (b)  $\sum t \geq 10^\circ\text{C}$

表 3 积温变化速率

Table 3 Change rate of accumulative temperature (°C/a)

项目	景东	徐家坝	楚雄
$\sum t \geq 0^\circ\text{C}$	6.421 5*	14.857 0**	15.125 0*
$\sum t \geq 10^\circ\text{C}$	6.421 5*	13.251 0*	25.035 0*

\*  $P < 0.05$ ; \*\*  $P < 0.01$

### 2.2.2 降雨变化趋势

年、季降雨量长期变化特征如图 6 所示, 可见哀牢山北段地区降雨整体呈现增加的趋势, 以背风坡面 (东坡, 楚雄) 降雨量的增幅最大, 山顶降雨量也明显增加, 迎风坡面 (西坡, 景东) 降雨量的增幅最小。同时, 年降雨量呈现增加趋势, 主要是受雨季降雨增多的影响, 而降雨量较少的干季, 三地的降雨量

变化呈微弱的增加甚至减少的趋势。对比哀牢山北段地区不同位置降雨量的变化特征 (表 4), 可见, 降雨量的变率为东侧盆地 > 山顶 > 西侧盆地, 其中西侧盆地的降雨量变率明显小于山顶和东侧盆地。不同季节降雨量变率的差异在东侧盆地呈现为年 > 雨季 > 干季; 而山顶和西侧盆地为雨季 > 年 > 干季。

表 4 年、季降雨量变化速率

Table 4 Change rate of precipitation in annual and seasonal scale (mm/a)

项目	景东	徐家坝	楚雄
干季	-0.316 0	-0.807 7	0.520 2
雨季	2.249 5	10.542 0	10.828 0
年	1.933 5	9.734 5	11.349 0

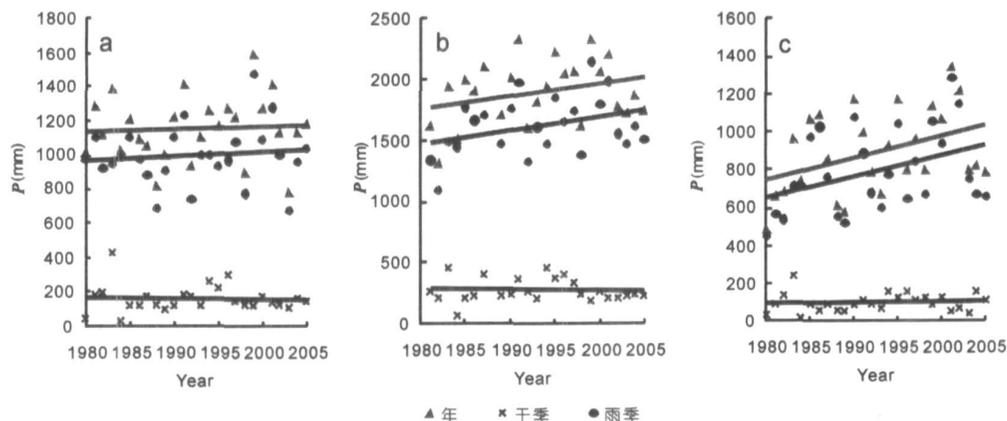


图 6 年、季降雨量变化趋势

(a) 西侧盆地; (b) 山顶; (c) 东侧盆地

Fig. 6 Time series for precipitation in annual and seasonal scale

(a) west valley; (b) mountain top (c) east valley

### 3 讨论与结论

哀牢山北段地区自 1980 年以来年平均气温的增温率在  $0.18 \sim 0.42 \text{ } ^\circ\text{C} / (10 \text{ a})$  间, 高于全球近 50 a 的线性增温率 ( $0.13 \text{ } ^\circ\text{C} / (10 \text{ a})$ )<sup>[3]</sup>, 也高于全国平均气温增温率 ( $0.25 \text{ } ^\circ\text{C} / (10 \text{ a})$ )<sup>[10]</sup>, 小于我国北方增温幅度较大地区 ( $0.80 \text{ } ^\circ\text{C} / (10 \text{ a})$ )<sup>[5]</sup>。与本地区河谷地区相比, 山地的平均气温增温率略高于河谷地区 ( $0.10 \sim 0.40 \text{ } ^\circ\text{C} / (10 \text{ a})$ )<sup>[11]</sup>, 与云南高原北部部分地区的弱降温趋势有所不同<sup>[9, 10]</sup>。气温的长期变化趋势具有季节性差异, 干季的平均气温增幅最大, 雨季平均气温没有明显的升高趋势, 年平均气温的增加主要来源于干季温度的升高。最冷月均温增温率最大, 最热月均温没有显著的增加。生物的活动积温和有效积温显著增加。对比山地不同位置的增温率, 山顶具有明显的增温趋势, 其增温率高于处于迎风坡面西侧盆地, 而处于山地背风坡面的东侧盆地增温率最大。哀牢山北段地区, 降雨整体呈现增加的趋势, 与北半球热带、亚热带地区降雨减少和我国降雨量总体下降的趋势有所不同, 也有别于本地区河谷地带降雨量整体减少的趋势<sup>[11]</sup>。相对于迎风坡面降雨量基本保持不便, 山顶和背风坡面降雨量增幅较大, 其中背风坡面东侧盆地的降雨增加最多, 这可能与气候的不断变暖, 季风交汇区天气现象更加剧烈有关。降雨的增多主要体现在雨季降雨的增加, 雨季的降雨充沛, 降雨量已达全年的 85% 以上, 因此过多的降雨多数为无效降雨, 将直接导致降雨的强度和频率的变化, 增加了产生滑坡和

泥石流等地质灾害的可能性。

以上结果表明: 哀牢山北段地区山顶及两侧盆地均呈现显著的变暖趋势, 与植物生存直接相关的  $\sum t \geq 0^\circ\text{C}$  的有效积温和  $\sum t \geq 10^\circ\text{C}$  的活动积温显著增加, 这必将对这一地区森林的分布范围、生产力、物种组成、植物的物候和土壤的养循环等诸多方面产生影响<sup>[15]</sup>。雨季降雨增多增加了发生山地地质灾害的可能性。山顶的长期气候观测结果体现了其变暖趋势的存在, 并具有较大的增温率, 这必将对山地植物群落和物种分布产生影响。已有研究表明分布在高海拔地区的植物对于气候变化十分敏感, 在气候变暖的情况下, 高山植物物种会沿海拔梯度向上迁移, 甚至导致其灭绝<sup>[24]</sup>。哀牢山地区是我国目前为止最大的亚热带常绿阔叶林保护区, 保存着处于原始状态、完整而稳定的亚热带山地森林生态系统, 在山顶顶部分布着云南特有的中山湿性常绿阔叶林和山地苔藓矮林植被<sup>[25]</sup>, 许多特有植物类群尤其是一些附生植物依存于山地上部湿润、温凉的气候环境, 并且对于生境的变化十分敏感, 气温的大幅升高以及干季干热的气候特征的不断加剧将可能给这些特有植物类群的生存带来前所未有的危机。

西南的近南北走向的山系河谷地区, 由于山脉走向与西南季风近直交, 在山地的背风坡气候干热具有显著的“焚风效应”<sup>[20]</sup>, 形成了特有的干热河谷植被<sup>[25]</sup>。这种植被类型与非洲大陆的热带稀树草原植被 (Savanna) 极其相似, 以稀树灌草植被为代表, 其特有的植被类型是在干热的气候条件下形成的, 物种数较少, 生物多样性较低, 是一种极易退化的植被类型<sup>[26]</sup>。山地背风坡气温的大幅升高, 尤

其是在干季,干热气候特征进一步加剧,势必对这一特有植被类型的生存带来了更加严峻的挑战;同时,一些生境单一、分布范围较小的植物类群将存在灭绝的危险。山地不同位置增温率的不一致,导致了迎风坡面气温垂直递减率显著减小,背风坡面气温垂直递减率整体呈弱上升趋势,将直接作用于山地植被带的垂直分布格局,随着物种分布范围的变化,原有植被类型延海拔梯度也将产生迁移,并且这种变化幅度在山地的不同坡面是不同的。

综上所述,本研究选取哀牢山北段地区纬度相近位置不同的三地为研究对象,分别代表了西侧盆地(景东)、山顶(徐家坝)和东侧盆地(楚雄),利用1980~2005年气温和降雨的同期观测资料,通过统计分析,探讨了哀牢山东、西侧盆地及山顶气温和降雨的空间差异及长期变化趋势,主要结论如下:

1. 气候因子的多年平均状况表明,与全国平均气温1月最冷7月最热不同,哀牢山北段地区最热月均出现在6月,西侧盆地和山顶的最冷月出现在1月,东侧盆地的最冷月出现在12月。降雨的空间差异显著,山顶的降雨最多,西侧盆地的降雨量显著高于东侧盆地。降雨的季节性差异显著,最大降雨量出现在7月,雨季的降雨量占全年的85%以上。

2. 气候长期变化特征显著,年、季和月平均气温均呈现显著的升高趋势,气温的显著升高主要发生在干季,增温率为干季>年>雨季。最冷月均温增温率最大,最热月均温没有显著的增加,气温年较差呈减小趋势。 $\sum t \geq 0^{\circ}\text{C}$ 有效积温和 $\sum t \geq 10^{\circ}\text{C}$ 活动积温显著增加。气温的变化具有显著的空间差异,增温速率为东侧盆地>山顶>西侧盆地。山地迎风坡面(西坡)气温垂直递减率显著减小,背风坡面(东坡)气温垂直递减率整体呈增大趋势。

3. 降雨整体呈增加趋势,不同季节间降雨的变化差异显著,年降雨量的增加主要由于雨季降雨的增加,干季降雨呈微弱上升或下降趋势,降雨的增加率为东侧盆地>山顶>西侧盆地。哀牢山北段地区干季的干热气候特征进一步加剧,这种变化趋势在山地背风坡面(东坡)表现得更加剧烈。

## 参考文献 (References)

- [1] Onate J J, Pou A. Temperature variations in Spain since 1901: a preliminary analysis [J]. *International Journal of Climatology*, 1996, 16(7): 805~815
- [2] Schimwiese C-D, Grieser J, Thiel S. Secular change of extreme monthly precipitation in Europe [J]. *Theoretical and Applied Climatology*, 2003, 75(3-4): 245~250
- [3] Qin Dahe, Chen Zhenlin, Luo Yong, et al. Updated understanding

of climate change sciences [J]. *Advances in Climate Change Research*, 2007, 3(2): 63~73 [秦大河, 陈振林, 罗勇, 等. 气候变化科学的最新认知 [J]. 气候变化研究进展, 2007, 3(2): 63~73]

- [4] IPCC. Summary for Policymakers of Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007
- [5] Ding Yihui, Ren Guoyu, Zhao Zongci, et al. Detection, attribution and projection of climate change over China [J]. *Desert and Oasis Meteorology*, 2007, 1(1): 1~10 [丁一汇, 任国玉, 赵宗慈, 等. 中国气候变化的检测及预估 [J]. 沙漠与绿洲气象, 2007, 1(1): 1~10]
- [6] Bradley R S, Diaz H F, Eischeid J K, et al. Precipitation fluctuations over northern hemisphere land areas since the mid-19th century [J]. *Science*, 1987, 237: 171~175
- [7] Hulme M. A 1951-80 global land precipitation climatology for the evaluation of general circulation models [J]. *Climate Dynamics*, 1992, 7(2): 57~72
- [8] Wang Ying, Cao Minghui, Tao Ba, et al. The characteristics of spatio-temporal patterns in precipitation in China under the background of global climate change [J]. *Geographical Research*, 2006, 25(6): 1031~1041 [王英, 曹明奎, 陶波, 等. 全球气候变化背景下中国降水量空间格局的变化特征 [J]. 地理研究, 2006, 25(6): 1031~1041]
- [9] Zhang Jingjing, Chen Shuang, Zhao Xinyi. Spatial divergence of temperature change during 1951-2000 in China and its correlation with global climate change [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2006, 20(4): 1~6 [张晶晶, 陈爽, 赵昕奕. 近50年中国气温变化的区域差异及其与全球气候变化的联系 [J]. 干旱区资源与环境 [J], 2006, 20(4): 1~6]
- [10] Ren Guoyu, Xu Mingzhi, Gu Ziyang, et al. Changes of surface temperature in China during 1951-2004 [J]. *Climate and Environmental Research*, 2005, 10(4): 717~727 [任国玉, 徐铭志, 顾子莹, 等. 近54年中国地面气温变化 [J]. 气候与环境研究, 2005, 10(4): 717~727]
- [11] He Y L, Zhang Y P. Climate Change from 1960 to 2000 in the Lancang River Valley China [J]. *Mountain Research and Development*, 2005, 25(4): 341~348
- [12] Guza G, Rankova E, Razivaev V, et al. Indicators of climate change for the Russian Federation [J]. *Climatic Change*, 1999, 42(1): 219~242
- [13] Qian W H, Zhu Y F. Climate change in China from 1880 to 1998 and its impact on the environmental condition [J]. *Climatic Change*, 2001, 50(4): 419~444
- [14] Blagodatsky S A, Blagodatskaya E V, Anderson T-H. Kinetics of the respiratory of the soil and rhizosphere of the soil and rhizosphere microbial communities in a field experiment with an elevated concentration of atmospheric CO<sub>2</sub> [J]. *Eurasian Soil Science*, 2006, 39(3): 290~297
- [15] Wang Ye, Yan Xiaodong. The response of the forest ecosystem in China to global change [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 2006, 30(5): 1009~1018 [王叶, 延晓冬. 全球气候变化对中国森林生态系统的影响 [J]. 大气科学, 2006, 30(5):

1009~1018]

- [16] Li X W, Zhou X J, Li W L, *et al.* The cooling of Sichuan province in recent 40 years and its probable mechanisms [J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 1995, 9: 57~68
- [17] Pepin N, Losleben M. Climate change in the Colorado rocky mountains: free air versus surface temperature trends [J]. *International Journal of Climatology*, 2002, 22(3): 311~329
- [18] Brunetti M, Buffoni L, Mangianti F, *et al.* Temperature, precipitation and extreme events during the last century in Italy [J]. *Global and Planetary Change*, 2004, 40(1-2): 141~149
- [19] The Group of Scientific Exploration of the Ailao Mountains Natural Reserve. Comprehensive Report on Scientific Exploration of the Ailao Mountains Natural Reserve [M]. Kunming: Yunnan National Press, 1988 [哀牢山自然保护区综合考察团. 哀牢山自然保护区综合考察报告集 [M]. 昆明: 云南民族出版社, 1988]
- [20] Zhang Keying, Ma Youxin, Li Yuhong *et al.* On climate effects of streams over the Ailao mountains [J]. *Geographical Research*, 1992, 11(3): 65~70 [张克映, 马友鑫, 李佑荣, 等. 哀牢山过山气流的气候效应 [J]. 地理研究, 1992, 11(3): 65~70]
- [21] Zhang Keying, Zhang Yiping, Liu Yuhong *et al.* Vertical distribution characteristics of rainfall in the Ailao mountain [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 1994, 14(2): 144~151 [张克映, 张一平, 刘玉洪, 等. 哀牢山降水垂直分布特征 [J]. 地理研究, 1994, 14(2): 144~151]
- [22] Liu Yuhong, Zhang Keying, Ma Youxin *et al.* Vertical distribution characteristics of temperature in the Ailao mountain [J]. *Mountain Research*, 1996, 14(4): 230~234 [刘玉洪, 张克映, 马友鑫, 等. 哀牢山气温时空分布特征 [J]. 山地研究 (现山地学报), 1996, 14(4): 230~234]
- [23] Information center of the national meteorological service. 2007 (http://cdc.cma.gov.cn) [EB/OL]. [中国气象局国家气象信息中心. 2007 (http://cdc.cma.gov.cn) [EB/OL]]
- [24] Grabherr G, Gotfried M, Pauli H. Climate effects on mountain plants [J]. *Nature*, 1994, 369: 448
- [25] Yunnan Vegetation Compile Group. Yunnan Vegetation [M]. Beijing: Science Press, 1987: 60~76 [云南植被编写组. 云南植被 [M]. 北京: 科学出版社, 1987: 60~76]
- [26] Zhu Hua, Cai Lin. Vegetation of upper Mekong valley [J]. *Mar-kind and Nature*, 2004, (Suppl): 26~31 [朱华, 蔡琳. 澜沧江流域植被 [J]. 人与自然 (增刊), 2004, (增刊): 26~31]

## Climate Change from 1980 to 2005 in the Ailao Mountains, Southwest China

LIU Yang<sup>1, 3</sup>, ZHANG Yiping<sup>1</sup>, LIU Yuhong<sup>1</sup>, GAO Fu<sup>1, 2, 3</sup>, GONG Hede<sup>1, 3</sup>

(1. Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650223, China;

2. Kunming Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650204, China;

3. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract** Being differ from the average level of china that the minimum mean monthly air temperature presents to January and the maximum mean monthly air temperature presents to July, the maximum mean monthly air temperature in the region of Ailao mountains presents to June. Primarily owing to the South-West monsoon coming from the Indian Ocean, a major feature in the region of Ailao mountains is the clear-cut changes between the two seasons: the dry season (November–April) and the rainy season (May–October). Precipitation of the rainy season makes more than eighty-five percent of the whole year and the maximum precipitation presents to July. Annual air temperature increases remarkably at all the stations and the statistically significant upward trends are 0.0179°C/a, 0.0417°C/a and 0.0419°C/a when it comes to west valley, mountain top and east valley. There is also a remarkable increase of air temperature in dry season and rainy season. The incremental rate is very different in monthly, seasonal and annual scale and it is the biggest in the dry season, moderate for the whole year and the least in the rainy season. The incremental rate in the hottest month is much faster than that in the coldest month and the difference of air temperature in annual scale shows a downward trend. There is also a remarkable increase in the  $\sum t \geq 0^\circ\text{C}$  accumulative temperature and  $\sum t \geq 10^\circ\text{C}$  accumulative temperature. Comparing to change trends of air temperature and precipitation in different locations of the Ailao mountains, the incremental rate is biggest in the east valley, moderate for the mountain top and the least in the west valley. The lapse rate of air temperature shows a statistical significant upward trend on the windward slope (west) and it has a slight increase on the leeward slope (east). Precipitation tended more or less to increase owing to the increase in the rainy season. Comparing to the west valley, the east valley is experiencing a much hotter period, then it comes to the mountain top.

**Key words** climate change, mountain climate, climate characteristics, regional variation, Ailao mountains