

海南岛尖峰岭热带山地雨林区 26 年的气候变化特征 ——光、水和风因子

周 璋, 李意德*, 林明献, 陈德祥, 许 涵, 骆土寿, 邱建丽

(中国林业科学研究院热带林业研究所, 广州 510520)

摘要: 采用海南尖峰岭森林生态系统国家野外科学观测研究站天池气象站 1980 ~ 2005 年的地面常规气象观测资料, 分析了光、水和风等气候因子的变化趋势, 结果发现: 26 年来, 尖峰岭热带山地雨林区年日照时数、年降水量、年蒸发量、年平均相对湿度、年平均水汽压和年平均风速的多年平均值分别为 1467.4h、2449.0mm、1248.8mm、88.67%、20.77hPa、1.2m/s。年降水量、年平均相对湿度、平均水汽压均呈上升趋势, 其中平均水汽压升高趋势明显, 每 10a 增加 0.38hPa; 日照时数、年蒸发量和年平均风速呈下降趋势, 其中平均风速下降明显, 每 10a 减小 0.27m/s; 月降水量和月蒸发量年代际变化规律不一, 但 10 月份的降水量和 9 月份的蒸发量下降趋势明显。气候增暖作用分析表明, 在全球气候变化背景下, 尖峰岭山地雨林区气候增暖作用显著。

关键词: 热带山地雨林; 尖峰岭; 气候变化; 气候趋势

文章编号: 1000-0933(2009)03-1112-09 中图分类号: Q143 文献标识码: A

Climate changes characteristics over tropical mountain rainforest in Jianfengling during the recent 26 years: radiation, moisture, and wind factors

ZHOU Zhang, LI Yi-De*, LIN Ming-Xian, CHEN De-Xiang, XU Han, LUO Tu-Shou, QIU Jian-Li

Research Institute of Tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Guangzhou 510520, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(3): 1112 ~ 1120.

Abstract: Jianfengling tropical mountain rainforest in Hainan is one of the typical tropical forest ecosystems. Its long term climatic dynamics is important for global change research. Some climatic factors, such as radiation, moisture and wind, were analyzed in light of the meteorological data recorded for the area by the Opened Research Station of Jianfengling Tropical Forest Ecosystem. The present study critically analyzed the dynamic characteristics of these climatic factors over a period of 26 years. The results showed that, the precipitation, mean relative humidity and mean vapor pressure on annual basis have been rising in the past 26 years over the Jianfengling forest. Annual mean vapor pressure increased significantly and annual sunshine hours, evaporation and mean wind speed also exhibited an ascending trend, though an obvious decrease in the wind speed was recorded. While the yearly changes of monthly precipitation and evaporation fluctuated irregularly, the monthly precipitation in October and evaporation in September showed a decreasing trend. Climate warming effect reveals that under global change, there was climate warming process occurring in the Jianfengling tropical mountain rainforest.

Key Words: tropical mountain rainforest; Jianfengling; climate changes; Climatic variation tendency

森林小气候是在森林植被影响下形成的特殊小气候, 是森林中水、气、热等各种气象要素综合作用的结

基金项目: 国家十一五科技支撑资助项目尖峰岭热带林生态系统定位研究站(2006BAD03A0702/wb03); 国家自然科学基金重点项目“热带森林功能群的研究”(30430570); 国家科技部国家重点野外科学观测试验站支撑资助项目(2007 ~ 2008)

收稿日期: 2008-08-31; 修订日期: 2008-11-17

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: liyide@126.com

果^[1]。森林气候资料不但为森林生态学的各项研究如应用于森林树木生长的模拟^[2]、水量平衡和霜害研究^[3,4]、物候研究^[5]以及森林病虫害研究^[6]等提供了基本数据,而且为全球变化对森林生态系统的影响及其响应研究提供了基本依据。

海南尖峰岭现存有面积较大且保护较完好的热带原始雨林,具有完善的植被垂直地带性分布和山地森林生态系统,由于地处热带北缘,被誉为“热带北缘生物物种基因库”^[7]。目前对森林气候或短期气候分析及单气象要素分析较多^[8~20],但对多年气候动态进行综合分析的资料却很少见,国内仅报道过长白山阔叶红松林 22a^[21]和西藏色季拉山林区近 10a 的小气候研究^[22],未见热带雨林区的气候动态研究。

因此本文对尖峰岭热带山地雨林 26a 的气候动态进行研究,从而补充该地区长期森林气候资料的不足,进而为该生态系统的科学研究提供参考和依据。

1 研究地区自然概括与研究方法

1.1 自然概括

海南尖峰岭国家级自然保护区位于海南岛西南部的乐东和东方两县交界处,北纬 18°23′~18°50′,东经 108°36′~109°05′。属低纬度热带岛屿季风气候,雨热同期,降水丰富,干湿两季明显。成土母岩主要是花岗岩,土壤为砖黄壤和砖红壤。具有明显的气候、土壤和植被垂直带谱,地带性植被类型为热带常绿季雨林^[23~25]。

本研究区位于尖峰岭国家级自然保护区的天池附近,海拔 800~1000m,主要植被类型为热带山地雨林,该植被类型分布区气候条件优越,雨量多、湿度大,种类组成复杂,以樟科(Lauraceae)、茜草科(Rubiaceae)、壳斗科(Fagaceae)和桃金娘科(Myrtaceae)等为优势科^[25]。

1.2 研究方法

1.2.1 气象观测和气象要素统计

资料来自于海南尖峰岭国家级森林生态系统定位站气象观测场 1980~2005 年的地面常规气象资料。本文统计了光能因子(年日照时数、年日照百分率)、水分因子(年总降水量、年相对湿度、年总蒸发量)以及年平均风速与风向等气候因子 26a 的动态变化。

为突出气候年代际的变化,对温度进行 3a 滑动平均,以滤去年际振荡^[26]。

1.2.2 气候变化指数

为了反映气候对增暖作用的敏感性,选择年平均气温标准化距平、冷季降水的标准化距平、暖季干旱指数的标准化距平来构成气候增暖作用指数。气候增暖作用指数 = 年平均气温标准化距平 + 冬半年降水标准化距平 + 夏半年干旱指数标准化距平,干旱指数是由俄罗斯气象学家 З. Я. анбкова 提出的,干旱指数 = 标准化的气温距平 - 标准化的降水距平^[27,28]。

1.2.2 气候趋势系数和气候倾向率

有关气候趋势变化方面的分析,本文选用气候趋势系数^[29~31]和气候倾向率^[32]进行定量分析,以研究气象要素在气候变化中升降的定量程度。

2 结果与分析

2.1 气候动态变化

由已整理气象数据和气候趋势系数和气候倾向率公式计算得出表 1 和表 2。

2.1.1 光能因子的动态变化

由表 1 可知,尖峰岭热带山地雨林区 1980~2002 年的年日照时数与年日照百分率的趋势系数为 -0.3088,总体趋势为呈下降,日照时数每 10a 降低约 76.4h。由图 1 可知:在近 23a 中,年日照时数的多年平均值为 1467.4 h,其中 1980 年为年日照时数最长的一年,其值为 1789.7 h;而 1986 年为年日照时数最短的一年,其值为 1090.6 h。该地区年日照时数 23a 的变化特点为:在这 23a 中,除 1980、1986 和 1987 年以外,其余 20a 年日照时数都在 1200~1700h 内波动。

表 1 尖峰岭热带山地雨林区各气象要素的趋势系数和气候倾向率

Table 1 Climate trend coefficient and climate trend rate in Jianfengling tropical mountain rainforest

气候指标 Climate factors	趋势系数 Trend coefficient	气候倾向率 Climate trend rate
日照时数 Sunshine hours (h)	-0.3088	-76.44
年降水量 Annual precipitation (mm)	0.1124	93.24
年蒸发量 Annual evaporation (mm)	-0.1099	-18.44
旱季降水量 Dry season precipitation (mm)	0.1965	48.09
雨季降水量 Rainy season precipitation (mm)	0.0533	45.15
旱季蒸发量 Dry season evaporation (mm)	0.1156	6.92
雨季蒸发量 Rainy season evaporation (mm)	-0.1820	-25.36
平均相对湿度 Mean relative humidity (%)	0.1746	0.26
平均水气压 Mean vapor pressure (hPa)	0.6377 *	0.38
平均风速 Mean wind speed (m/s)	-0.7166 *	-0.27

* 表示通过 0.05 显著性水平的 Student's *T* 检验

表 2 尖峰岭热带山地雨林区月降水量和月蒸发量的趋势系数和气候倾向率

Table 2 Climate trend coefficient and climate trend rate of monthly precipitation and monthly evaporation in Jianfengling tropical mountain rainforest

月份 Month	降水量 Precipitation			蒸发量 Evaporation		
	降水量 (mm) Precipitation	趋势系数 Coefficient	气候倾向率 (mm·(10a) ⁻¹) Climate trend rate	蒸发量 (mm) Evaporation	趋势系数 Coefficient	气候倾向率 (mm·(10a) ⁻¹) Climate trend rate
1	18.4	0.0340	0.6	70.3	0.2559	3.3
2	34.1	-0.0596	-3.1	69.0	0.2423	6.1
3	36.1	0.2647	10.0	116.2	-0.1894	-5.7
4	104.9	-0.2460	-26.6	137.2	0.0202	0.8
5	198.3	-0.0697	-11.0	145.1	-0.2954	-9.8
6	339.9	-0.2598	-89.2	126.8	-0.1743	-4.2
7	465.6	0.0727	33.5	129.2	-0.0745	-4.0
8	485.9	0.3337	114.8	108.0	-0.3042	-8.5
9	419.4	0.3214	114.4	93.7	-0.5533 *	-12.0
10	229.7	-0.4979 *	-117.3	104.1	0.1729	13.2
11	87.9	0.2682	54.7	82.3	0.0525	1.0
12	28.8	0.2957	12.4	67.0	0.1083	1.5

* 表示通过 0.05 显著性水平的 Student's *T* 检验

年日照百分率的动态变化趋势与年日照时数相同,呈现下降趋势。多年平均值为 34%,最大值为 1980 年和 1987 年的 41%,最小值为 1986 年的 24%。在这 23a 中,除 1980、1986 和 1987 3 年外,其余 20a 年日照百分率都在 30%~40% 内波动。

2.1.2 水分因子的动态变化

(1) 降水量与蒸发量的年代际变化

从表 1 得知,26a 来尖峰岭山地雨林区降水量和蒸发量变化趋势不明显,降水量呈现弱的增长趋势,每年增长 9.32mm;蒸发量呈现弱的减少趋势,每年减小 1.84mm。这与海南 1950~2000 年的降水量和蒸发量的变化趋势一样^[33]。

图 2a 和图 2b 显示,尖峰岭山地雨林区 26a 的多年平均降水量为 2449.0mm,最大值为 1991 年的 3662.3mm,最小值为 1998 年的 1305.5mm。多年平均蒸发量为 1248.8mm,最大值出现在 1996 年,其值为 1626.9mm;最小值出现在 1997 年,其值为 1032.3mm。降水量和蒸发量的相对变率分别为 20.9% 和 7.5%,这表明该区逐年降水量变动大,而逐年蒸发量变动小。

由图 2c 可知各年的水分平衡状况,多年平均年降水量与年蒸发量的比值为 2.0,这表明尖峰岭山地雨林

降水比较丰富。除了 1998 年,其余年份年降水量与年蒸发量的比值都大于或等于 1,1987 年降水和蒸发持平,达到大气水分平衡。1998 年年降雨量少于蒸发量,这是因为 1998 年受厄尔尼诺影响,气候异常,海南出现严重干旱^[34]。

(2) 旱雨季的降水量和蒸发量变化

受历年台风的影响,同时根据历年降雨资料在各月份的分布,可以明显划分出旱季为 11~翌年 4 月份,雨季为 5~10 月份。由图 2d 和表 1 可以看出,旱雨季降水量和旱季蒸发量的趋势系数都为正数,呈增长趋势;前文提到的年蒸发量减少,主要是由于雨季蒸发量平均每年减少 2.54mm。

平均雨季降水量为 2138.7mm,占年降水量的 86.7%;平均旱季降水量为 310.2mm,占年降水量的

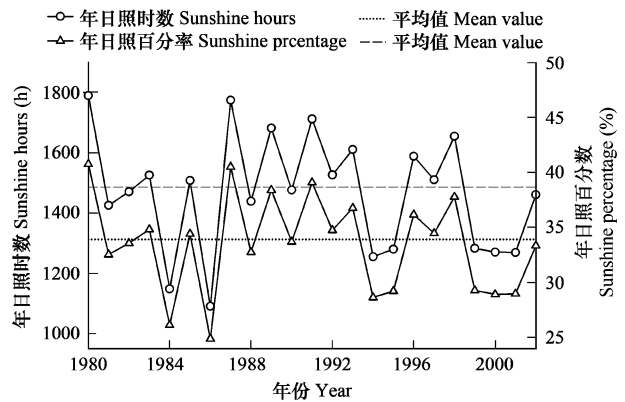


图 1 1980~2002 年年日照数、日照百分率的变化

Fig. 1 Dynamics of annual sunshine hours and percentage of sunshine from 1980 to 2002

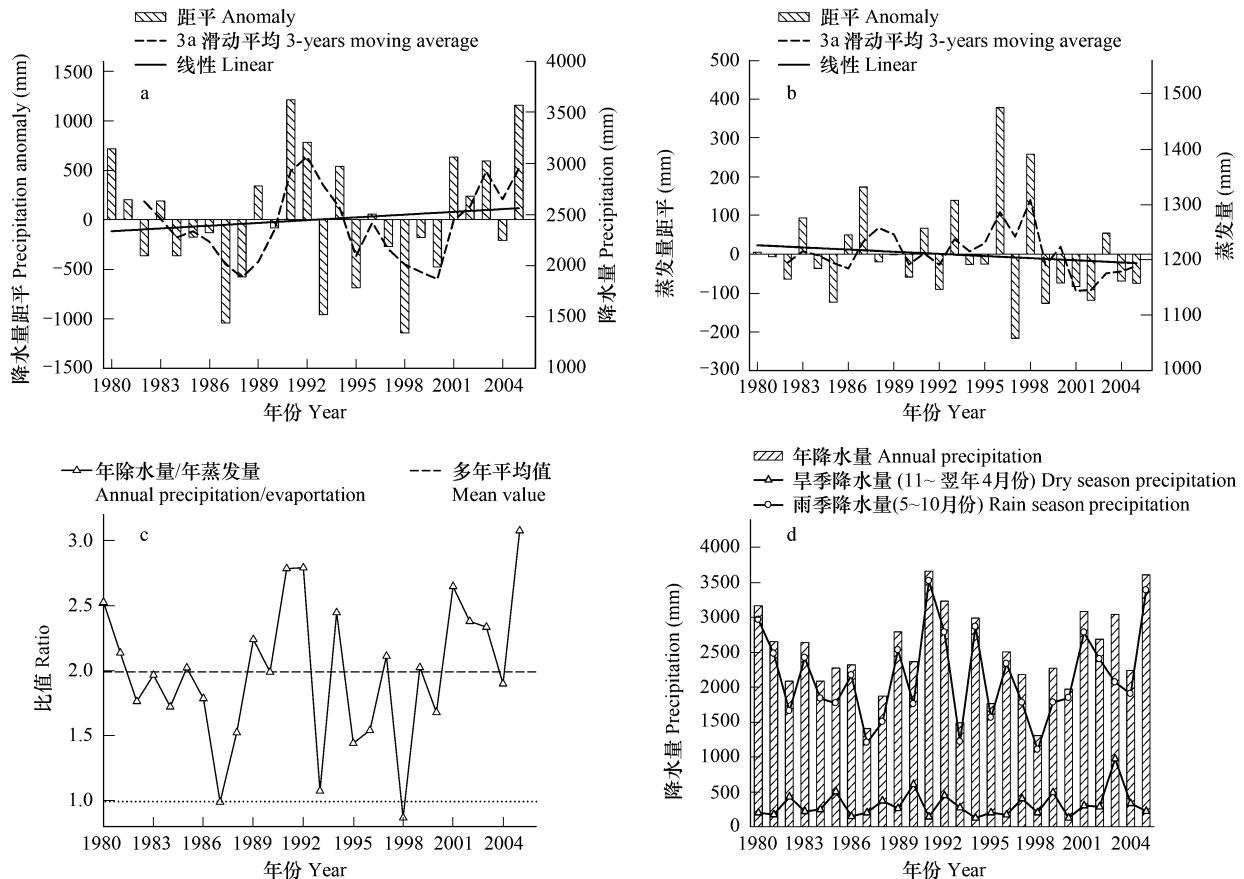


图 2 1980~2005 年年降水量(a)、年蒸发量(b)、年降水量/蒸发量(c)、旱季和雨季降水量(d)的变化

Fig. 2 Dynamics of annual precipitation (a), annual evaporation (b), annual precipitation/evaporation (c), the dry and rainy season precipitation (d) from 1980 to 2005

13.3%。旱季降水量变化不明显,大多在 500mm 以下,年际间雨季降水量波动都比较剧烈。

(3) 降水量和蒸发量的年变化

降水量和蒸发量的年变化如表 2,1980~2005 年,有 5 个月份的降水量趋势系数为负值,即呈下降趋势,

这5个月分别是2月份、4~6月份、10月份;其余7个月的降水量显现升高趋势。升高幅度最大的为8月份,平均每10a增加114.8mm;降低幅度最大的为10月份,平均每10a减少117.3mm,可见月降水量变化最大的都处于雨季。蒸发年变化不同于降水,26a中,3月份、5~9月份这6个月的蒸发量呈下降趋势,其余6个月呈升高趋势;升高幅度最大的为10月份,平均每10a增加13.2mm;降低幅度最大的为9月份,平均每10a减少12.0mm,同样月蒸发量变化最大的也处于雨季。

由表2可知,该区降水量主要集中在雨季的5~10月份,而全海南岛降水过程集中在8~10月份^[34],相比起来,尖峰岭降水时间要长;蒸发量主要集中在4~7月份,而全海南岛蒸发过程集中在5~7月份,同样蒸发周期要长。从季节分布来看,该区降水主要集中在夏秋季,季度降水在1000mm左右。从降水和蒸发平衡来看,5~10月份降水显著多于蒸发,11~翌年4月份蒸发多于降水,这也是尖峰岭旱雨季界定主要依据。

(4) 水气压和相对湿度的年际变化

由表1知,1980~2005年,平均相对湿度呈现弱的增长趋势,每10a增加0.26%;平均水气压呈现显著的增加趋势,每10a增加0.38hPa。

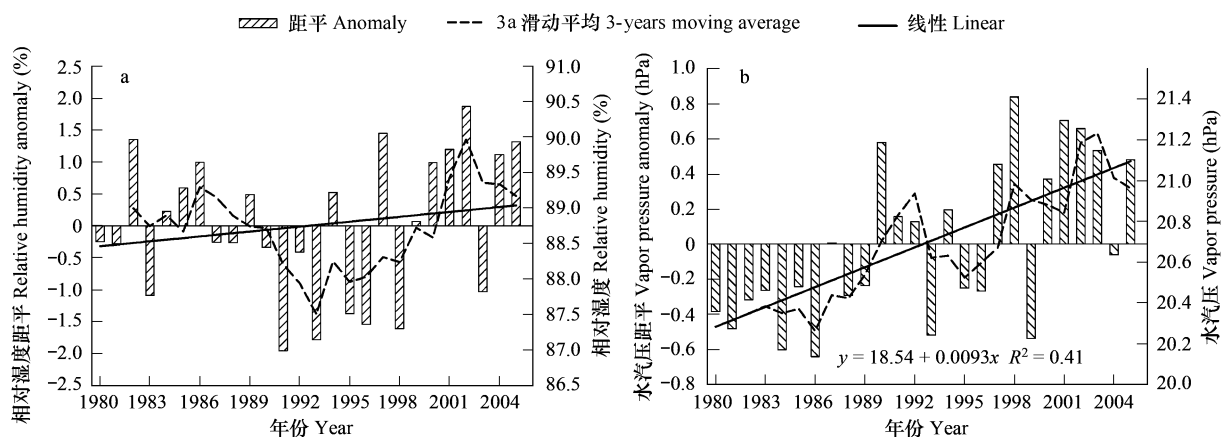


图3 1980~2005年年平均相对湿度(a)和年平均水汽压(b)的变化

Fig. 3 Dynamics of annual relative humidity (a) and vapor pressure (b) from 1980 to 2005

从图3和绝对数值来看,26a间相对湿度波动较大,多年平均值为88.76%,最大值90.63%出现在2002年,最小值86.80%出现在1991年;水汽压20世纪80年代均低于多年平均值(20.77hPa),90年代波动较大;最大值为1998年的21.61hPa,最小值为1984年的20.17hPa。

据上述分析可以看出,尖峰岭山地雨林区的水分因子年际变动较大,存在明显的旱季雨季分配格局。1993~1999年间,降水量、蒸发量、水气压和相对湿度都出现过剧烈波动,究其原因,这与1997和1998年的厄尔尼诺现象密切相关,还与研究区内的大的人为干扰有关,因为1993年之后林区全面停止砍伐,而且在1993~1996年间,保护区在海拔800m的缓冲区内建起了近40hm²的人工湖——天池,这改变了下垫面性质,对水分因子产生很大影响。

2.1.3 风的动态变化

由表1和图4a可知,海南尖峰岭山地雨林区1980~2005年的年平均风速与全海南岛1950~2000年的平均风速变化趋势一致^[33],明显呈下降趋势,每10a减小0.26m·s⁻¹,多年平均值为1.2m·s⁻¹。其原因是20世纪80年代登陆海南台风较多,平均每年2.5个,20世纪90年代以后由于台风发生季节延长,路径向北推移,使得每年登陆海南台风不到1个。最大年平均风速2.0m·s⁻¹出现在1980年,最小年平均风速0.75m·s⁻¹出现在2004年。从图4b可以看出,该地区22a的主要来风方向为正南方向,其次为西南方向。

2.2 气候增暖分析

气候增暖作用指数在1980~2005年这一时段内的变化表如图5。这26a,尖峰岭山地雨林,气候增暖作

用指数呈明显上升趋势,1992 年之前指数总体位于 0 以下,1992 年之后显著上升到 0 以上。1998 年指数最高达 7.36^[35,36],1998 年为强 ENSO 事件发生年,表现为异常气候,这里气候增暖作用指数也恰恰反应这一点,即是尖峰岭热带山地雨林小气候对全球气候异常的一次明显响应。

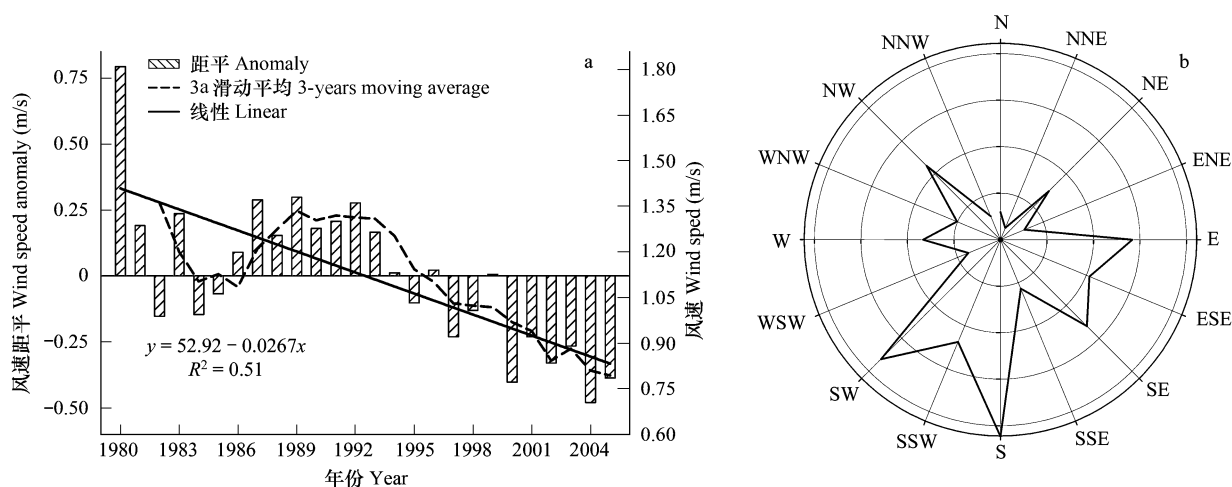


图 4 1980 ~ 2005 年年平均风速(a)和风向频率(b)的变化

Fig. 4 Dynamics of mean annual wind velocity (a) and wind direction frequency (b) from 1980 to 2005

3 结论与讨论

本研究首次利用气候趋势分析法和气候增暖作用指数分析法对热带森林气候长期变化特征进行研究,得到以下结果:

(1) 海南尖峰岭山地雨林的年日照时数与年日照百分率 1980 ~ 2002 年总体呈下降的趋势。

(2) 海南尖峰岭山地雨林区 26a 的年降水量和蒸发量变化不明显,降水量呈现弱的增加趋势,年蒸发量呈现弱的减少趋势。年降水量与年蒸发量的比值约为 2.0,表明该区降水量相对比较丰富,但季节分布不均,存在明显的旱季和雨季。月降水量和月蒸发量年代际变化规律不一,但 10 月份的降水量和 9 月份的蒸发量呈显著的下降趋势。

(3) 年平均相对湿度呈现弱的增长趋势;年平均水气压呈现显著的增加趋势。

(4) 海南尖峰岭山地雨林区 26a 来年平均风速呈明显减小趋势,主要来风方向为正南方向。

(5) 气候增暖作用指数 1980 ~ 2005 年呈明显上升趋势,表明在该区气候增暖作用显著,强 ENSO 事件发生的 1998 年,该指数也达最高,这些都说明尖峰岭热带山地雨林区的气候存在对全球气候变暖和气候异常的明显响应过程。

气候变化对森林的影响是多方面的,包括对森林生产力和生物量、森林的物种组成和结构、森林的分布、森林的生物地球化学循环和森林的水分平衡等。尖峰岭热带雨林区近 26a 来,一方面,年日照呈微弱下降趋势,这可能会减弱植物的光合作用而降低林分生产力;另一方面,降水和湿度增加,蒸发减弱,这也加快了林木的新陈代谢,促进了养分循环,有利于森林生态系统更新。

从气候增暖作用指数所表征的意义来看,该指数的显著增加,强烈的反映出该地区年平均气温增长,冷季降水增加,暖季干旱增强这一鲜明的趋势特点。不按季节的降雨,会使大多数树木不落叶,地面的枯枝落叶层

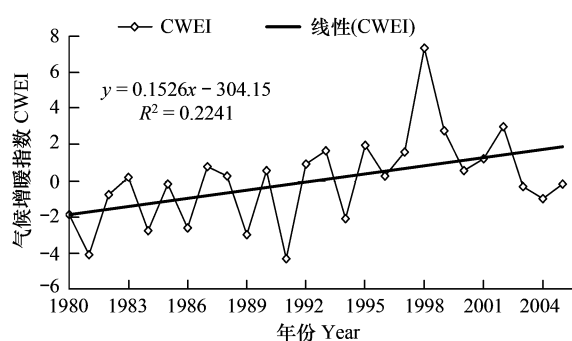


图 5 1980 ~ 2005 尖峰岭气候增暖作用指数的变化动态

Fig. 5 Dynamics of climate warming effect index in Jianfengling from 1980 to 2005

不能形成,节肢动物,如蜈蚣、甲虫等因缺乏栖息生境和食物而大量减少,由此影响到生物链上的一系列物种,进而影响整个森林生态系统的物质流、能量流,使原本复杂多样的森林生态系统失稳、简单化,直至构成一个更为脆弱的新平衡体系。

未来全球气候变暖却可能会使极端高温和寒冷的频度和强度加大以及气候的季节波动更为明显^[37],今年年初南方冰冻雨雪灾害就是明显的体现,而极端高温或低温对很多物种来说可能是致命的。气候变化的另一个间接结果就是可能使极端灾害(如火灾、虫灾、干旱、飓风和热带风暴等)的发生频率和强度增加。由于尖峰岭地处海南岛,受 ENSO 事件、热带风暴和台风影响等极端气候事件影响较大,虽然近 26a 来,特别是 90 年代以后,登陆尖峰岭的台风明显减少,但是这些极端气候事件对热带雨林来说,其破坏力是巨大的,它们对雨林生态系统结构的改变往往起着决定性作用。许多学者从台风影响下的台风暴雨再分配规律^[38]、森林群落机械损伤^[39]、水文功能规律^[40]、凋落物特征^[41]和土壤流失量^[42]等方面进行了系统研究;王敏英等^[43]也针对海南中部丘陵受达维台风影响下 4 种植物群落凋落物动态进行了分析;许涵等^[44]也对台风海南尖峰岭热带山地雨林群落的影响进行了研究。但是长期监测研究台风对森林生态系统影响,包括对群落的养分动态变化,乔木层及林下种苗的更新动态等方面未见报道。

所以,今后有关尖峰岭热带雨林区植被与气候的研究,应注重对森林生态系统对气候变化的响应过程模型和极端气候事件影响下的热带山地雨林森林生态系统的生态学过程的研究。

References:

- [1] He Q T. Chinese forest meteorology. Beijing: Chinese forestry Press, 2000.
- [2] Kimmins J P, Comeau P G, Kurz W. Modeling the interactions between moisture and nutrients in the control of forest growth. *For. Ecol. Manage.*, 1990, 30: 361—379.
- [3] Cannell M G R. Spring frost damage on young picea stitchensis: 1. Occurrence of damaging frosts in Scotland compared with Western North America. *Forestry*, 1984, 57: 159—175.
- [4] Cannell M G R, Sheppard L J, Smith R I, *et al.* Autumn frost damage on young picea stitchensis: 2. Shoot frost hardening, and the probability of frost damage in Scotland. *Forestry*, 1985, 58: 145—166.
- [5] Kramer K, Friend A, Leinonen I. Modeling comparison to evaluate the importance of phenology and spring damage for the effects of climate change on growth of mixed temperate zone deciduous forests. *Climate Res.*, 1996, 7: 31—41.
- [6] Russo J M, Liebhold A M, Kelley J G. Mesoscale weather data as input to a gypsy moth (*Lepidoptera: Lymantriidae*) phenology model. *J. Econ. Ent.*, 1993, 86: 838—844.
- [7] Jiang Y X, Lu J P, *et al.* Jianfengling tropical forest ecological system on Hainan Island of China. Beijing: Science Press, 1991.
- [8] Chang J, Pan X D, Ge Y, *et al.* The features of the micro climate in the evergreen broad leaved forest dominated by *Quercus glauca*. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, 19 (1): 68—75.
- [9] Liu W J, Zhang K Y, Wang C M, *et al.* The microclimate of dew and fog formation on canopy layer in the dry season in Xishuangbanna tropical rain forest. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21 (3): 48—491.
- [10] Li H T, Chen L Z. Study on the microclimate in the mountain forest in the warm temperature zone. *Acta Phytoecological Sinica*, 1999, 23 (2): 139—147.
- [11] Yan J H, Zhou G Y. Environment of microclimate of monsoon of evergreen broad-leaves forests in Dinghushan. *Journal of Wuhan Botanical Research*, 2000, 18 (5): 397—404.
- [12] Zhang Y P, Liu Y H, Ma Y X, *et al.* A Preliminary study on microclimate in the process of the different growth phases of tropical forest. *Journal of Nanjing Forestry University*, 2002, 26 (1): 83—87.
- [13] Morecroft M D, Taylor M E, Oliver H R. Air and soil microclimates of deciduous woodland compared to an open site. *Agric. For. Meteorol*, 1998, 90, 141—156.
- [14] Aussenac G. Interactions between forest stands and microclimate: ecophysiological aspects and consequences for silviculture. *Ann. For. Sci.*, 2000, 57, 287—301.
- [15] Langvall O, Orlander G. Effects of pine shelterwoods on microclimate and frost damage to Norway spruce seedlings. *Can. J. For. Res.*, 2001, 31, 155—164.
- [16] Meyer C L, Sisk T D, Wallace Covington W. Micro-climatic changes induced by ecological restoration of *Ponderosa pine* forests in Northern

- Arizona. *Restorat. Ecol*, 2001, 9, 443—452.
- [17] Barton D Clinton. Light, temperature, and soil moisture responses to elevation, evergreen understory, and small canopy gaps in the southern appalachians. *Forest Ecology and Management*, 2003, 186: 243—255.
- [18] Annabel Porté a, Frédéric Huard, Philippe Dreyfus. Microclimate beneath pine plantation, semi-mature pine plantation and mixed broadleaved-pine forest. *Agric. For. Meteorol*, 2004, 126, 175—182.
- [19] Hao Y B, Wang Y F, Huang X Z, *et al.* Seasonal and interannual variation in water vapor and energy exchange over a typical steppe in Inner Mongolia, China. *Agric. For. Meteorol*, 2007, 146, 57—69.
- [20] Joaquin Munoz Sabater, Christoph Rudiger, Jean-Christophe Calvet, *et al.* Joint assimilation of surface soil moisture and LAI observations into a land surface model. *Agric. For. Meteorol*, 2008, 3, 3882—3894.
- [21] Zhang M, Guan D X, *et al.* Climatic dynamics of broadleaved Korean pine forest in Changbai Mountain during the last 22 Years. *Chinese Journal of Ecology*, 2005, 24(9): 1007—1012.
- [22] Li B P, Pang G, Pa G Y. Climatic dynamics of forest region in Sela Mountain, Xizhang. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2007, 35(27): 8632—8634.
- [23] Huang Q, Li Y D, Zheng D Z. Study of tropical vegetation series in Jianfengling region, Hainan Island. *Acta Phytocological Sinica*, 1986, 10(2): 90—105.
- [24] Zeng Q B, Li Y D, Chen B F, *et al.* Tropical forest ecosystem research and management. Beijing: Chinese Forestry Press, 1997.
- [25] Li Y D, Chen B F, Zhou G Y, *et al.* Research and Conservation of tropical forest and the biodiversity, Hainan Island, China. Beijing: Chinese Forestry Press, 2002.
- [26] Wei F Y. Modern climate statistical diagnosis and prediction technologies. Beijing: Meteorology Press, 1999: 42—59.
- [27] Tomas R K, Richard W K, David R E and Robert G Q. Indices of climate change for the united states. NOAA/National Climate Center, Asheville, North Carolina.
- [28] Chen Y. An Analysis on Indices of Climate Change in China. *Bimonthly of Xinjiang Meteorology*, 2001, 24(2): 13—15.
- [29] Wang S W. Variations of temperature in China for the 100 year. period in comparison with global temperatures. *Meteorological Monthly*, 1990, 16(2): 11—16.
- [30] Wang S W. Diagnostic studies of the climate changes and variability for the period of 1880—1990. *Acta Meteorologica Sinica*, 1994, 52(3): 261—273.
- [31] Shi N, Chen J Q, Tu Q P. 4-Phase Climate Change Features in the Last 100 Years over China. *Acta Meteorologica Sinica*, 1995, 53(4): 431—439.
- [32] Jones P D. Hemispheric surface air temperature variations: recent trend and an update to 1978. *Journal of Climate*, 1988, 1: 654—660.
- [33] He C S. Climatic Changes in Hainan over the Recent 50 Years. *Chinese Journal of Tropical Agriculture*, 2004, 24(4): 19—24.
- [34] Zhang L M, Wei Z Y, Qi Z P. Characteristics of Rainfall and Evaporation of Different Region in Recent 30 Years in Hainan Province. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2006, 22(4): 403—407.
- [35] Li X Y, Zhai P M. On indices and indicators of ENSO Episodes. *Acta Meteorologica Sinica*, 2000, 58(1): 102—109.
- [36] Wang S W. ENSO Events and Their Intensity during the Past Century. *Meteorological Monthly*, 1999, 25(1): 9—13.
- [37] Katz R W, B G Brown. Extreme events in a changing climate: variability is more important than averages. *Climatic Change*, 1992, 21: 289—302.
- [38] Zhou G Y, Chen B F, Li Y D, *et al.* Re-distribution of rainfall during typhoon storm in tropical mountain rainforest ecosystem, Hainan Island of China. *Chinese Journal of Ecology*, 1998, 17(Suppl.): 31—36.
- [39] Li Y D, Zhou G Y, Lin M X, *et al.* Tree damage from typhoon in a tropical mountain rain forest, Hainan Island of China. *Chinese Journal of Ecology*, 1998b 17(Suppl.): 9—14.
- [40] Chen B F, Zhou G Y, Zeng Q B, *et al.* Function of hydro-factors of the heavy rainstorm in the tropical mountain rainforest ecosystem. *Chinese Journal of Ecology*, 1998, 17(Suppl.): 63—67.
- [41] Wu Z M, Du Z H, Lin M X, Luo, *et al.* Effect of tropical cyclone and typhoon on the litterfall of the tropical mountain rain forests in Hainan Island. *Chinese Journal of Ecology*, 1998, 17(Suppl.): 26—30.
- [42] Zhou G Y, Wu Z M, Chen B F, *et al.* Comparison of soil losses of forested land bare land under different precipitation condition in Hainan's Jianfengling, China. *Chinese Journal of Ecology*, 1998, 17(Suppl.): 42—47.
- [43] Wang M Y, Liu Q, Gao J. Dynamics of litterfall of four vegetations in hilly areas of central Hainan after disturbance of a severe typhoon. *Journal of Hainan University*, 2007(20): 156—160.
- [44] Xu H, Li Y D, Luo T S, *et al.* Influence of typhoon Damery on the tropical montane rain forest community in Jianfengling, Hainan Island, China. *Acta Phytocologica Sinica*, 2008, 32(6): 1323—1334.

参考文献:

- [1] 贺庆棠. 中国森林气象学. 北京: 中国林业出版社, 2000.
- [7] 蒋有绪, 卢俊培, 等. 中国海南岛尖峰岭热带林生态系统. 北京: 科学出版社, 1991.
- [8] 常杰, 潘晓东, 葛滢, 等. 青冈常绿阔叶林内的小气候特征. 生态学报, 1999, 19(1): 68~75.
- [9] 刘文杰, 张克映, 王昌命, 等. 西双版纳热带雨林干季林冠层雾露形成的小气候特征研究. 生态学报, 2001, 21(3): 48~49.
- [10] 李海涛, 陈灵芝. 暖温带山地森林的小气候研究. 植物生态学报, 1999, 23(2): 139~147.
- [11] 闫俊华, 周国逸, 韦琴. 鼎湖山季风常绿阔叶林小气候特征分析. 武汉植物学研究, 2000, 18(5): 397~404.
- [12] 张一平, 刘玉洪, 马友鑫, 等. 热带森林不同生长时期的小气候特征. 南京林业大学学报(自然科学版), 2002, 26(1): 83~87.
- [21] 张弥, 关德新, 等. 长白山阔叶红松林近 22 年的气候动态. 生态学杂志, 2005, 24(9): 1007~1012.
- [22] 李白萍, 潘刚, 潘贵元. 西藏色季拉山林区近 10 年小气候变化特征分析. 安徽农业科学, 2007, 35(27): 8632~8634.
- [23] 黄全, 李意德, 郑德璋, 等. 海南岛尖峰岭地区热带植被生态系列的研究. 植物生态学报, 1986, 10(2): 90~105.
- [24] 曾庆波, 李意德, 陈步峰, 等. 热带森林生态系统研究与管理. 北京: 中国林业出版社, 1997.
- [25] 李意德, 陈步峰, 周光益, 等. 中国海南岛热带森林及其生物多样性保护研究. 北京: 中国林业出版社, 2002.
- [26] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术. 北京: 气象出版社, 1999: 42~59.
- [28] 陈颖. 中国气候变化指数分析. 新疆气象, 2001, 24(2): 13~15.
- [29] 王绍武. 近百年我国及全球气温变化趋势. 气象, 1990, 16(2): 11~16.
- [30] 王绍武. 近百年来气候变化与变率的诊断研究. 气象学报, 1994, 52(3): 261~273.
- [28] 施能, 陈家其, 屠其璞. 中国近 100 年来 4 个年代际的气候变化特征. 气象学报, 1995, 53(4): 431~439.
- [33] 何春生. 海南岛 50 年来气候变化的某些特征. 热带农业科学. 2004, 24(4): 19~24.
- [34] 张黎明, 魏志远, 漆智平. 近 30 年海南不同地区降雨量和蒸发量分布特征研究. 中国农学通报, 2006, 22(4): 403~407.
- [35] 李晓燕, 翟盘茂. ENSO 事件指数与指标研究. 气象学报, 2000, 58(1): 102~109.
- [36] 王绍武. 近百年来的 ENSO 事件及其强度. 气象, 1999, 25(1): 9~13.
- [38] 周光益, 陈步峰, 李意德, 等. 热带林生态系统对台风暴雨的再分配规律. 生态学杂志, 1998, 17(Sup.): 31~36.
- [39] 李意德, 周光益, 林明献, 等. 台风对热带森林群落机械损伤的研究. 生态学杂志, 1998, 17(Sup.): 9~14.
- [40] 陈步峰, 周光益, 李意德, 等. 热带山地雨林生态系统的暴雨水文生态效益. 生态学杂志, 1998, 17(Sup.): 63~67.
- [41] 吴仲民, 杜志鹄, 林明献, 等. 热带风暴(台风)对海南岛热带山地雨林凋落物的影响. 生态学杂志, 1998, 17(Sup.): 26~30.
- [42] 周光益, 吴仲民, 陈步峰, 等. 尖峰岭不同降水条件下无林与有林地坡面土壤流失量比较. 生态学杂志, 1998, 17(Sup.): 42~47.
- [43] 王敏英, 刘强, 高静. 海南岛中部丘陵地区受台风侵袭影响的 4 种植物群落凋落物动态. 海南大学学报, 2007, 20: 156~160.
- [44] 许涵, 李意德, 骆土寿, 等. 达维台风对海南尖峰岭热带山地雨林群落的影响. 植物生态学报, 2008, 32(6): 1323~1334.