

帽峰山森林气温与区域气温变化趋势分析

潘勇军¹, 王兵², 陈步峰^{1*}, 史欣¹, 肖以华¹

(1. 中国林业科学研究院热带林业研究所, 广东 广州 510520; 2. 中国林业科学研究院森林与环境保护研究所, 北京 100091)

摘要:根据广州市 1952—2009 年和帽峰山 2004—2009 年气温观测数据, 采用统计分析方法和季节分解加法模型, 分析了帽峰山森林气温与区域气温变化趋势特征。结果表明: 广州市近 58 年来气温增暖趋势显著, 年平均气温的倾向率达 $0.21\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{a}^{-1}$; 2004—2009 年间, 广州市和帽峰山气温变化均呈下降趋势, 气温倾向率分别为 -0.008 、 $-0.293\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{a}^{-1}$, 帽峰山气温下降幅度大于广州市; 帽峰山林区气温变化趋势与广州市气温变化趋势基本一致; 在区域极端异常天气出现前, 森林气温变化趋势出现负反馈。

关键词:气温; 时间序列; 季节分解模型; 广州市帽峰山

中图分类号: S716

文献标识码: A

Analysis of Temperature Variation Trends in Maofengshan Mt Subtropical Evergreen Broad-leaves Forest and Guangzhou City

PAN Yong-jun¹, WANG Bing², CHEN Bu-feng¹, SHI Xin¹, XIAO Yi-hua¹

(1. Research Institute of Tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Guangzhou 510520, Guangdong, China;

2. Research Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

Abstract: The responses and feedbacks of the forest climate ecosystem into the future global climate change have become very attractive issues. Analysis of historic climate data from 1952 to 2009 of Guangzhou and that from 2004 to 2009 in Maofengshan Mt forest ecosystem by using statistical method and seasonal decomposition additive model confirms that the climate in Guangzhou has recently been warming at a rate of $0.21\text{ }^{\circ}\text{C}$ per decade; The results showed that the temperatures in Guangzhou and Maofengshan Mt were significantly positive correlated, the air temperature change in 2004—2009 had a decreasing trend at a rate of $-0.008\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{a}^{-1}$ and $-0.293\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{a}^{-1}$; The temperature change of Maofengshan Mt subtropical evergreen broad-leaves forest climate ecosystem positively responded to regional climate change of Guangzhou. Occasionally, its responses appeared negative feedback before the abnormal weather, for example, before the winter-weather disaster in January and February 2008. Climate change is threatening the health of forests around the world. As temperature rises, the negative impacts of climate change are expected to far outweigh any benefits. The advanced fields need to be developed were discussed.

Key words: forest temperature; time series; seasonal decomposition model; Maofengshan Mt; Guangzhou

全球气候变化是当今世界面临的最严峻、深远的挑战之一, IPCC 第四次评估报告指出, 1906—2005 年全球平均气温上升了 $0.56\sim 0.92\text{ }^{\circ}\text{C}$ [1-4]。

随着温室效应的不断加剧, 预测到 21 世纪末全球气温升温范围将在 $1.4\sim 5.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ [5], 大大超过 $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的地球生态警戒线, 被喻为“拯救人类的最后一次机

收稿日期: 2010-04-19

基金项目: 国家科技部“十一五”科技支撑项目(2006BAD03A06-1); 中国林业科学研究院热带林业研究所基本业务费专项资金项目(2008-05); 广州市森林生态效益监测网络研究项目和国家林业局珠江三角洲森林生态站定位监测项目部分研究内容

作者简介: 潘勇军, 博士生, 助理研究员。

* 通讯作者: 研究员。

会”的2009年哥本哈根会议就未来应对气候变化的全球行动签署了新的协议。

森林与气候之间存在着密切的关系^[6-7],气候变化不可避免对森林生态系统产生一定的影响,森林生态系统对气候也产生一定的反馈作用^[8]。森林生态系统对气候变化的适应性比较迟缓,最易受到气候变化不利的影响^[9]。因此,评价森林生态系统结构和功能对全球气候变化的响应和适应及与社会经济互动变化,是重要的研究领域之一^[1,10]。国际上,许多权威机构纷纷开展了相应的研究,涵盖了森林生态系统对气候变化的影响、适应和缓解等重要方面^[11-14],研究了未来气候变化可能对森林的影响^[15-16]。国内也开展了对森林与局域气候相互关系的研究,欧阳学军等研究了鼎湖山不同海拔高度森林及林区与空旷地的各气候因子存在显著差异^[17-18]。邓艳等^[19]研究了不同群落温度特征;陈祥伟等^[20]对生长季与非生长季期间林内外温度的变化做了相应的报道;马友鑫等^[21]专门对林冠温度进行了研究;但在区域气候异常变化状况下,森林在对区域气候强迫的响应和调整中起什么作用的研究较少。

森林通过其生态过程对周边环境产生影响,对气象条件和局地气候的影响较大,形成独特的森林局域小气候,长时间的气候变化趋势与区域气候变化趋势存在一些差异。森林小气候是在区域大气候的背景下产生的,为大气气候所制约和决定,它必然与区域大气候有着显著的联系^[22]。本研究利用珠江三角洲生态站长期生态监测的森林气象数据和广州市气象数据,应用季节分解加法模型分析森林小气候气温因子的变化趋势与广州市区域气候变化趋势的异同点,重点探讨森林小气候对区域气候异常变化时的响应和反馈特征,理解森林小气候气温对区域气候强迫的调整过程。为深入了解未来气候变化对森林生态系统过程的影响及预测其未来气候趋势提供参考,从而趋利避害,也是针对森林生态系统制定有效适应气候变化措施的基础。

1 研究地概况

研究区域位于广州市帽峰山森林公园(23°16′~23°19′ N,113°22′~113°29′ E),距广州市中心23 km,是广州市的天然生态屏障,以低山为主,最高处海拔535 m。帽峰山原生植被为南亚热带季风常绿阔叶

林,经过多次破坏及近20 a的天然更新和人工更新,现在的植被为人工群落和天然次生群落的混合体,主要以黄樟(*Cinnamomum parthenoxylon* (Jack) Me-
assn)、藜蒴锥(*Castanopsis fissa* (Champ. ex Benth.)
Rehd. Et Wils.)、华润楠(*Machilus chinensis*
(Champ. ex Benth.) Hemsl.)、中华锥(*Castanopsis
chinensis* (Sprengel) Hance)等优势种或建群种的次
生性季风常绿阔叶林^[23]。土壤类型以赤红壤为主,
有机质质量分数高,较肥沃。帽峰山年平均气温
21℃,最冷月平均气温13.3℃,最热月平均气温
28.4℃,年大气降水约1700 mm,多集中于4—9月
份,平均相对湿度76%。

广州市位于22°26′~23°56′ N,112°57′~114°
3′ E,属南亚热带季风海洋性气候,温暖多雨,光热
充足、温差较小、夏季长、霜期短等气候特征。年平
均气温21.4~21.8℃,1月最低气温-2℃,8月最
高气温38.7℃。年降水量1689~1876 mm。

2 研究方法

2.1 气温数据来源与分析

广州市气温数据来自于中国气象科学数据共享
服务网的中国地面气候资料日值数据集的广州市
1952—2009年的日平均气温的标准平均值,帽峰山
气温数据来自于国家林业局珠江三角洲森林生态系
统定位站帽峰山主站气象观测场2004—2009年的
地面常规气象资料。利用SPSS统计软件和EXCEL
进行数据处理和分析。

2.2 线性倾向估计方法

时间序列的气温长期变化趋势采用线性倾向估
计方法分析:用气温变量 x_i 与其对应的时间 t_i 建立
一元线性回归方程^[24]:

$$\hat{x}_i = a - bt_i \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

式中: \hat{x}_i 为回归后的气温变量, a 和 b 分别为回
归常数和回归系数,用最小二乘法估计。 b 表示气
候要素的线性变化趋势和速率。 b 值的正与负表明
了气温变量 x_i 随时间 t 是呈上升或下降的变化趋
势,大小反映上升或下降的速率,并将 $b \times 10$ 年(a)
定义为气候倾向率,单位为 $^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 。

2.3 滑动平均

滑动平均是趋势拟合的基础方法,滑动平均曲
线可以减弱异常年份或观测误差带来的影响,能够
更好的反映趋势变化^[24]:

$$\hat{x}_j = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k x_{i+j-1} \quad (j = 1, 2, \dots, n - k + 1)$$

式中: \hat{x}_j 为滑动平均后的气温序列; k 为滑动长度; n 为样本量; x_{i+j-1} 为气温变量, $i=1, 2, \dots, n$ 。

2.4 季节分解加法模型

时间序列分析是对气温变化的变动因素进行识别和分解, 包含: 长期趋势性 (T)、季节趋势性 (S)、循环趋势性 (C) 和不规则趋势性 (I) 4 种变动因素, 这些成分通过不同的组合方式影响时间序列的发展变化。季节分解法将气温时间序列转化成可量化的季节加法模型, 来反映区域气温在一定周期内所呈现的典型状态, 而这种状态在不同周期以基本相同的形态出现^[24-25]。

通过某些方法把时间序列中的 4 种变动趋势分解出来, 并分别对其加以分析, 再将分析结果综合起来组成一个对原始时间序列的总模型。

$$Y = T + C + S + I$$

式中: Y 表示某个时间序列, T 表示长期趋势分量, S 表示季节趋势分量, C 表示循环趋势分量, I 表示不规则趋势。

3 结果与分析

3.1 广州市区域气温的年际变化特征

对广州市 1952—2009 年平均气温数据进行线性倾向估计分析 (图 1), 广州市 58 年气温整体呈上升趋势, 年平均气温的倾向率达 $0.215 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$, 接近中国年平均气温整体上升趋势^[26] ($0.22 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$), 说明全球变暖的大背景是影响该地区气温变化的主要因素, 但气候变暖的趋势和速率具有区域性差异。图 1 中 5 年滑动平均曲线波动较缓, 整体平均气温变化趋势基本保持上升趋势, 但也出现阶段性的下降过程, 反复波动交替上升, 如从 1966 年到 1969 年、1980 年到 1984 年、1994 年到 1996 年。从 1996 年开始缓慢上升, 2001 年开始出现明显上升趋势, 但在 2008 年出现极端低温天气, 气温突变下降。

对广州市 58 年各月平均气温数据进行趋势分析, 各月的气温变化均表现为显著的上升趋势, 变暖的趋势明显。2、10、11、12 月气温倾向率值较大, 最大气温倾向率为 $0.32 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ (10 月), 最小气温倾向率达 $0.1 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ (5 月), 增温变暖趋势显著, 因此, 对广州市区域气温上升贡献最大的是冬季。

广州市区域气候受低纬度热带天气系统和中高纬度天气系统的交替影响, 气候复杂多变, 区域气候

变率在周期性、突变性、可预测性和变化机制等方面有自己的变化规律^[26]。广州市气候变暖具有地方性特征, 主要受大气环流、海洋和人类活动等方面的综合影响^[27-28]。

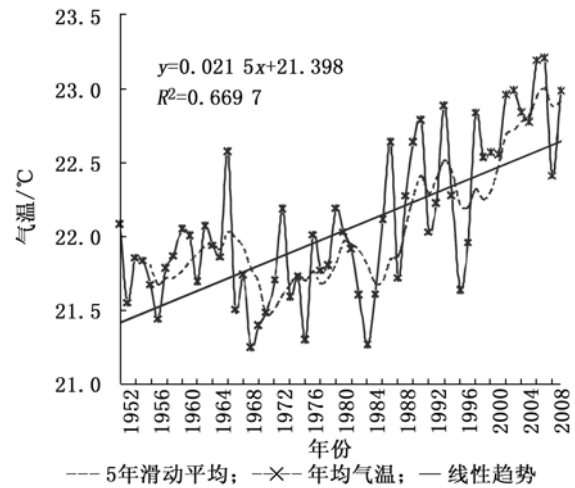


图 1 广州市 1952—2009 年气温变化趋势

3.2 广州市与帽峰山气温相关性分析

对广州市与帽峰山 2004—2009 年气温之间的散点图初步比较, 可以判断二者存在一定的正相关性, 其参数与非参数相关性分析可明确这种相关性的存在性及其程度大小。广州市气温与帽峰山气温变量之间的 Pearson 简单相关系数为 0.989, Spearman 等级相关系数为 0.894, Kendal 等级相关系数为 0.983, 在 0.01 的显著性水平 (双边检验) 上都非常显著 (样本数为 77), 表明帽峰山的气温与广州市气温之间存在显著的正相关性。

3.3 帽峰山林区气温与广州市区域气温变化趋势分析

对广州市与帽峰山 2004—2009 年日均气温数据进行变化趋势分析 (图 2) 可以看出: 广州市近 6 年的区域气温变化总体呈下降趋势, 气候倾向率为 $-0.0087 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{a}^{-1}$; 2004 到 2007 年呈缓慢上升趋势, 2008 年 2 月, 南方出现冰冻雨雪天气, 年均气温出现显著下降趋势, 出现低温年, 2009 年又呈缓慢上升趋势。

帽峰山林区气温与广州市区域气温的年际变化趋势基本一致, 总体呈下降趋势, 但林区气候倾向率为 $-0.293 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{a}^{-1}$, 气温下降幅度明显大于广州市区; 且从 2007 年开始就呈下降趋势变化, 明显大于广州市区域气候变化幅度。比较两地各月均气温变化倾向值 (表 2), 近 6 年来, 广州市 1、4、5、6、11、12

月气温呈下降趋势,11月气温倾向率最大为 $-0.728\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{a}^{-1}$;而2、3、7、8、9、10月气温呈上升趋势,2月气温倾向率最大为 $0.440\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{a}^{-1}$ 。帽峰山

除10月外,其它各月气温均呈下降趋势,其中11、12、1、4、5、6月下降趋势最为显著,气温倾向率最大为 $-0.891\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{a}^{-1}$,大于广州市气温下降幅度。

表1 广州市与帽峰山2004—2009年月均气温变化趋势(倾向值)

$^{\circ}\text{C}\cdot\text{a}^{-1}$

地点	月份											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
广州市	-0.276	0.440	0.288	-0.224	-0.087	-0.183	0.080	0.112	0.272	0.294	-0.728	-0.092
帽峰山	-0.540	-0.030	-0.060	-0.600	-0.449	-0.438	-0.138	-0.061	-0.024	0.014	-0.891	-0.344

3.4 帽峰山气温与广州市气温时间序列的季节分解分析

利用季节分解加法模型对帽峰山与广州市气温因子进行分析,从气温时间序列中的季节成分趋势(图3)看:帽峰山气温与广州市气温的季节性变化趋势完全一致,1月的季节指数最低,季节指数最高月份却有所不同,广州市出现在7月,帽峰山林区出现在8月,且广州市气温季节指数变化幅度略大于帽峰山林区,表明森林使小区域气温的季节变化较市区变化幅度小。气温的季节变化趋势是在长时间尺度上显示出的气温上升和下降的趋势,清楚的显示出气温的年变化周期性及各时段的典型数量特征。该种趋势受到如纬度、海陆位置、大气环流等区域规则性因素的影响,变化趋势趋于稳定,对区域气温变化趋势没有影响。

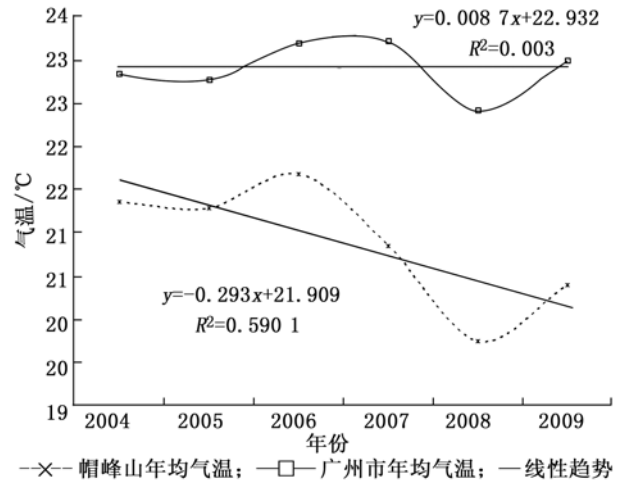


图2 广州市与帽峰山2004—2009年气温变化趋势

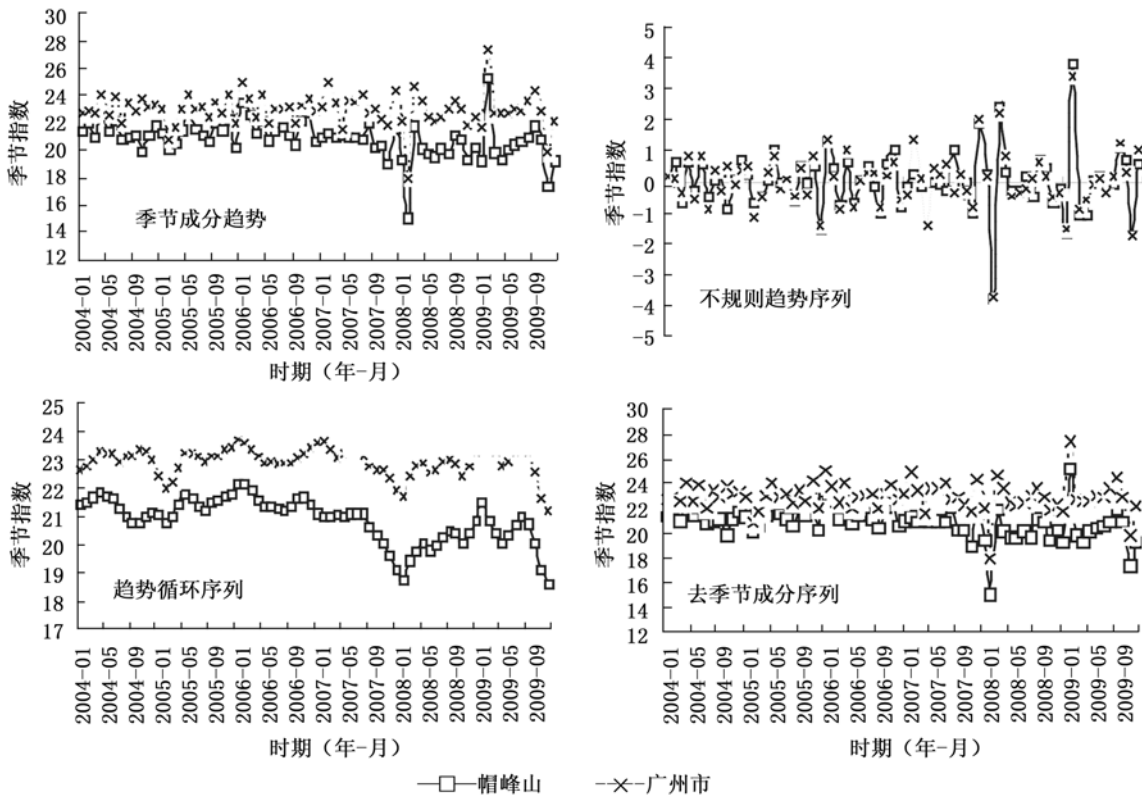


图3 帽峰山与广州市气温季节分解加法模型序列趋势图

从去除季节成分后的序列趋势图发现,帽峰山气温变化趋势与广州市区域气温的变化趋势一致,2004—2006年间二者差异不明显。从2006年12月后,广州市气温变化异常,2007年气温出现异常高值,而当年4月又出现异常低值,季节性变化反常。帽峰山森林气候气温因子变化与广州市区气温变化表现出差异,没有出现异常值,气温变化平缓;但在2008年2月的极端低温天气,森林小气候气温也表现出急剧的低温反应,森林气候系统在极端低温的天气系统面前也是无能为力^[29]。

去除季节和误差因素后的趋势循环序列图3表明:两地气候气温变化整体趋势平缓,表明研究区域在近5年的气温变化趋于平稳且变化趋势相似;但在2008年2月和2009年11月均出现低温天气拐点,两区域气温时间序列均表现出明显的周期性,低温天气重复,表示气温序列周期长度不严格的隐含周期性波动。

不规则趋势是随机性的,受自然灾害、天气突变、人为意外因素等的影响。从图3可以看出:受外界不确定因素影响,帽峰山气温与广州市气温的变化趋势基本一致,但2007年2月至9月帽峰山气温变化不规则趋势指数与广州市存在很大差异,如2月广州市气温不规则趋势指数为1.349,帽峰山为0.231,4月广州市气温不规则趋势指数为-1.447,帽峰山为0.087。表明区域极端气候出现突变前,已经有了前期征兆,气温变化紊乱,森林小气候短时间内无所适从,表现出负反馈。

通过气温时间序列的不规则趋势也可以看出:区域气温在2008年2月发生极端低温气候突变的拐点,在此前后的2007年12月和2008年的3月出现了区域气温偏高的异常天气状况,2009年2月两地又出现了气温偏高的异常状况,森林小气候也对气温的异常做出了积极的响应,表现出了对区域气候很强的适应性。

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果。森林群落和周围环境的物质和能量交换每时每刻都在进行,森林的水热状况等气象要素即是这一交换现象的结果,又构成这一交换的未来条件。森林小气候对生境气候产生强烈的响应,适应区域气候的变化。

4 结论与讨论

广州市区域气候气温因子58年来在全球气候

变暖的大趋势下,增温变暖趋势显著,但2004—2009年区域气温变化出现下降趋势,气候倾向率为 $-0.0087\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{a}^{-1}$;帽峰山气温也呈现出下降趋势,但气温下降幅度大于广州市气温变化,气候倾向率为 $-0.293\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{a}^{-1}$ 。森林生态系统对区域气候产生积极的作用,提高极端最低气温,降低极端最高气温。因此,在应对全球气候升温的大环境下,森林生态系统缓解区域气温变化幅度功不可没。

通过季节分解加法模型分析,帽峰山林区气温因子的季节性变化趋势与广州市区域气候气温因子的变化基本一致,但在2008年2月我国南方出现极端低温气候前的2007年2月至9月,广州市区域气温变化已经表现异常,帽峰山森林小气候表现出明显的负反馈。森林气温对区域气候强迫的响应有一个延缓的过程,需要一定的时间调整来重新达到平衡;因此,可以加强小尺度区域森林气候对区域气候变化的适应性研究来预警区域极端气候突变,了解森林小气候的变化特征及机制,为预测其未来气候趋势提供参考,从而趋利避害。

广州市在2007年12月和2008年3月发生了区域气温偏高的异常天气状况,2009年2月又出现了气温偏高的异常状况,可以看出,区域气温变化异常的出现具有一定的连续性。因此,可以通过深层次的的分析了解其变化规律。

气候系统的演变进程受其自身动力学规律的影响,也受外部驱动力(如火山喷发、太阳变化)以及由人类引起的驱动(如对大气的组成及土地利用的改变)的影响,影响气候变化的驱动因子很多^[30]。极端气候事件给生态系统的适应带来了巨大的挑战,可能导致超过一些关键阈值,或带来灾难性的严重后果。森林生态系统应对气候变化的响应及反馈是非常复杂的,在一定的空间和时间尺度上,有对增强气候变化幅度的正反馈,也有减缓气候变化幅度的负反馈,很大程度上克服和消除外来干扰,保持自身的稳定性,但这种自我调节功能是有其一定限度的,关于未来气候对植被影响的预测必须考虑到森林生态系统对气候的反馈作用。

由于气候变化的不确定性、生态系统的复杂性以及人类认知的局限性,目前对有关气候变化对森林生态系统的影响及森林生态系统对气候变化的敏感性、脆弱性与适应性等方面的研究较缺乏^[1]。森林与气候间的相互作用是非常复杂的,现在有关预测研究很少考虑到气候变化所引起的森林变化对气

候的反馈作用^[23],森林小气候对于生境气候产生强烈影响的程度及作用的大小尚待进一步研究。

参考文献:

- [1] 朱建华,侯振宏,张治军,等. 气候变化与森林生态系统:影响、脆弱性与适应性[J]. 林业科学, 2007,43(11):138-145
- [2] 秦大河,罗勇,陈振林,等. 气候变化科学的最新进展:IPCC第四次评估综合报告解析[J]. 气候变化研究进展,2007(6):23-26
- [3] IPCC. Summary for Policymakers of Climate Change 2007: The Physical Science Basis[EB/OL]2007-02-02
- [4] 徐小锋,田汉勤,万世强. 气候变暖对陆地生态系统碳循环的影响[J]. 植物生态学报,2007,31(2):175-188
- [5] IPCC. Climate Change 2007: Synthesis Report[R]. A Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007:44-45
- [6] 周璋,李意德,林明献,等. 1980-2005年海南岛尖峰岭热带山地雨林区气候突变与异常的初步研究[J]. 气象与环境学报, 2009, 25(3): 66-72
- [7] 贺庆棠. 中国森林气象学[M]. 北京:中国林业出版社,2000
- [8] Zhou Guangsheng, Zhang Xinshi. The response of vegetation to climate[J]. Acta Botanica Sinica,1996, 38(1): 1-7
- [9] 周广胜,王玉辉. 全球生态学[M]. 北京:气象出版社,2003:82-153
- [10] Steven G M, John D A. Climate Change Impacts on Forest Ecosystems[C]. Newsletter of the US National Assessment of the Potential Consequences of Climate Variability and Change,2004
- [11] <http://www.adaptation.nrcan.gc.ca>
- [12] <http://www.forestry.gov.uk/fr/INFD-7K9DFZ>
- [13] <http://www.fs.fed.us/ccrc/>
- [14] <http://www.usgcrp.gov/usgcrp/Library/nationalassessment/newsletter/2000.04/First.html>
- [15] Pastor J, Post W M. Response of northern forests to CO₂-induced climate change[J]. Nature,1988,334:35-38
- [16] Shgart H H, Smith T M. A review of forest patch models and their application to global change research[J]. Climate Change,1996, 34(2):131-153
- [17] 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[J]. 武汉植物学研究,2000,18(5):397-404
- [18] 欧阳学军,黄忠良,周国逸,等. 鼎湖山4种主要森林的温度和湿度差异[J]. 热带亚热带植物学报,2003,11(1):53-58
- [19] 邓艳,蒋忠诚,蓝芙宁,等. 弄拉典型峰丛洼地生态系统中青冈林群落的小气候特征比较[J]. 广西科学,2004,11(3):236-292
- [20] 陈祥伟,魏占才,曹文英,等. 张广才岭西坡人工林针叶林小气候效应的研究[J]. 东北林业大学学报,1995,23(5):29-36
- [21] 马友鑫,张克映,刘玉洪. 云南橡胶林林冠面温度的初步研究[J]. 林业科学,1996,32(3):193-198
- [22] 刘国华,傅伯杰. 全球气候变化对森林生态系统的影响[J]. 自然资源学报,2001,16(1):71-78
- [23] 肖以华,陈步峰,潘勇军,等. 广州市帽峰山常绿阔叶林森林生态系统水文环境效应[J]. 东北林业大学学报,2010, 38(3): 78-81
- [24] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京:气象出版社,1999:42-48
- [25] 杜强,贾丽艳. SPSS统计分析从入门到精通[M]. 北京:人民邮电出版社,2009
- [26] 罗伟华,张明洁,姚建春. 近47年来广东省地面气候变化基本特征[J]. 广东气象,2009, 31(1): 35-38
- [27] 陈新光,钱光明,陈特固,等. 广东气候变暖若干特征及其对气候带变化的影响[J]. 热带气象学报,2009, 22(6):547-552
- [28] 曾侠,钱光明,潘蔚娟. 珠江三角洲城市群城市热岛效应初步研究[J]. 气象,2004, 30(10): 12-15
- [29] 刘玉洪. 哀牢山常绿阔叶林地的气候特征研究[J]. 林业科学, 1993, 29(6):547-552
- [30] Forest Research: Climate Change projects. www.forestresearch.gov.uk