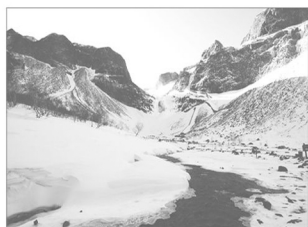


长白山地理系统研究

RESEARCH ON GEOSYSTEMS OF
THE CHANGBAI MOUNTAINS
(VOL. 3)



第三辑

(1996 ~ 2006)

主编 王野乔 吴正方 冯江



东北师范大学出版社

NORTHEAST NORMAL UNIVERSITY PRESS

长春

图书在版编目 (CIP) 数据

长白山地理系统研究. 第3辑/王野乔, 吴正方, 冯江
主编. —长春: 东北师范大学出版社, 2010.5
ISBN 978 - 7 - 5602 - 6156 - 0

I. ①长… II. ①王… ②吴… ③冯… III. ①长
白山—地理—文集 IV. ①K928.3—53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 089467 号

审图号: GS (2009) 1731 号

责任编辑: 曲颖 封面设计: 李冰彬
责任校对: 孔垂杨 责任印制: 张允豪

东北师范大学出版社出版发行
长春净月经济开发区金宝街 118 号 (邮政编码: 130117)
电话: 0431—85687213
传真: 0431—85691969
网址: <http://www.nenup.com>
电子函件: sdcbs@mail.jl.cn
东北师范大学出版社激光照排中心制版

2010 年 7 月第 1 版第 1 次印刷
幅面尺寸: 185 mm×260 mm 印张: 15.5 字数: 353 千

定价: 37.00 元
如发现印装质量问题, 影响阅读, 可直接与承印厂联系调换

本专著系列包括：

《长白山地理系统研究》第一辑（1956—1981）

《长白山地理系统研究》第二辑（1982—1995）

《长白山地理系统研究》第三辑（1996—2006）

《长白山地理系统与生态安全》第四辑（2007—2010）

This series include:

Research on Geosystems of the Changbai Mountains, Volume 1 (1956—1981)

Research on Geosystems of the Changbai Mountains, Volume 2 (1982—1995)

Research on Geosystems of the Changbai Mountains, Volume 3 (1996—2006)

Geosystems and Ecological Security of the Changbai Mountains, Volume 4 (2007—2010)

本系列专著的出版得到了东北师范大学“十一五”科技创新平台建设计划培育项目“长白山国际地缘生态安全与数据集成（106111065202）”、中华人民共和国教育部与香港李嘉诚基金会“长江学者奖励计划”、中华人民共和国科技部国家重点基础研究发展规划（973）项目“长白山地区土地利用/覆被变化与生态安全监测控制研究（2009CB426305）”的资助。

The publication of this book series was supported by the Science and Technology Innovation Platforms Initiative of the Northeast Normal University under the project “Ecological Security and Data Assemblage of the Changbai Mountains International Georegion (Project No. 106111065202)”; The Changjiang (Yangtze River) Scholar Award Program sponsored by the Ministry of Education of the People’s Republic of China and the Li Ka Sheng Foundation of Hong Kong; and the National Grand Fundamental Research 973 Program of China (Project No. 2009CB426305).

《长白山地理系统研究》编委会

主 任 盛连喜

编 委 会 (按姓名笔画为序):

王升忠 王 宁 王野乔 冯 江 刘志明 刘惠清

许林书 许嘉巍 杨青山 吴正方 张洪岩 张继权

赵云升 秦丽杰 袁孝亭 袁 星 殷秀琴 高 玮

主 编 王野乔 吴正方 冯 江

顾 问 肖荣寰 陈 鹏 景贵和 柴 岫 李 楨 李惠明

杨秉贻 丁四保

编委会助理 王树生

内 容 提 要

本文集为《长白山地理系统研究》系列专著的第三辑。论文反映了东北师范大学城市与环境科学学院，在原地理系和环境科学系的基础上建院以来，在1996~2006年期间，关于长白山地理系统研究的主要成果。本辑含论文24篇。内容包括对“长白山”一词使用的正名探讨；吉林东部山区1953~2007近55年的气温变化特征；长白山森林植被的生态气候学研究；长白山地泥炭分布、沉积速率与全新世气候变化；长白山区泥炭沼泽植物多样性；泥炭沼泽微地貌特征及其形成的水动力机制；中国东北地区与白俄罗斯泥炭沼泽的孢粉分析及形成环境对比；长白山泥炭沼泽桧叶金发癣种群的年龄结构与生长分析；长白山火山活动对现代土壤形成与发育的影响，对发育环境的塑造，垂直带谱的构成；长白山火山活动与山地棕色针叶林土形成的地球化学特征，对现代土壤形成与发育的影响，与现代土壤垂直带谱的构成，对现代土壤发育环境的塑造；火山活动对长白山植被带的影响分析；长白山风灾区植被与土壤变化；长白山岳桦林上限树岛扩展分析；基于因子分析的长白山地区森林资源研究；左家自然保护区大型土壤动物与土壤因子的关系；左家自然保护区坡地土壤动物物种多度分布格局；长白山典型红松阔叶混交林土壤动物群落特征；长白山数字火山地貌的分类与制图；图们江流域水环境质量变化规律；松花江三湖流域土地利用变化的生态环境效应；松花江吉林省段表层沉积物中重金属分布特征及污染评价；长白山典型地物波谱偏振数据获取与数据库的建立等。

前 言

本文集共含论文 24 篇。首先肖荣寰老师以“长白山地名刍议”为题，对长白山一词的使用进行了正名探索，目的是对这一重要地名在科学界和社会各界的使用中形成相对共识，并最终得到学术界和地名管理部门的统一和确认。本集科学论文的内容包括：1953~2007 年的 55 年期间吉林省东部山区气温变化特征；长白山森林植被的生态气候学研究；长白山地泥炭分布、沉积速率与全新世气候变化；长白山区泥炭沼泽植物多样性；泥炭沼泽微地貌特征及其形成的水动力机制；中国东北地区与白俄罗斯泥炭沼泽的孢粉分析及形成环境对比；长白山泥炭沼泽桧叶金发癣种群的年龄结构与生长分析；长白山火山活动对现代土壤形成与发育的影响，对发育环境的塑造，垂直带谱的构成；长白山火山活动与山地棕色针叶林土形成的地球化学特征；火山活动对长白山植被带的影响分析；长白山风灾区植被与土壤变化；长白山岳桦林上限树岛扩展分析；基于因子分析的长白山地区森林资源研究；左家自然保护区大型土壤动物与土壤因子关系；左家自然保护区坡地土壤动物物种—多度分布格局；长白山典型红松阔叶混交林土壤动物群落特征；长白山数字火山地貌的分类与制图；图们江流域水环境质量变化规律；松花江三湖流域土地利用变化的生态环境效应；松花江吉林省段表层沉积物中重金属分布特征及污染评价；长白山典型地物波谱偏振数据获取与数据库的建立；等等。

我们希望通过本系列论文集来理清东北师范大学半个多世纪以来关于长白山地理系统研究的历史脉络和科研积累，凝练和确立关于长白山地理系统与生态安全研究的多学科综合发展的方向，为深化对长白山独特地理系统的认识提供基础。在此，我们感谢所有作者和对这些科学研究给以各种帮助和资助的部门、单位和个人。

王野乔，吴正方

2009 年 6 月

目 录

1. 长白山地名刍议	肖荣寰	1
2. 吉林省东部山区 1953~2007 近 55 年间的气温变化特征分析	吴正方 李明 秦丽杰 孟祥君 左斌 蒋兆恒	4
3. 长白山森林植被的生态气候学研究	靳英华 吴正方	12
4. 长白山地泥炭分布、沉积速率与全新世气候变化	赵红艳 冷雪天 王升忠	19
5. 长白山区泥炭沼泽植物多样性研究	王杰 王升忠	28
6. 泥炭沼泽微地貌特征及其形成的水动力机制	王升忠 王树生 魏民	35
7. 中国东北地区与白俄罗斯泥炭沼泽的孢粉分析及形成环境对比	李宜垠 冷雪天	42
8. 长白山泥炭沼泽桧叶金发藓种群的年龄结构与生长分析	卜兆君 杨允菲 代丹 王宪伟	50
9. 长白山火山活动对现代土壤发育环境的塑造	许林书	59
10. 长白山火山活动对现代土壤形成与发育的影响	许林书 曹龄月	70
11. 长白山火山活动与山地棕色针叶林土形成的地球化学特征	许林书	98
12. 长白山火山活动与现代土壤垂直带谱的构成	许林书 曹龄月	111
13. 火山活动对长白山植被带的影响分析	许嘉巍 梁宇	123
14. 长白山风灾区植被与土壤变化研究	许嘉巍 梁宇	141
15. 长白山岳桦林上限树岛扩展分析	王晓东 刘惠清	152
16. 基于因子分析的长白山地区森林资源研究	杨令宾 吴瑾 张霞	165
17. 左家自然保护区大型土壤动物与土壤因子关系研究	刘继亮 殷秀琴 邱丽丽	170
18. 左家自然保护区坡地土壤动物物种—多度分布格局研究	邱丽丽 殷秀琴	179

19. 长白山典型红松阔叶混交林土壤动物群落特征研究	蒋云峰 殷秀琴 陶岩 辛未冬 安静超 张晓光	185
20. 长白山数字火山地貌的分类与制图	张洪岩 程维明 龙恩	193
21. 图们江流域生态环境问题与保护对策研究	王宁 袁星 王微	205
22. 松花江三湖流域土地利用变化的生态环境效应研究	秦丽杰 王宁 张郁 刘湘南	213
23. 松花江吉林省段表层沉积物中重金属分布特征及污染评价	刘清风 袁星 丁蕴铮	219
24. 长白山典型地物偏振数据获取与数据库的建立	赵云升 韩阳	225

Table of Contents

1	About the name of the Changbai Mountain	Xiao Ronghuan	1
2	Patterns of temperature change in eastern mountainous areas of the Jilin Province from 1953 to 2007	Wu Zhengfang, Li Ming, Qin Lijie, Meng Xiangjun, Zuo Bin, Jiang Zhaoheng	4
3	Eco-climatic study on forest vegetation in Changbai Mountains	Jin Yinghua, Wu Zhengfang	12
4	Distribution and accumulation rate of peat in the Changbai Mountains and Climate Change in Holocene	Zhao Hongyan, Leng Xuetian, Wang Shengzhong	19
5	Study on plant diversity of peat mires in the Changbai Mountain	Wang Jie, Wang Shengzhong	28
6	Features and hydrodynamic mechanism in formation of micro-landform on peat mires	Wang Shengzhong, Wang Shusheng, Wei Min	35
7	The comparative study on pollen-spora analysis and formation environment of peat mires between the northeast China and Belarus	Li Yiyin, Leng Xuetian	42
8	Age structure and growth pattern of <i>Polytrichum juniperum</i> populations in a mire of Changbai Mountains	Bu Zhaojun, Yang Yunfei, Dai Dan, Wang Xianwei	50
9	Effects of volcanic activities on soil and the environmental factors	Xu Linshu	59
10	Volcanic Impacts to the formation and development of soil in the Changbai Mountain	Xu Linshu, Cao Lingyue	70
11	Volcanic activities and geochemical characteristics of mountainous brown coniferous forest soil of the Changbai Mountain	Xu Linshu	98
12	Volcanic activities and formation of vertical zones of modern soil in the Changbai Mountain	Xu Linshu, Cao Lingyue	111
13	Volcanic trace in vegetation of the Changbai Mountain	Xu Jiawei, Liang Yu	123
14	The vegetation and soil change in wind-damaged areas of the Changbai Mountain	Xu Jiawei, Liang Yu	141
15	Upper limit expansion of tree islands of <i>Betula ermanii</i> in the Changbai Mountain	Wang Xiaodong, Liu Huiqing	152

-
- 16 The forest resources research of the Changbai Mountain areas based on factor analysis Yang Lingbin, Wu Jin, Zhang Xia 165
- 17 Large-sized soil fauna and soil factors in Zuojia Nature Reserve Liu Jiliang, Yin Xiuqin, Qiu Lili 170
- 18 Soil fauna abundance pattern in a sloping field of Zuojia Nature Reserve, Jilin Province, China Qiu Lili, Yin Xiuqin 179
- 19 Characteristics of soil fauna community in typical *Pinus koraiensis* mixed broad-leaved forest in Changbai Mountains Jiang Yunfeng, Yin Xiuqin, Tao Yan, Xin Weidong, An Jingchao, Zhang Xiaoguang 185
- 20 The classification of digital volcanic physiognomy and mapping in the Changbai Mountain Zhang Hongyan, Cheng Weiming, Long En 193
- 21 Study on eco-environmental problems and its protection countermeasures in Tumen River basin Wang Ning, Yuan Xing, Wang Wei 205
- 22 Study on the effect of land use change on the ecoenvironment in the 3-lakes of the Songhua River Qin Lijie, Wang Ning, Zhang Yu, Liu Xiangnan 213
- 23 Speciation characteristics and contamination assessment on heavy metal pollution in the sediment of Songhua River, Jilin Province Liu Qingfeng, Yuan Xing, Ding Yunzheng 219
- 24 Acquisition of polarized spectral features of typical land cover types and the database development in the Changbai Mountain Zhao Yunsheng, Han Yang 225

长白山地名刍议

肖荣寰*

长白山是驰名中外的一座火山，也是中国东北地区最高的山体。长白山由于其独特的地质地貌、独特的景观风貌和独特的环境地位，多年来一直为人们和学界所特别关注。长白山，作为一个自然地名，在使用中常指长白山火山，或包括以它为核心的周边不同范围的自然区域。但这些区域有大有小，命名大多并不明确、规范和统一。长白山究竟在哪里，不同的人有不同的见解。可见，很有必要对长白山和有关的长白山区域作一正名的探索，目的是对这一重要地名的使用，能逐渐形成相对的共识，并最终得到学术界和地名管理部门的统一和确认。

对“长白山”这三字地名，多年来一直有狭义和广义的理解。狭义者指的是长白山火山，它位于中朝两国的边境，是矗立于军舰山期玄武岩台地之上的一座巨型复式火山。最高峰白头峰，位于朝鲜境内，海拔 2 749 m。位于中国境内的最高峰白云峰海拔 2 691 m。山麓线不甚明显，与熔岩台地的结合处大致在 1 800 m 左右。火山锥的平面轮廓呈椭圆形，长径约 27 km，短径约 15 km，锥体坡度多在 $10^{\circ}\sim 15^{\circ}$ 。山顶有火山口湖，即长白山天池。天池周围有环形山脊，十余座山峰均在海拔 2 500 m 以上，历史上就有长白山十六峰之称。在火山的坡麓，玄武岩台地明显隆起，坡度多在 $6^{\circ}\sim 10^{\circ}$ ，形成明显的倾斜状熔岩台地，环山分布，在海拔 1 100 m 左右以下逐渐变缓。从形态学看，火山锥与下伏的倾斜状熔岩地面浑然一体，火山更显得宏伟壮观。

在由中国地图出版社出版的中国国家地图上，长白山火山并无山体或山峰的地名注记，只有“长白山天池”的水体注记。2003 年后看到的有关省区地图，标注“长白山天池（白头山天池）”。长白山火山，在以往的研究文献中有时也称“白头山火山”^[1]。这自然与地图上的山名注记有一定关系。但是在中国国内的地名使用上，还是以称“长白山”的居多。对此，学术界和管理部门都感到很有统一称谓的必要。

这座大山的命名，有着悠久的历史沿革。满族称此山为果勒敏珊延阿林，意为长白山，因山顶多白色浮岩和有越年积雪而名，简称“白山”，俗称“老白山”。周秦称“不咸山”。汉称“盖马大山”。南北朝称“徙太山”、“太白山”、“太皇山”。唐称“太白山”。辽金始称“长白山”。^[2]

作为一座名山，在地图上长期以来只有山顶水体的注记，而无独立山体的注记，在地名使用上显然极不方便，也大大影响了这座名山名声的传播。

* 【作者单位】东北师范大学城市与环境科学学院。

应该提到,在中国正式出版的地图上,还常将“长白山”三字作为山文线按斜列式注记在甑峰山——长白山——望天鹅峰一线,这显然不妥。因为这里并没有连续不断的山岭,而是在开阔平缓的熔岩台地上,突兀起几座相对孤立的火山锥体或玄武岩山体。“长白山”三个字,显然应该按山峰名注记,而不应按山脉名注记。

由于长白山高大醒目,又具有明显的区域标志性和代表性,人们常借用此名泛指火山本身及其周围的相关地区。此即所谓广义长白山。只是由于所指区域的范围又常有不同,如果缺乏相应的区域称谓,就难免会有不同的理解。常见的一些有关长白山的区域名称,还有长白山火山熔岩台地、长白山自然保护区、长白山脉、长白山地区和长白山地等。

长白山火山熔岩台地 长白山火山与其周围的熔岩台地有着紧密的发生学联系,它们同为长白山新生代火山活动的产物。熔岩台地南至鸭绿江谷地,北至二道松花江谷地,西至头道松花江谷地,东至长虹岭附近,南北长约 130 km,东西宽约 100 km。台地上有众多的火山锥分布,其中巨型火山除长白山外,还有形成于第三纪的望天鹅火山。

长白山火山熔岩台地也常被称为长白熔岩台地或长白山火山区。该地名较好地反映了区内长白山火山群及与其相应的玄武岩台地两个基本地貌单元的特征。应该指出,长白山和长白熔岩台地具有明显的景观垂直带性,如针叶林带、岳桦林带、高山苔原带等。这些长白山景观带的称谓,也都具有一定的自然地名的功能。以往,这一广袤的火山熔岩台地也被称为长白熔岩高原。

长白熔岩台地与朝鲜境内的白茂高原和盖马高原,虽有鸭绿江谷地分割,但实际上紧密相连,并为同一火山活动和新构造运动的产物。

长白山自然保护区 长白山自然保护区属人为划定的区域,是以自然资源和自然综合体为保护对象的综合生态系统类型的自然保护区,但其边界与自然实体的界限并不完全一致,具有人文地名的属性。它以长白山为中心,南北长约 79.5 km,东西宽约 47 km,只占长白山火山熔岩台地的一小部分。另与长白山自然保护区范围相近的,还有国家重点风景名胜区长白山风景区,长白山高山滑雪场即在该区之内。

长白山脉 长白山脉是指临近长白山的若干山岭系统。在地图的山名注记上多限于长白山东北部的老爷岭、英额岭和长白山西南部的老岭一带,山体多为北北东走向。实际上,作为一个山岭系统,长白山脉亦可包括更为高大而绵长的张广才岭——威虎岭——龙岗山。这样,长白山脉就恰好为“长白山地区”的主要山脉,甚至也是“长白山地”的山岭主脉了。当然,在地图上按山脉名注记的山名,省略“山脉”二字者亦为常见。但是山脉与山峰同名者,是两个不同的概念。显然,在文字叙述中应予区分。

长白山地区 长白山地区泛指以长白山为核心和临近长白山的地区。在吉林省近几十年的区域研究中,常把威虎岭——龙岗山及其以东的广大地区,统称为长白山地区,行政区大致相当于吉林省的延边朝鲜族自治州、白山市和通化市。^[3]

这一地区的自然环境,以中山、低山和窄谷为特征,山高林密,盆地狭小。长白山脉当为该地区的山脉名称。著名的龙岗火山群也在该地区之内。

但是,这一区域地名并没有被地名管理部门和学界最后认定,它的范围和界限当然也不是一成不变的。

另外,在长白山地名运用习惯上,还常有“长白山区”和“长白山一带”等称谓。这类区域称谓往往没有严格的区域界限,多指临近长白山或大或小的山区或林区。采用这类

区界模糊的称谓，无疑应在论述中准确地用其所包括的次一级自然地名或人文地名，对所涉及的空间范围加以必要的说明。

长白山地 多称东北东部山地，指东北大平原以东的山地，东至中朝和中俄边界。此山地与俄罗斯的远东山地和朝鲜境内的山地连成一体，并共同构成日本海的西海岸山地。其南段有千山，北段有完达山，中段宽展并有多列北北东向延伸的山岭。山地的平面轮廓呈纺锤形。

山地的中段，在威虎岭——龙岗山以西（包括吉林哈达岭、大黑山一带），多低山丘陵和宽谷，山低林稀。该区域在地名的使用上采取“长白山”三字的较少。但在大区域研究中，东北东部山地有时也称长白山地^[4]或长白山——千山山地^[5]。而在自然区划的研究中，长白山地又常不包括辽东半岛，后者一般划属“华北地区”^[6]。由此看来，长白山地实际上也有狭义和广义之分。另所谓东北地区的“白山黑水”当然也是意指长白山、黑龙江乃该地区的代表性山水要素。

综上所述，名山地名的功能和价值应予充分重视，名山的统一称谓自然更为重要。“长白山”三字地名实为长白山火山之名。只是由于它的区域标志性和代表性，人们才把它为核心的有关区域，常常冠上“长白山”三字。但是如果仅仅使用这三个字，人们就不清楚所指的区域范围，在多数情况下，只能理解为长白山火山及其山麓地区。在有关的区域管理或区域研究工作中，所涉及的区域范围，当然既可以是明确的，也可以是模糊的；但在论述中，对已有的或已经约定俗成的自然区域名称的使用，必须是严格的，统一的。对超出长白山火山山体的区域，则应尽量有恰当的区域附加说明或区域称谓。不然，就会造成空间概念的混乱。“长白山”三字常可代表长白山之外更广大的区域，无疑增加了这一自然地名概念的内涵，这也是与许多其他山峰地名有所不同的，但对有关长白山区域的早日正名，无疑有利于人们在有关长白山的诸多工作中，能有更准确的区域概念和共同的语言。这也是区域研究工作的一个重要前提。

参 考 文 献

- [1] 谢宇平. 中国东北中部地区新生代火山及火山岩研究. 长春: 东北师范大学出版社, 1993.
- [2] 安图县地方志编纂委员会. 安图县志. 长春: 吉林文史出版社, 1993.
- [3] 吉林省环境保护研究所. 长白山地区自然资源开发与生态环境保护. 长春: 吉林省科学技术出版社, 1988.
- [4] 杨光浴. 中华人民共和国地名词典·吉林省. 上海: 商务印书馆, 1994.
- [5] 中国科学院《中国自然地理》编辑委员会. 中国自然地理·地貌. 北京: 科学出版社, 1980.
- [6] 李祯. 东北地区自然地理. 上海: 高等教育出版社, 1993.

吉林省东部山区 1953~2007 近 55 年间的 气温变化特征分析

吴正方 李明 秦丽杰 孟祥君 左斌 蒋兆恒*

【摘要】 选用吉林省东部山区 12 个代表站近 55 年的观测数据, 分析了平均气温随时间的变化特征以及增温趋势的地域分布和持续性特征。结果表明: (1) 吉林省东部山区年均温具有明显的 4 年震荡周期, 突变点出现在 1988 年; (2) 年均温存在明显的增温趋势, 幅度为 $0.35^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$, 季节增温趋势存在非均衡性, 冬季和春季升温幅度较大, 夏季增温幅度最小, 并且气温在未来的变化上仍呈上升趋势; (3) 年、季节的温度变化趋势在空间上存在差异, 就年均温来说, 升温幅度最大的区域是敦化盆地以及吉林哈达岭和龙岗山脉之间的谷地, 长白熔岩台地和琿春升温幅度较小。

IPCC 第四次评估报告指出: 在过去一百年内, 即 1906~2005 年全球平均气温上升了 0.74°C , 最近 50 年升温约为每 10 年升高 0.13°C ; 中国在过去 50 年里, 平均气温升高幅度达到 1.1°C 。^[1] 全球气候变化存在显著的区域性差异, 而这种差异主要体现在温度和降水量的变化上, 以及与这两个主要气候参数相关的变暖或变冷、变湿或变干给人类的生产和生活带来的利益的差异。^[2] 因此, 区域性气候变化方向和幅度的分析研究, 对认识气候变化影响下区域自然及人工生态系统结构、功能和生产能力的可能变化, 以及制定未来区域自然资源合理开发和利用计划等, 均具有重要意义。^[3~6]

吉林省东部山区地处欧亚大陆中高纬度, 是气候的敏感区和生态环境的脆弱带, 也是东北亚地区最重要的生态屏障, 对东北亚地区的生态环境有关键性作用, 其气候变化既受到全球变暖的影响, 又具有本地区的地域性特点。因此, 对吉林省东部山区气温变化进行研究, 探讨其变化特征及规律, 对该地区的生态安全, 以及在生态建设中充分考虑气候变化因素对吉林省东部自然资源合理开发利用的可能影响等, 具有重要的现实意义。本文采用 Mexh 小波、功率谱、Mann-kendall 和 R/S 等方法从气温变化的周期性、突变性、变化趋势和持续性四个方面对吉林省东部山区 1953 年以来的气温变化特征进行了分析。

一、资料与方法

1. 研究区域和数据源

本文研究的区域包括大黑山、老爷岭、吉林哈达岭、威虎岭、龙岗山脉及长白山主脉, 在行政区上主要覆盖范围为通化、白山、延边三个地区和吉林市的蛟河、磐石、桦甸三个县市 (图 1), 所采用的气温数据包括 1953~2007 年吉林省东部山区 12 个气象站的

* 【作者单位】东北师范大学城市与环境科学学院。

资料,对于个别缺测数据,本文选用临近站点空间插补方法对其进行插补,以保证气温序列的完整性和连续性。

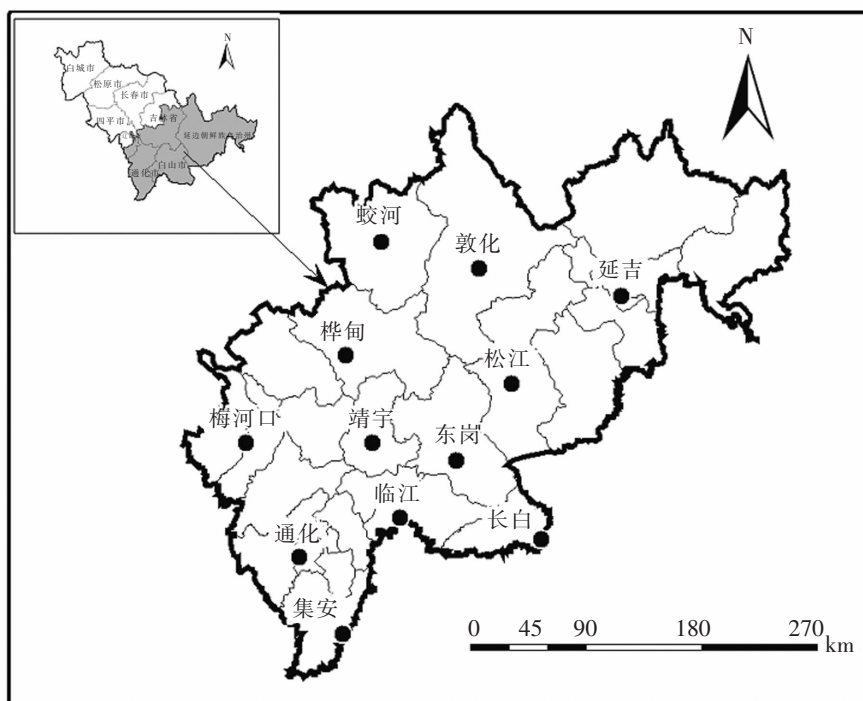


图1 吉林省东部山区 12 个气象站点分布图

2. 研究方法

(1) 气温变化周期分析

采用 Mexh 小波和功率谱分析近 55 年来吉林省东部温度变化的周期性。小波分析是近 10 年来被引入气象领域的一种新的方法,它通过平移和伸缩参数对信号的不同频率分量采用不同持续时间的窗函数来分析信号,它不仅可以给出气候时间序列变化的尺度,还可以显示出变化的时间位置,具有多时间尺度分析和数学意义上严格的突变点诊断能力。^[7~9]功率谱分析是以傅立叶变换为基础的频域分析方法,将时间序列的总能量分解为不同频率上的分量,根据不同频率波的方差贡献判断序列隐含的显著周期。^[10,11]

(2) 气温变化的突变分析

气候突变的检测方法有多种,但 Mann-Kendall 法具有检验范围宽、量化程度高、人为性小等特点,是目前突变性检验方法中应用较多且理论意义最为明显的一种,同时可以进一步验证小波分析产生的突变点的真伪。^[12,13]

(3) 气温变化幅度及显著性检验

锡尔(Theil)和塞恩(Sen)提出的一种非参数法对时间序列变化幅度的检测是非常有效的^[3],公式如下:

$$\beta = \text{Median} \left(\frac{X_i - X_j}{i - j} \right) \forall j < i \quad (1)$$

式中: β 是整个数据序列中的所有组合相邻单元变化率的中值, X_i 和 X_j 分别是第 i 个和第 j 个观测值。当 $\beta > 0$ 时,反映上升的趋势,反之则反映下降的趋势。

一个区域的时间序列趋势的变化显著性检验依据公式 (2) 和 (3) 计算:

$$\Phi(|Z|) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{|Z|} e^{-\frac{t^2}{2}} dt \quad (2)$$

$$p = 0.5 - \Phi(|Z|) \quad (3)$$

式中: m 为一个区域的站点总数, Z 是 MK 统计值, p 是概率值。如果 $p \leq 0.05$, 则时间序列的变化趋势是显著的。

(4) 气温变化的 R/S 分析

R/S 分析方法 (Rescaled Range Analysis, 重标极差分析法) 是赫斯特在大量实证基础上提出的一种时间序列统计方法, 其在分形理论中有着重要的作用。^[14,15] 根据赫斯特指数, 我们可以判断时间序列是完全随机还是存在趋势性成分。 H 的取值范围为 $0 \sim 1$, 当 $H = 0.5$ 时, 时间序列是随机的; $H > 0.5$, 表明时间序列具有持久性; $H < 0.5$, 表明时间序列具有反持久性。

二、结果与分析

1. 气温变化的周期性分析

图 2 (a) 是吉林省东部 55 年来年均温距平墨西哥帽小波系数等值线图, 小波系数分布形成了各种尺度正负相间的震荡中心 (虚线表示小波系数为负值, 实线表示小波系数为正值), 这显示了吉林省东部 55 年气温包含了多个不同尺度的周期变化。在大于 40 年的时间尺度上, 该地区主要经历了两次大时间尺度的更替, 即 1988 年以前的偏冷期和 1988 年以后的偏暖期, 小波系数的零点出现在 1988 年, 而直到 2007 年等值线并没有闭合, 说明在大时间尺度上, 未来一段时间吉林省东部山区气温仍将处在一个偏暖期; 在 20~40 年的时间尺度上, 气温变化主要经历了 4 次冷暖交替: 1958 年以前的偏冷期, 1958~1964 年的偏暖期, 1964~1988 年的偏冷期, 以及 1988 年后的偏暖期; 在小于 10 年的尺度上, 气温变化复杂, 冷暖期更替频繁, 主要有 4~5 年的变化周期。由功率谱图 2 (b) 可以看到, 吉林省东部山区气温变化在频率为 0.25 时, 功率谱的统计值超过了 $\alpha = 0.05$ 水平下的标准谱, 因此, 该区具有 4 年的显著周期, 这与小波分析 10 年以下尺度的检测是一致的。

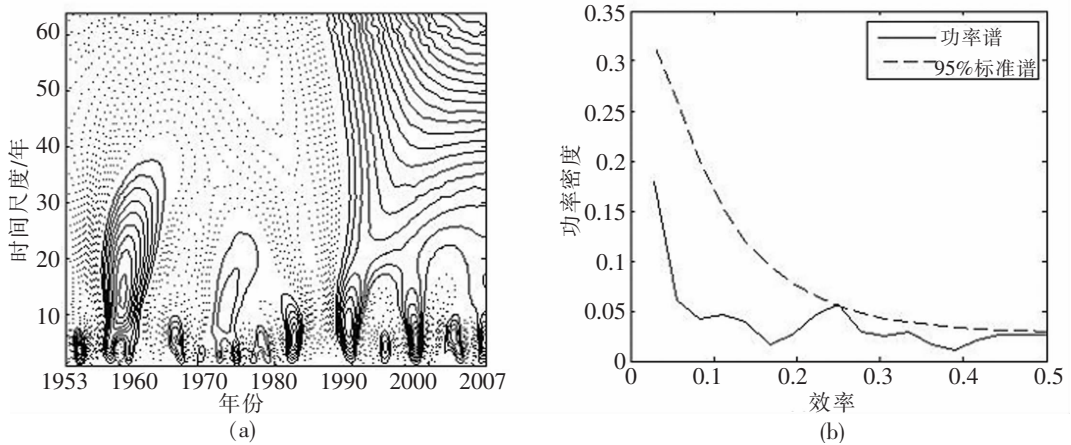


图 2 吉林省东部 55 年来平均气温变化小波分析和功率谱分析