曾琦,任国玉.2020. 湖北省主要山系高影响天气指标空间特征分析与建模[J].暴雨灾害,39(2):192-200

ZENG Qi, REN Guoyu. 2020. Analysis and modeling of spatial characteristics of high impact weather index of major mountain systems in Hubei Province [J]. Torrential Rain and Disasters, 39(2):192–200

湖北省主要山系高影响天气指标空间特征分析与建模

曾琦1,任国玉2

(1. 中国地质大学(武汉), 武汉 430074; 2. 中国气象局国家气候中心气候研究开放实验室, 北京 100081)

摘 要:为了揭示湖北省主要山系高影响天气指标空间分布特征,利用湖北省内1716个气象站点2016—2018年逐日气 温、降水资料,定义6个高影响天气指标,利用GIS空间插值方法,绘制了湖北省高影响天气指标的空间分布图。选取7 个湖北主要山系坡面,分析各个坡面上高影响天气指标的海拔梯度变化特征。根据湖北主要山系分布将湖北分为8个 区,利用DEM数据,采用多元回归分析方法,建立各个区域内高影响天气指标和经度、纬度、海拔高度和坡度这4个地理 因子之间的关系模型。结果表明,模型相关性显著,对估算模型进行F检验,大部分通过置信度为0.95的相关性检验。 研究结果可为湖北山区风电建设、旅游开发、风险区划等提供参考依据。

关键词:高影响天气;高温;低温;降水;山地气候;湖北省

中图法分类号: P461.⁺3 文献标志码: A **DOI:** 10.3969/j.issn.1004-9045.2020.02.010

Analysis and modeling of spatial characteristics of high impact weather index of major mountain systems in Hubei Province

ZENG Qi¹, REN Guoyu²

(1. China University of Geosciences, Wuhan 430074; 2. National Climate Center, CMA, Beijing 100081)

Abstract: In order to reveal the spatial distribution law of high impact weather indicators of major mountain systems in Hubei Province, we used daily temperature and precipitation data of 1716 meteorological stations in Hubei Province from 2016 to 2018 to define and obtain 6 high impact weather indicators. Combined with GIS spatial interpolation method, the spatial distribution map of high impact weather indicators in Hubei Province was drawn. In this paper, 7 main mountain slopes in Hubei were selected to further analyze the elevation gradient change characteristics of the high influence weather index on each slope. According to the distribution of main mountain systems in Hubei Province, we divided the province into 8 regions. Based on DEM data and multiple regression analysis method, the relationship model between high influence weather indices and four geographical factors including longitude, latitude, elevation and slope in each region is established. The results showed that the model was significantly correlated. F test was carried out on the estimation model; most of tests passed the correlation test with a confidence of 0.95. The study will provide references for wind power construction, tourism development and risk zoning in mountain use of Hubei Province.

Key words: high impact weather; high temperature; low temperature; precipitation; mountain climate; Hubei Province

引 言

高影响天气是指影响人们生活质量,给经济带来 严重影响、威胁生命并引起社会公众高度关注的天气 现象(Shi et al., 2017)。作为气候带重要的下垫面因 子,山地是局地气候形成的一个主要因子,高影响天 气事件频发(Wang et al., 2003)。山区极端气温和降水 事件易导致高温热害、低温冰冻、暴雨内涝、山洪、滑 坡泥石流以及干旱、山林火灾等气象灾害和次生气象 灾害的发生(时振钦和朱连奇,2017),研究山地气候和 高影响天气,对社会生产活动、经济发展和生态环境 有重大意义(Martin et al.,1995;黄萌田等,2018)。

山地气候是一种受山体的高度、大小、坡度、坡向 等因素影响而形成的独特气候状态,山地气候随地形

收稿日期: 2019-12-15;定稿日期: 2020-02-15

资助项目:国家重点研发计划(2018YFB1502801);中国气象局2020年山洪地质灾害防治气象保障工程"湖北省风电场生态系统保护和恢复综合气候背景区划";湖北省气象科技发展基金(2020Q10)

第一作者:曾琦,主要从事山地气候和应用气象的研究。E-mail:1816456717@qq.com 通信作者:任国玉,主要从事气候变化、古气候和古生态学的研究。E-mail:guoyoo@cma.gov.cn

变化,空间分布错综复杂。由于现实中大量气象站建 设于低海拔的山地平原或河谷盆地,无法满足研究需 要,如何利用现有气象台站资料,推知无观测区域的 气候状况,是山地气候研究中的一个重要问题(傅抱 璞,1982,1988)。近年来,国内学者在气象站点实测数 据基础上,分析影响山地气象因子分布的地形要素, 使用多元回归的方法,利用GIS技术对实际地形下的 气象因子进行定量评估。董丹丹等(2017)利用年均降 水量、海拔高度、坡向、坡度资料,结合GIS和统计分 析,建立了青藏高原各分区的降水垂直分布关系式。 莫申国和张百平(2017)利用2013—2015年连续3 a 的 日均温资料和GIS空间分析方法,发现太白山气温直 减率,北坡年均气温直减率大于南坡,北坡和南坡的 最大值分别出现在夏季和春季。

国内山地气候研究以青藏高原(崔鹏等,2014)为 重点,对秦巴山区(杨波等,2014)、大别山、天山(侯小刚 等,2017)等主要山脉开展了地形与气象关系的研究 (李国平,2016),较少涉及到湖北。湖北省位于长江中 游,三面环山,山区立体气候差异显著,受亚热带季风 影响,四季分明,气温和降水的日、月、年际变幅均较 大,是全国气象灾害发生较为频繁的省份之一,暴雨、 干旱、强对流等灾害的影响最为严重(邵末兰和向纯 怡,2009)。湖北省最早的山地气候研究在1988年的 《湖北省综合农业区划》^①中,利用1983—1986年山区 定点实测资料,建立了山区农业数据库,研究山区温 度、降水、日照时数的垂直分布特征和山区农业气候 的特殊垂直结构,并且重点研究了大别山南坡与神农 架南北坡的气候特征(马乃孚和倪国裕,1988)。受气 象观测站点设置区域限制,湖北省山地气候研究较 少,刘健等(2010)发现受海拔高度和地形地势影响,恩 施山区雾总体呈西多东少的分布态势,冬季雾日数随 海拔高度的升高而减少,夏季雾日数随海拔高度的升 高而增多;马德栗等(2014)根据 2010—2012 年三峡气 候梯度塔的观测数据,分析各层气象要素的时空变 化特征,其中发现年平均气温随高度升高而降低,各 层气温逐月变化呈单峰值,1月气温最低,7月最高; 黄俊杰等(2015)利用海拔高度、经纬度等地形数据资 料,发现鄂西南山区、鄂北中部和西部等地受特殊地 形(风口、突出山体、迎风坡和背风坡)影响是较严重 的导线覆冰区;王学良等(2019)研究了湖北省山区与 平原雷电分布及其参数特征,发现山区小雷电流绕击 率大于平原,平原地区大雷电流反击率比山区大,雷 电感应的危害大于山区。本文将利用湖北省内区域

站资料,经过质量筛选和数据整理,获得海拔梯度上 分布较为完整的气温和降水资料,研究湖北主要山系 高影响天气指标的空间分布特征,建立与地理因子相 关的数学模型,为湖北山地气候研究以及湖北山区风 电建设、旅游开发、风险区划等多方面内容提供参考 依据。

1 研究区概况

湖北素称"七山一水二分田",境内地形复杂多 变,省内海拔500m以上的山地占全省面积的56%,海 拔500m以下的丘陵地区占全省面积的24%(范围: 108.35°--116.12°E, 29.08°--33.33°N)。在大尺度季风 气候影响下,从宏观热量气候分带看,湖北嵌套于中 亚热带向南温带过度的北亚热带(北部)和中亚热带(鄂 西南、鄂东南)之中。在气候上具有南北不同,东西有 别而兼具南北、东西过渡的特征。本文考虑到省内主 要山系分布特征,将全省划分为8个区:武陵山系(I 区),地处鄂西南,平均海拔1000m以上;神农架南坡 (Ⅱ区),长江三峡贯穿其中,地形深切割;神农架北坡 (Ⅲ区),拥有最高海拔3105m的神农顶;武当山系(Ⅳ 区),隶属秦岭余脉;大洪山和桐柏山(V区),也称鄂北 岗地,江汉平原北部丘陵山区;大别山系(M区),地处 鄂东北,是长江与淮河的分水岭;幕阜山系(MI区),地 处鄂东南,区域内岭谷平行相间,山丘盆地参差;鄂中 江汉平原(Ш区),周围山体向其倾斜,属于平原湖区(图 1、表2)。



Fig.1 Regional overview and zoning of Hubei Province.

2 资料和方法

2.1 资料选取

本文 DEM 由 1:25 万比例尺的地形图建立,格网 分辨率为1 km。选取了中国气象局国家气象信息中 心提供的湖北省 1 716 个气象站点(包括 82 个国家站 和1 634 个区域站)逐日温度、降水资料。由于大部分

① 倪国裕,杨荆安,马乃孚,等.1988.湖北省综合农业气候区划,湖北省气象科学研究所.

高海拔区域站的数据自2016年后才有记录,为了能构 建海拔梯度上分布较完整的气温和降水资料,本次研 究选择2016—2018年温度和降水的资料。湖北省极 端降水主要集中在夏季,春季次之,秋季再次,冬季较 少出现(吴翠红等,2013),由此特别选取每年4-10月 降水数据作为各个站点的降水研究资料。郭广芬等 (2009)等研究发现,相比于强度较大的日降水量,过程 降水量能更好地反映持续性降水累积效应的致灾作 用,因此本文未选择最大日降水量数据。最终定义了 6个高影响天气指标(表1),包括高温指标:极端最高气 温(T_M)、年平均高温日数(T_M);低温指标:极端最低气温 (T_m)、年平均低温日数(T_m);降水指标:年平均4—10月

降水量(P4-10)、年平均(4—10月)暴雨日数(Pd)。

本研究选取了大量区域站数据,需要经过较严格 的资料筛选和质量控制,包括一致性检验和极值检验 (表2)。数据筛选要求具体参照以下几点:

(1) 剔除(关键)数据缺失的气象站点,例如夏季高 温、降水数据,冬季低温数据;

(2) 剔除地理信息明显变化(经纬度变化超过0.1°, 海拔变化超过10m)的气象站点;

(3) 剔除有数据异常(数据突变,违反自然规律)的 气象站点:

(4) 当有相邻气象站且气象站数据相近时,可剔除 数据质量较差的站点。

表1 高影响天气指标及定义

	Table1 Name and its interpretation of the high impact weather index.						
指标	高影响天气指标	定义					
高温指标	极端最高气温(T _M)	累年最高气温(℃)					
	年平均高温日数(T _{Md})	每年内日最高气温≥35℃日数(d)的多年平均值					
低温指标	极端最低气温(Tm)	累年最低气温(℃)					
	年平均低温日数(Tmd)	每年内日最低气温≤0℃日数(d)的多年平均值					
欧ッ比に	年平均4—10月降水量(P4-10)	每年4—10月降水量(mm)的多年平均值					
冲中小1日小小	年平均410月暴雨日数(Pd)	每年4—10月日降水量≥50 mm日数(d)的多年平均值					

注:累年指2016-2018年。

表2研究区概况及站点选择

Table 2 Regional overview and site selection.

公区	子师狗英士		站点海拔(m	ı)	站点数(N)				
716	土地观中儿	最低值	最高值	起伏度	$T_{\rm M}$ $T_{\rm Md}$	$T_{ m m}$ $T_{ m md}$	$P_{ m 4-10}$ $P_{ m d}$		
ΙΣ	武陵山系	172.1	2 233.2	2 061.1	115	104	198		
II⊠	神农架南坡、三峡河谷	40	1 910	1 870	153	153	205		
Ⅲ区	神农架北坡	180	2 957	2 777	84	81	109		
\mathbb{N}	武当山系	57.2	1 020	962.8	121	121	145		
$V \boxtimes$	大洪山、桐柏山、鄂北岗地	36	733.5	697.5	132	130	138		
ΜØ	大别山系	10	1 040	1 030	202	200	183		
MIX	幕阜山系	35	1 295.2	1 260.2	167	165	187		
MIX	江汉平原	10	76	66	144	150	151		
全区	湖北	10	2 957	2 947	1 118	1 104	1 316		

注:起伏度表示区域内站点海拔高度最高值与最低值的差值。

2.2 研究方法

本文主要应用 SPSS、GIS 软件为基本数据处理分 析手段。利用GIS空间插值分析湖北高温、低温和降 水指标空间分布特征,绘制湖北省高影响天气指标空 间分布图。影响温度和降水空间分布的因子很多,通 常温度随海拔高度升高而降低,降水量随海拔高度升 高而增大,不同坡度和坡向也有很大影响,本研究还 考虑到地理位置的影响,把研究区不同点相对位置的 经度和纬度因子加入到模型中(傅抱璞,1998)。研究 选择了经度、纬度、海拔高度、坡度、坡向作为地理因 子,构建上述6个高影响天气指标随地理因子变化的 多元线性回归模型:

$$Z = a + a_1 X + a_2 Y + a_3 H + a_4 S + a_5 A \tag{1}$$

式中Z代表6个高影响天气指标; a 为常数项; $a_x(x=1,2,3,4,5)$ 为模型中各独立变量的系数, X_xY 分别为经度(°)和纬度(°);H为海拔高度(m);S为坡度 (°); A 为坡向(°)。考虑到8个分区,每个区域内有6个 高影响天气指标模型,共构建了48个模型,可分为高

温指标模型、低温指标模型和降水指标模型,利用 SPSS 16.0 进行计算。

3 高影响天气指标空间分布特征

根据筛选得到的1716个湖北省气象站点数据, 利用GIS空间插值分析高温、低温和降水指标空间分 布特征,绘制空间分布图(图2),结合图1可以明显看 出地形对各高影响天气指标空间分布的影响。在3.4 节将本研究分析到的空间分布特征与《湖北省公共气 象服务手册》中的相应结果对比,分析差异。

3.1 高温指标空间分布特征

湖北各地极端最高气温(T_M)在22.4~47.1℃之间 (图2a)。全省31°N以北及112°E以东,除神农架、大别 山、幕阜山等高海拔山区,大部分地区T_M在40℃以 上。低值区位于平均海拔超过500m的I区、II区、II 区,全区海拔最高的站点神农顶*T*_M仅22.4℃,江汉平 原一般在40℃以下。超过40℃的高值区主要集中在 Ⅱ区宜昌、夷陵,Ⅳ区郧阳、郧西、谷城,Ⅵ区武穴、浠 水、团风,Ⅶ区崇阳、阳新。

湖北各地年平均高温日数(*T*_{Md})在0~75 d之间(图 2b)。分布情况与最高气温类似, I 区、Ⅱ区、Ⅲ区的高 海拔山区的*T*_{Md}小于10 d,大部分海拔高于1000 m 的 气象站点*T*_{Md}为0。Ⅳ区、Ⅴ区、Ⅶ区、Ⅷ区、Ⅷ区年*T*_{Md} 一般大于20 d,部分区域大于40 d。

3.2 低温指标空间分布特征

湖北各地极端最低气温(T_m)在-25.5~-1.5℃之间 (图2c)。分布趋势为南高北低,同纬度相比,平原高,山区 低。31°N以北T_m一般在-10℃以下,其中神农架、房县、 桐柏山部分区域温度低于-15℃。31°N以南除五峰、巴 东以及大别山区,T_m一般高于-10℃。三峡河谷、清江河



图2湖北高影响天气指标空间分布:(a)极端最高气温(单位:℃);(b)高温日数(单位:d);(c)极端最低气温(单位:℃);(d)年平均 高温日数(单位:d);(e)年平均4—10月降水量(单位:mm);(f)年平均4—10月暴雨日数(单位:d)

Fig.2 Spatial distributions of high impact weather indicators in Hubei of (a) extreme minimum temperature (unit: °C), (b) annual low temperature days (unit:d), (c) extreme maximum temperature (unit: °C), (d) annual high temperature days (unit:d), (e) annual precipitation from April to October (unit: mm),and (f) annual storm days from April to October (unit:d).

谷、鄂东南以及江汉平原中部为暖区,7 "在-5℃左右。

湖北各地年平均低温日数(T_{md})在2~163 d之间 (图 2d),分布情况与极端最低气温类似。31°N以北T_{md} 一般大于40 d,区域内高海拔山区T_{md}大于50 d,神农架山 区大量站点超过100 d,大别山和桐柏山区都大于50 d。 31°N以南T_{md}除五峰、巴东外一般小于30 d,三峡河谷、 清江河谷、鄂东南和江汉平原为暖区,T_{md}小于20 d。

3.3 降水指标空间分布特征

湖北各地年平均4—10月降水量(P₄₋₁₀)在371.6~ 2 275.6 mm之间(图 2e),分布趋势是北少南多;同纬度 相比,平原少,山区多;山区相比,背风面少,迎风面 多。分布上可以看出除了神农架山区P₄₋₁₀在1 500~ 2 200 mm之间,31°N以北P₄₋₁₀较小,一般在800 mm以 下。31°N以南P₄₋₁₀较大,一般在800 mm以上,其中武 陵山区、幕阜山区、大别山等高海拔山区P₄₋₁₀大于 1 400 mm,部分地区超过2 000 mm。 湖北年平均4—10月暴雨日数(P_d)在0~11 d之间 (图 2f)。分布情况与年平均4—10月降水量类似,31°N 以北,除神农架山区,P_d一般小于5 d,Ⅱ区和Ⅲ区部分 区域甚至小于2 d。31°N以南P_d一般大于5 d,特别武 陵山区、幕阜山区、大别山等高海拔山区P_d大于7 d, 部分地区超过10 d。

3.4 高影响天气指标空间分布特征对比

《湖北省公共气象服务手册》(以下简称《手册》)利 用湖北省国家气象观测站建站至2010年的气象资料, 分析全省气候资源空间分布特征(崔将学等,2014)。选 取《手册》中极端最高气温、极端最低气温和年平均降水 量指标,以及本研究中极端最高气温(*T*_N)、极端最低气 温(*T*_m)和年平均4—10月降水量(*P*₄₊₀)指标(2.1节已经说 明用的4—10月降水量作为全年降水代表除降水指标), 由此以高值区和低值区为例,对比分析《手册》和本研究 高温、低温和降水指标空间分布特征结果异同(表3)。

表3 空间分布特征对比

Table 3 Distribution of spatial distribution feature.

		I	
对象	指标	高值区	低值区
手册	高温指标	兴山-鄂西北山区、大别山区	高海拔山区、江汉平原
	低温指标	三峡河谷	汉江河谷相邻的西部丘陵地区
	降水指标	鄂西南、鄂东南	鄂西北
	高温指标	三峡河谷、鄂西北山区、鄂东南低山丘陵地区	武陵山系、神农架高海拔山区
本研究	低温指标	三峡河谷、清江河谷、鄂东南以及江汉平原中部	神农架、汉江河谷西部丘陵地区
	降水指标	武陵山、神农架、大别山、幕阜山等高海拔山区	鄂西北

对于高温指标,本研究发现虽然兴山内有*T*^M大于 40℃的站点,但兴山三面环山,东西北三面高海拔站 点*T*^M偏小,空间上无法作为高温指标高值区,推测由 于《手册》未统计兴山周围山体和三峡河谷低海拔区 站点,因此得到结果与本研究不同;本研究中江汉平 原相比于高海拔山区*T*^M明显偏大,作为低值区不够显 著。对于低温指标,本研究发现高值区还可以包括清 江河谷和部分江汉平原地区;高海拔神农架山区为低 值区。对于降水指标,《手册》显示鄂东北地区降水较 为均匀,未体现地形对降水的影响,本研究显示境内 主要山系(除武当山)高海拔地区均为降水高值区。

4 高影响天气指标的海拔梯度变化特征

选择湖北主要山系的7个代表剖面:武陵山南坡、 神农架(南坡和北坡)、武当山北坡、桐柏山南坡、大别 山南坡、幕阜山北坡,选择各坡面上的站点,计算各个 坡面上高影响天气指标随海拔的变化率,包括气温直 减率和降水增长率,分析高影响天气指标的海拔梯度 变化特征。由于境内部分坡面上的气象站点较少,坡 面向省外延伸,选择相邻省份的16个气象站点资料作 为补充(表4)。

表4 研究区内坡面及坡面站点选择

Table 4 Slopes and stations selection.

	Tuble T biopob una biatione belectioni								
山系	坡向	所在分区	省内站点数	补充站点数					
武陵山	南	ΙΣ	62	١					
油オマカロ	南	II⊠	35	١					
仲农架	北	Ⅲ区	24	١					
武当山	北	Ν⊠	30	١					
桐柏山	南	$V\boxtimes$	31	15					
大别山	南	ΜΞ	44	1					
幕阜山	北	MIX	50	١					

4.1 高温和低温指标的海拔梯度变化特征

通过回归计算,得到各坡面高温和低温指标(T_M、 T_{Md}、T_m、T_{md})随海拔高度(H)的递减率(表5、图3),可以看 出随着海拔升高,最高气温、最低气温下降,高温日数 较少,低温日数增多。T_M递减率从大到小依次为:神 农架南坡、武陵山南坡、幕阜山北坡、神农架北坡、大 别山南坡、桐柏山南坡、武当山北坡。

表5 各坡面高温和低温指标随高度递减率

 $(T_{M}, T_{m}$ 单位: °C • (100 m)⁻¹, T_{Md}, T_{md} 为 d • (100 m)⁻¹) Table 5 Lapse rate of high and low temperature indices of each slope (unit: °C • (100 m)⁻¹, d • (100 m)⁻¹).

坡面	T _M 递减率	Tmd递减率	T_m 递减率	T_{md} 递减率
武陵山南坡	0.75	1.57	0.61	-5.32
神农架南坡	0.79	3.56	0.68	-5.63
神农架北坡	0.73	1.32	0.58	-4.41
武当山北坡	0.53	5.69	0.16	-0.39
桐柏山南坡	0.68	4.32	0.24	-1.82
大别山南坡	0.71	4.89	0.28	-3.26
幕阜山北坡	0.74	4.24	0.35	-2.73
_				



4.2 降水指标的海拔梯度特征

从图4可以看出,各坡面上降水随海拔呈抛物型 或线型增加,通过回归计算,得到各坡面年平均4—10 月降水量(P₄₋₁₀)随海拔高度(H)的关系模式:

武陵山南坡:

$P_{4-10} = 1131.3 + 0.6506H + 0.002H^2 (R = 0.667)$	(2)
神农架南坡:	
$P_{4-10} = 901.35 + 0.0158H + 0.001H^2(R = 0.788)$	(3)
神农架北坡:	
$P_{4-10} = 1004.8 + 0.6684H + 0.004H^2 (R = 0.540)$	(4)
武当山北坡:	
$P_{4-10} = 883.4 + 0.5748H + 0.008H^2 \ (R = 0.698)$	(5)
桐柏山南坡:	
$P_{4-10} = 761.43 + 0.508H(R = 0.457)$	(6)
大别山南坡:	
$P_{4-10} = 1070.9 + 0.6233H + 0.003H^2 (R = 0.579)$	(7)
幕阜山北坡:	
$P_{4-10} = 1399.9 + 0.254H(R = 0.524)$	(8)
从拟合方程看,降水量随海拔高度的递增率是	書常
数或线性函数: $\frac{dP}{dH} = b \pm 2cH$ 。武陵山南坡和大别	月山

南坡 c < 0, P₄₊₁₀随海拔升高而增大,到达一定高度后, P₄₊₁₀趋于稳定且随海拔升高有下降趋势,推测武陵山 南坡的最大降水高度1500 m左右;海拔升高到1000 m 以上后,大别山南坡 P₄₊₁₀变化趋于平缓。其他坡面 c≥ 0,降水随海拔高度总是增加的。值得注意的是, 尽管在考察高度范围内 P₄₊₁₀的"最大降水高度"未出 现,但不表示没有"最大降水高度",它可能出现在更 高处,因此这些拟合方程不宜外延过高。

分析图4各坡面P₄₋₁₀-H的散点图,部分坡面海拔 高度(H)升高到一定值时,例如神农架南坡H>550 m、 神农架北坡H>1000 m、武当山北坡H>450 m时,P₄₋₁₀ 才会随H升高有明显增大趋势。分析各坡面上降水 量,I区、II区、III区三个高海拔区降水量较大,坡面 上P₄₋₁₀最大值大于2000 mm;其次是幕阜山北坡,P₄₋₁₀ 最大值大于1500 mm;武当山北坡和桐柏山南坡上 P₄₋₁₀最大值在1300 mm以下。同一高度处,神农架北 坡降水量小于神农架南坡降水量。

5 模型结果分析

受分区影响,模型中坡向(A)的系数 a_s 常为0或接 近于0,对结果贡献太少,最终从模型中剔除。表6显 示了8个分区内6种高影响天气指标多元回归模型的 偏回归系数 a_1,a_2,a_3 和 a_4 。反映了温度场和雨量场,随 纬度、经度、海拔和坡度的变化率,由于各子区地形地 貌相差很大,各因子的变化率有较大的差别,以 I 区 T_M 为例,当其他因子不变的情况下,每增加一个纬度, 温度下降 0.547 °C,每增加一个经度,温度增加 0.58 °C,每上升 100 m,温度下降 0.8 °C,每增加 1°坡 度,温度下降 0.002 °C,其他区则依次类推。

通常随海拔高度升高和坡度增大,气温降低,降水量增大,经纬度变化对气温降水的影响则是根据具体气候决定。鲁春夏等(2007)研究发现青藏高原东亚季风影响区大部分地区降水随海拔上升而增大,印度季风区大部分地区随海拔增高而下降。倪国裕等(1988)[®]研究发现,湖北山区气温随高度而降低,降水随高度而增加,与本研究结果一致。

5.1 高温模型

高温的2个模型中H系数 a_3 均为负值,说明 T_M 和 T_{Md} 受地形影响,海拔升高,极端最高气温下降,高温日 数减少。 T_M 模型中 II 区和 VII 区 a_3 最大,海拔每上升 100 m,温度会下降0.9 ° 。从 T_M 和 T_{Md} 模型的X系数 a_1 可以看出,V 区、VI 区和 VII 区 T_M 向西减增大,且区域地 势向西减小,I 区、II 区、III 区、IV 区 T_M 向东减增大,且

①倪国裕,杨荆安,马乃孚,等.1988.湖北深综合农业气候区划,湖北省气象科学研究所。

2 500





图4 各坡面降水随海拔高度变化 Fig.4 Variation with altitude of precipitation on each slope.

区域地势向东减小,即研究区山体向中部8区倾斜,海 拔降低温度升高。

5.2 低温模型

低温的2个模型中H系数a₃均为负值,说明T_m和 T_{md}受地形影响,海拔升高,极端最低气温下降,低温日 数增多。T_m模型中I区和Ⅱ区a₃最大,海拔每上升 100 m,温度会下降0.7℃。其中Ⅳ区低温模型结果较 差,区域内T_m和T_{md}较大且受地形影响较小,分析数据 发现Ⅳ区极端最低气温一般出现在2016年1月和11 月,推测受到2016年世纪寒潮影响,强寒潮过境使得 部分山谷出现逆温层,产生"冷湖效应",破坏了温度 递减率(陶亦为等,2017)。

5.3 降水模型

降水的3个模型中H系数a₃均为正值,说明P₄₋₁₀ 和P₄受地形影响,海拔升高,降水量增大,暴雨日数增 多。V区和Ⅲ区高海拔数据较少,站点大多分布在低 海拔平原,个别突出站点数据使得a₃较大。Ⅱ区a₃值 大于Ⅲ区,符合第4节得到的结论,神农架南坡降水量 和降水增长率均大于神农架北坡。分析各模型系数 可以发现,相比于海拔高度,经度和纬度对降水指标 的影响更大。

5.4 模型的相关性检验

通过相关系数R和相关性检验结果(表7)可以看出,除了V区高温模型和IV区低温模型,其他子区的 温度模型效果相对较好,且通过了显著性检验,说明 这两个子区的高温和低温受地理因子影响较小。

8个区之中, I 区、Ⅱ区、Ⅲ区的模型效果最好, Ⅳ 区、Ⅵ区、Ⅲ区相对次之, V 区、Ⅲ区模型效果最差。 推测与研究区地形起伏度(表 1)相关, 地形起伏度越 大,海拔对高影响天气指标的作用表现的越明显, 模

表6 各子区多元回归模型偏回归系数

Table 6	The partial	regression	coefficients	of the	multiple	regression	models ir	n each subregio	on.
---------	-------------	------------	--------------	--------	----------	------------	-----------	-----------------	-----

模型	系数项	ΙΣ	II⊠	III⊠	ΝØ	V区	ΝΣ	MIX	MIX
	a	86.387	208.648	32.660	208.678	8.828	-85.422	0.031	-11.718
	$a_1(X)$	-0.547	-1.764	-0.430	-1.567	0.142	0.966	0.731	0.436
$T_{\rm M}$	$a_2(Y)$	0.580	0.963	1.811	0.252	0.491	0.508	-1.407	0.046
	$a_3(H)$	-0.008	-0.009	-0.006	-0.006	-0.005	-0.007	-0.009	0.021
	$a_4(S)$	-0.002	0.018	-0.003	-0.007	0.018	0.018	0.015	0.093
	a	92.794	1 107.992	-91.128	1 513.457	44.256	-20.950	65.874	-274.041
	$a_1(X)$	-0.349	-11.763	-1.720	-13.148	-1.126	1.590	2.547	3.340
$T_{ m md}$	$a_2(Y)$	-0.556	8.049	10.085	-0.045	3.808	-4.002	-10.436	-2.512
	$a_3(H)$	-0.029	-0.042	-0.020	-0.057	-0.055	-0.050	-0.049	0.168
	$a_4(S)$	-0.004	-0.065	-0.157	0.014	0.099	0.146	-0.066	0.676
	a	113.961	502.027	231.939	34.967	-20.192	224.061	12.537	-53.605
	$a_1(X)$	-1.315	-4.362	-0.949	-0.502	0.927	-1.122	-0.238	0.756
$T_{ m m}$	$a_2(Y)$	0.971	-0.715	-4.204	0.313	-2.995	-3.329	0.273	-1.285
	$a_3(H)$	-0.007	-0.007	-0.006	0	-0.003	-0.002	-0.003	0.006
	$a_4(S)$	0.019	0.028	0.013	0.007	-0.028	-0.013	-0.020	-0.039
	a	-870.763	-2 298.103	-678.096	562.277	-648.038	-1 600.078	143.471	-189.259
	$a_1(X)$	10.350	19.670	1.167	-3.706	2.372	7.832	0.080	-1.853
$T_{ m md}$	$a_2(Y)$	-9.301	3.920	17.773	-3.451	13.074	23.603	-4.515	13.766
	$a_3(H)$	0.055	0.053	0.051	0.012	0.044	0.015	0.020	-0.058
	$a_4(S)$	-0.135	-0.218	0.101	-0.014	0.137	0.008	0.124	0.260
	a	-3 042.707	13 492.002	31 774.025	5 376.208	897.839	-17 640.96	1 0653.237	-5 796.279
	$a_1(X)$	128.729	-54.588	-180.163	-10.492	59.291	162.559	-6.443	94.033
$P_{\rm 4-10}$	$a_2(Y)$	-329.614	-210.181	-349.769	-109.457	-216.798	-0.390	-291.648	-130.214
	$a_3(H)$	0.227	0.187	0.159	0.206	0.609	0.247	0.194	0.830
	$a_4(S)$	1.489	-0.234	0.276	1.134	3.793	0.270	1.862	0.203
	a	-20.494	25.166	171.847	31.963	-43.254	-73.159	113.817	-10.493
	$a_1(X)$	0.823	0.055	-1.041	0.017	0.721	0.765	-0.535	0.473
$P_{ m d}$	$a_2(Y)$	-2.169	-0.915	-1.737	-0.996	-1.121	-0.342	-1.568	-1.288
	$a_3(H)$	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	-0.008
	$a_4(S)$	0.009	-0.008	-0.003	0.007	0.012	0.022	0.012	-0.031

キッタマロ	々こ同じ世刊	扣关州协议	ムホンタンチルか	t
夜 / 谷丁込	多儿凹归侯尘	伯大注他的	亚州 り昇 民 左 に わ	C

Table 7 Correlation test and calculation error comparison of multiple regression models in each subregion.

模型	检验项	ΙΣ	II⊠	Ⅲ区	ΝΣ	$V\boxtimes$	ΜØ	MIX	MIX
	相关系数R	0.912	0.928	0.864	0.645	0.218	0.695	0.784	0.359
T	相关性检验F	134.683	231.050	58.154	20.611	1.580	46.121	64.672	5.127
Γ _M	相关性检验 Sig	0.000	0.000	0.000	0.000	0.184	0.000	0.000	0.001
	平均相对误差/%	2.69	2.23	4.41	2.92	2.18	2.33	2.21	1.82
	相关系数R	0.759	0.842	0.757	0.748	0.257	0.760	0.746	0.364
T	相关性检验F	36.932	90.415	26.436	36.775	2.248	67.409	50.845	5.312
I Md	相关性检验 Sig	0.000	0.000	0.000	0.000	0.067	0.000	0.000	0.001
	平均相对误差/%	27.77	14.50	8.46	42.80	22.48	41.70	25.32	17.53
	相关系数R	0.874	0.854	0.813	0.256	0.699	0.693	0.420	0.364
Т	相关性检验F	80.194	99.653	37.145	2.027	29.892	44.839	8.545	5.532
<i>I</i> m	相关性检验 Sig	0.000	0.000	0.000	0.095	0.000	0.000	0.000	0.000
	平均相对误差/%	16.80	19.19	12.80	17.42	11.24	15.18	19.01	14.78
	相关系数R	0.921	0.916	0.876	0.321	0.691	0.813	0.684	0.689
T	相关性检验F	137.712	192.857	62.438	3.334	28.561	94.860	35.237	32.685
I md	相关性检验 Sig	0.000	0.000	0.000	0.013	0.000	0.000	0.000	0.000
	平均相对误差/%	30.60	41.27	19.87	23.21	18.45	20.81	25.52	23.67
	相关系数R	0.600	0.599	0.717	0.592	0.636	0.712	0.661	0.554
D	相关性检验F	27.119	16.133	27.554	18.905	22.62	45.498	35.272	16.133
P_{4-10}	相关性检验 Sig	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	平均相对误差/%	9.89	10.79	13.42	14.29	11.37	8.58	9.04	8.09
	相关系数R	0.485	0.355	0.586	0.506	0.595	0.600	0.548	0.463
D	相关性检验F	14.874	9.976	13.573	12.068	18.24	24.855	19.512	9.976
Γd	相关性检验 Sig	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	平均相对误差/%	24.10	31.40	18.52	23.29	24.66	17.58	17.05	27.78

型效果越好。对于不同的高影响天气指标,高温和低 温模型效果比降水模型效果好。平均相对误差(绝对 值)最小的是*T*_M模型,其次是*P*₄₋₁₀和*T*_m模型,其他模型 推算误差较大,需要进一步优化模型。

分析模型间的效果存在差异,推测主要原因是相 比于高温指标,低温指标更难统计;相比于气温指标, 降水在空间上的变化更加复杂。观测仪器冬季易被 冻住,导致许多站点冬季数据缺测,低温数据误差更 大和错误更多;空中水汽是降水的物质基础,水汽输 送受大气环流影响,例如从东南部太平洋携带的暖湿 气流遇到幕阜山脉的阻挡,水汽在地形抬升过程中形 成降雨,造成该区域降水丰富。为了优化模型,除了 调整数学模型,还需要对于本研究气象资料进行更加 深入的分析,结合局地气候分析结果。

6 结论与讨论

200

湖北主要山系包括武陵山系、神农架(南、北坡)、 武当山、桐柏山、大别山和幕阜山系。利用1716个气 象站点2016—2018年逐日气温和降水资料,定义6个 高影响天气指标,采用GIS空间插值方法,分析湖北主 要山系高影响天气指标的空间分布特征:湖北各地极 端最高气温在22.4~42.6℃之间,年平均高温日数在 0~75 d之间,全省高海拔山区为低值区,三峡河谷、鄂 西北山区和鄂东南山区为高值区;各地极端最低气温 在-25.5~-1.5℃之间,年平均低温日数在2~163 d之 间,高海拔山区和汉江河谷相邻的西部丘陵地区为低 值区,三峡河谷、清江河谷以及部分江汉平原地区为 高值区;各地年平均4—10月降水量在375.6~2 275.6 mm之间,年平均4—10月暴雨日数在0~11 d之间,鄂 西南、鄂东南以及大别山部分地区为降水高值区,鄂 西北为降水低值区。

针对湖北主要山系,选择7个山地坡面,分析坡面 上高影响天气指标的海拔梯度变化特征。计算得到 各个坡面的温度随海拔递减率,其中神农架南坡最 高,武当山北坡最低。绘制了不同坡面上降水量随海 拔高度变化的拟合曲线,估算武陵山南坡最大降水高 度值在1500m左右。

本文根据湖北主要山系分布情况,将湖北划分为 8个区,利用DEM数据,采用多元回归分析方法,建立 湖北高影响天气指标和经度、纬度、海拔高度、坡度这4 个地理因子之间的关系模型。结果表明,模型相关性显 著,对估算模型进行F检验,除了V区极端高温模型和IV 区极端低温模型,其他模型都通过了置信度为0.95的相 关性检验。极端最高气温模型平均相对误差(绝对值) 最小,其他模型推算误差较大,需要进一步优化模型。

参考文献:

- 崔将学,崔新强,王丽,等.2014.湖北省公共气象服务手册[M].北京:气象出版社:3-8
- 崔鹏,陈容,向灵芝,等.2014.气候变暖背景下青藏高原山地灾害及其风险分析[J].气候变化研究进展,10(2):103-109
- 董丹丹,苏鹏程,孙铭,等.2017.青藏高原东南缘复杂地形条件下降水特 征分析[J].人民长江,48(10):33-39+64.
- 傅抱璞.1982.关于山地气候资料的延长和推算问题[J].气象学报,40(4): 453-463
- 傅抱璞.1988.山地气候要素空间分布的模拟[J].气象学报,46(3):319-326 傅抱璞.1992.地形和海拔高度对降水的影响[J].地理学报,(4):302-314
- 郭广芬,周月华,史瑞琴,等.2009.湖北省暴雨洪涝致灾指标研究[J].暴雨 灾害,28(4):357-361
- 侯小刚,李帅,张旭,等.2017.基于 MODIS 积雪产品的中国天山山区积雪 时空分布特征研究[J].沙漠与绿洲气象,11(3):9-16
- 黄萌田,周佰铨,翟盘茂.2019.极端天气气候事件变化对荒漠化、土地退 化和粮食安全的影响[J/OL].气候变化研究进展:1-15[2019-11-28]
- 黄俊杰,周悦,阮羚.2015.湖北省地形因子对电线覆冰的影响研究[J].暴雨灾害,34(3):254-259
- 李国平.2016. 近25年来中国山地气象研究进展[J]. 气象科技进展,6(3): 115-122
- 刘健,周建山,郭军,等.2010.湖北恩施山区雾的气候特征与成因分析[J]. 暴雨灾害,29(4):370-376
- 鲁春霞,王菱,谢高地,等.2007.青藏高原降水的梯度效应及其空间分布 模拟[J].山地学报,(6):655-663
- 马德栗,刘敏,鞠英芹,2014.三峡气候梯度观测塔气候要素特征分析[J]. 安徽农业科学,42(5):1372-1375+1512
- 马乃孚,倪国裕.1988.大别山和神农架气候特征及其资源开发利用[J].气象,14(12):31-36
- 莫申国,张百平.2007.基于 DEM 的秦岭温度场模拟[J].山地学报,(4): 406-411
- 邵末兰,向纯怡.2009.湖北省主要气象灾害分类及其特征分析[J].暴雨灾害,28(2):179-185
- 时振钦,朱连奇.2017.全球变暖背景下山地气温变化研究进展[J].河南大 学学报(自然科学版),47(6):640-647+660
- 陶亦为,代刊,董全.2017.2016年1月寒潮天气过程极端性分析及集合预 报检验[J].气象,43(10):1176-1185
- 王学良,张科杰,余田野,等.2019.与平原雷电分布及其参数特征[J].气象 科技,47(2):337-348
- 吴翠红,王晓玲,龙利民,等.2013.近10a湖北省强降水时空分布特征与主要天气概念模型[J].暴雨灾害,32(2):113-119
- 杨波,张勃,安美玲,等.2014.1961-2011年秦巴山区极端降水事件的时空 特征分析[J].水土保持研究, 21(1):110-116
- Martin F P.1995. Climate change in mountain regions: a marginal issue? [J]. The Environmentalist,(15):272–280
- Shi Jin, Wen Kangmin, Cui Liuli.2014. Temporal and spatial variations of high-impact weather events in China during 1959–2014 [J]. Theoretical and Applied Climatology,129:385–396
- WANG Aaihui, FU Jiajia.2013. Changes in Daily Climate Extremes of Observed Temperature and Precipitation in China [J]. Atmospheric and Oceanic Science Letters,6(5):312–319