

中国避暑型气候的地域类型及其时空分布特征

陈 慧¹, 闫业超¹, 岳书平¹, 孟冰祥², 王喜元¹

(1. 南京信息工程大学地理与遥感学院, 南京 210044; 2. 福建省古田县气象局, 福建 古田 352200)

摘 要: 由于中国各地纬度、地形及海陆位置的地域差异, 形成了多种多样的避暑型气候。本文采用 1993-2012 年 756 个国家基本站和 122 个辐射站逐日气象数据, 基于通用热气候指数(UTCI)模型计算各气象站点的人体感知温度, 结合聚类分析方法对避暑型气候的地域类型进行了研究, 并对其空间分布、时间变化和舒适特征进行了分析。结果表明: 中国避暑型气候主要包括西南高原型、中东部山岳型、东北山地平原型、西北山地高原型和环渤海低山丘陵型 5 种地域类型; 各类避暑型气候具有显著的地域特色: 西南高原型避暑气候纬度低、海拔高, 太阳辐射较强; 中东部山岳型避暑气候地势高、风速大, 夏季舒适偏冷; 环渤海低山丘陵型避暑气候地势低、湿度大, 夏季舒适偏热且舒适度受海风影响明显; 西北山地高原型避暑气候温度适宜、天气晴朗, 但略显干燥; 东北山地平原型避暑气候凉爽、风速不大、辐射不强、湿度适中, 综合条件相对优越。从各类避暑型气候夏季人体感知温度的变化来看, 环渤海低山丘陵型舒适期较短, 其余类型舒适期相对较长, 东北山地平原型和西北山地高原型人体感知温度曲线呈良好的单峰对称变化, 其余类型大致呈单峰不对称形态。本文不仅丰富了避暑型气候研究的理论成果, 而且也可对避暑型旅游资源的开发与规划提供科学依据, 进一步指导人们的避暑旅游活动。

关键词: 避暑型气候; 地域类型; 时空分布; 通用热气候指数; 人体感知温度; 中国

1 引言

避暑型气候是指夏季温凉舒适, 人们无需借助任何避暑措施, 就能保证生理过程的正常进行、感觉刚好适宜且无需调节的气候条件。明确针对避暑型气候的研究虽鲜有报道, 但国内外学者在与之相关的领域取得了重要研究进展(Lise et al, 2002; 刘林山等, 2002; 闫业超等, 2013), 特别是在气候舒适度评价指标与模型、气候舒适度对旅游活动的影响、旅游地气候适宜性等领域取得了一系列研究成果。自 20 世纪以来, 基于气温、风速、湿度等因子的复杂组合所建立的舒适度模型不下几十种。通常来说, 早期的舒适度模型大都是基于统计结果的经验模型, 如冷热环境均适用的有效温度指数(Effective Temperature, ET)(Houghton et al, 1923)、适用于热环境的温湿指数(Temperature-Humidity Index,

THI)(Thorn, 1959)等, 近期则以基于人体热量平衡的机理模型为主, 比较具有代表性的有 Gagge 等(1971)提出的标准有效温度(Standard Effective Temperature, SET)及在 MEMI 模型基础上提出的生理等效温度(Physiological Equivalent Temperature, PET)(Yan, 2005)等舒适度模型(Siple et al, 1945; McArdle et al, 1947; Yaglou et al, 1957; Fanger, 1970)。近年来, 随着中国旅游业的蓬勃发展和人们对环境质量的普遍重视, 气候舒适度及其对旅游活动的影响研究如雨后春笋般涌现, 陆林等(2002)比较了中国海滨型与山岳型旅游地气候舒适性对客流变化的影响; 马丽君等对中国北京、海口、西安等城市进行了气候舒适度分析, 并分别构建了其与客流量及游客网络关注度时空相关模型(马丽君等, 2008; 马丽君, 孙根年, 康国栋等, 2009; 马丽君, 孙根年, 马彦如等, 2011; 马丽君, 孙根年, 杨睿等,

收稿日期: 2014-07; 修订日期: 2014-12。

基金项目: 国家自然科学基金项目(40901062)。

作者简介: 陈慧(1989-), 女, 江苏连云港人, 硕士研究生, 主要从事 GIS 在气象与气候学中的应用研究,

E-mail: chen.hui999@163.com。

通讯作者: 闫业超(1979-), 男, 山东枣庄人, 副教授, 主要从事地理信息分析与应用研究, E-mail: yanyechao@163.com。

引用格式: 陈慧, 闫业超, 岳书平, 等. 2015. 中国避暑型气候的地域类型及其时空分布特征[J]. 地理科学进展, 34(2): 175-184. [Chen H, Yan Y C, Yue S P, et al. 2015. Types of summer comfortable climate in China and their temporal and spatial distribution[J]. Progress in Geography, 34(2): 175-184.]. DOI: 10.11820/dlkxjz.2015.02.006

2011);曹伟宏等(2012)基于温湿指数、风寒指数和衣着指数对丽江的气候舒适度与客流量进行了相关分析,均取得了富有特色的研究成果。在旅游地气候适宜性研究方面,范业正等(1998)采用温湿指数和风寒指数对中国海滨城市进行了气候适宜性评价;马丽君等分别探讨了中国东、西部典型城市的不同旅游舒适度及舒适期(马丽君等, 2007, 2010; 马丽君, 孙根年, 2009; 马丽君, 孙根年, 王洁洁, 2009);王胜等(2012)研究了安徽省的气候舒适度时空分布特征;其他学者(宣国富等, 2002, 2004; 任健美等, 2004; 孔邦杰等, 2007; 刘清春等, 2007; 张狄等, 2012)也分别从不同角度对中国典型旅游城市或部分区域的旅游气候适宜性进行了深入分析,对旅游活动的开展具有重要的指导意义。

综上所述,国内外学者在气候舒适度模型、旅游地气候舒适度评价及其与客流量的关系等领域取得了一系列研究成果。但是,在以往的气候舒适度研究中,中小尺度的研究较多,宏观尺度的研究偏少,经验模型的应用较多,机理模型的应用较少,特别是对中国避暑型气候的总体分布、地域类型以及由于温、湿、风等气象要素的复杂组合而产生的时间变化等相关问题的研究相对薄弱。因此,本文以近20年逐日气象观测数据为主要数据源,利用通用热气候指数(Universal Thermal Climate Index, UTCI)模型和聚类分析方法,基于GIS技术对中国避暑型气候的地域类型和时空分布特征进行尝试性探索,以期深入了解形成避暑型气候的主要气象环境因子的复杂组合特征,揭示避暑型气候的地域差异,进一步丰富中国避暑型气候的理论研究成果。

2 资料来源和研究方法

2.1 数据来源及预处理

考虑到国家基本站的辐射辐照度资料从1993年才开始记录,故本文采用了1993-2012近20年夏季(6-8月)756个国家基本站(不含缺乏站点数据的港澳台地区)和122个辐射站的逐日气象资料,数据来源于中国气象科学数据共享服务网,包括气温、风速、湿度和太阳辐射等相关要素。数据在使用前完成了剔除异常值、检查缺测漏测的站点等必要的预处理工作。由于辐射站点数量较少,且与气象站点地理位置并非完全一致,故需利用ArcGIS软件通过空间内插法得到全国辐射格网数据,并与756

个国家基本站的矢量点数据进行叠加,提取站点所在格网辐射值。然后以旬为单位对上述气象要素进行统计平均,得到各气象台站气象要素的多年旬统计平均值,作为UTCI模型的气象输入参数。研究使用的其他相关数据包括中国行政区划图和中国数字高程模型数据(来源于美国地质调查局,空间分辨率为 $30' \times 30'$),中国数字高程模型数据主要用来探讨避暑型气候形成的地形条件,并作为避暑型气候分类的一个参考指标。以上数据及研究结果统一采用西安1980大地坐标系、Albers等面积割圆锥投影。

2.2 研究方法

2.2.1 气候舒适度评价模型

人体冷热舒适程度除受气温影响外,还与湿度、风速、辐射及人体代谢、服装热阻等诸多因素有关。由国际生物气象学会提出的UTCI模型,是当前考虑因素最全面、最具普适性的机理模型。所谓“通用”,主要体现在两个方面:一是适用于各种时间和空间尺度,与经验模型不同,不受地域、时间、人种等因素的限制;二是可以广泛应用于城市气象服务、劳动环境评估、区域及旅游规划等各个领域。该模型主要包含两个模块,即Fiala模型(人体热生理模型)和服装模型(图1)(Fiala et al, 2012; Havenith et al, 2012)。UTCI模型以气象资料为基础,模拟基于标准参照环境的实际热环境下的人体感知温度,其中标准参照环境被定义为:①气象因子。环境辐射温度等于气温,地面上方10 m处风速为0.5 m/s,相对湿度为50%;②非气象因子。步行速度为4 km/h的成年男子(人体代谢率为 135 W/m^2)(Blazejczyk et al, 2012; Bröde, Fiala et al, 2012; Bröde, Krüger et al, 2012; Jendritzky et al, 2012; Kampmann et al, 2012)。本文结果将通过BioKlima 2.6软件实现,该软件集成了迄今应用广泛的多种人体舒适度模型。

2.2.2 避暑型气候的界定

如何对避暑型气候进行科学界定是本文的理论基础,涉及的主要问题包括:人体感知温度的舒适区间,避暑型气候夏季舒适期长短及对周围环境的界定等。

本文中人体感知温度的分级标准如表1所示(Bróde, Fiala et al, 2012),其中人体感知温度在 $9 \sim 26 \text{ }^\circ\text{C}$ 之间为“舒适”区间,在该“舒适”范围内,人体皮肤温度几乎无变化,人体热调节基本处于稳定

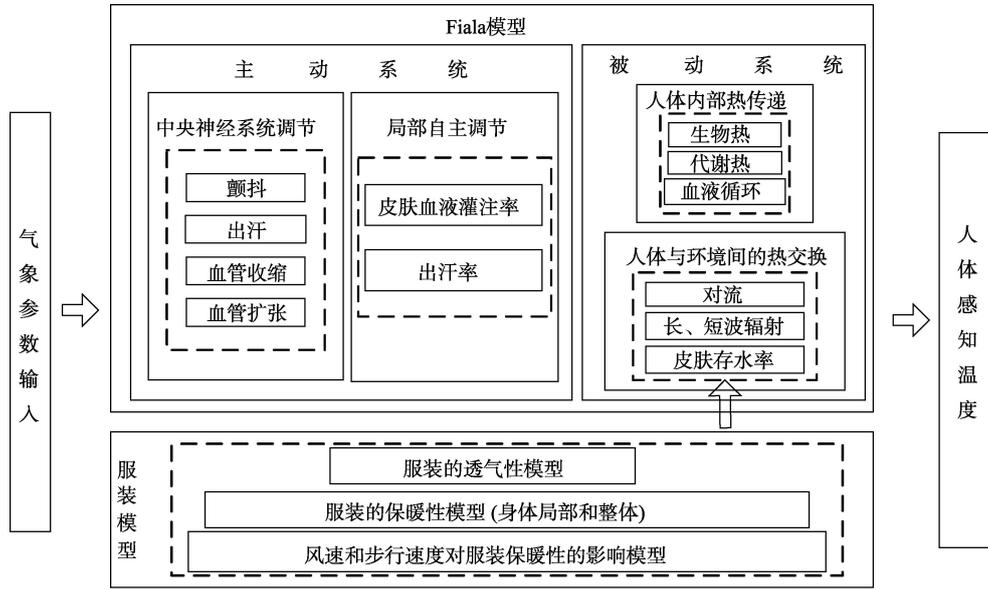


图1 UTCI模型结构图

Fig.1 Structure of the Universal Thermal Climate Index (UTCI) model

表1 人体感知温度的舒适度等级描述

Tab.1 Comfort degree of human-perceived temperature

人体感知温度/°C	人体感觉	人体感知温度/°C	人体感觉
>46	极热	0~9	凉
38~46	很热	-13~0	较冷
32~38	热	-27~-13	冷
26~32	较热	-40~-27	很冷
9~26	舒适	<-40	极冷

状态,人体热平衡模型中“人体蓄热率(S)”接近于零(Yan, 2005; Jendritzky et al, 2012; 闫业超等, 2013),人体感觉舒适,因此将满足该区间的冷热舒适条件作为避暑型气候的一个基本参照条件。此外,考虑到中国一些久负盛名的避暑胜地并非整个夏季的人体感知温度都完全处于舒适区间范围,有些避暑地在6-8月期间往往存在一个极其短暂的偏热时段,若按照上述人体感知温度的严格界定,许多著名的避暑地将被排除在外,因此在界定避暑型气候时,规定只要夏季绝大部分时间的人体感知温度满足舒适区间即为避暑型气候。最后,周围环境条件对UTCI模型的计算结果(即人体感知温度)也有很大影响,周围环境条件可以是室内,也可以是室外,可以是室外有遮蔽条件,也可以是室外无遮蔽条件,本文所研究的避暑气候是室外、无遮蔽的自然环境条件。

2.2.3 聚类分析方法

系统聚类法为聚类分析方法的一种,属于无监督学习方法,被广泛地用于气候区划、土壤分类等领域。它不依靠事先已知的数据分类,也不依靠标有数据类别的训练样本集合,可以有效地避免人为因素对分类结果的干扰。系统聚类法包括R型聚类和Q型聚类两种方法,本文首先采用R型聚类对分类变量进行降维,然后对符合避暑型条件的气象站点进行Q型聚类,最终得到中国避暑型气候的地域类型。在R型聚类时,以降维后的分类变量为自变量,各气象站点为因变量,聚类方法选择最远邻元素,度量标准为Person相关系数,系数越大表示它们越相似;Q型聚类中则采用组间联结法,衡量类之间亲疏程度的距离系数选择欧氏距离系数;在聚类分析时,各变量之间存在不同量纲、不同数量级的情况,故采用Z-Scores标准化方法对数据进行了处理和转换(袁志发, 2002; 陈正昌, 2005)。

3 中国避暑型宜人气候的分布格局和地域类型

3.1 避暑型宜人气候的总体分布格局

为研究中国避暑型宜人气候的地域分布格局,本文采用反距离权重法(IDW),对研究区1993-2012年756个气象站夏季(6、7、8月及夏季均值)人体感

知温度进行空间格网化,并根据表1进行分级。由于中国夏季人体感知温度最高值约为42.7℃,且大于38℃的地区极少,故在对全国夏季人体感知温度进行等级划分时,不在图例中显示该部分内容,最终得到中国夏季人体感知温度空间分布情况如图2所示。

从夏季人体感知温度月均值可以看出(图2d),中国夏季人体感知温度呈现出两个鲜明特征:一是中国夏季避暑型气候呈明显的“两高”分布特征,即主要集中于中高纬、高海拔地区。青藏高原的周边、海拔介于1200~3800 m的高原山地是中国避暑型气候的第一大集中分布区,东北和西北的中高纬地区则是中国避暑型气候的第二大集中分布区,其余避暑型气候区零星分布于海拔1200 m以上的山岳以及山东半岛、辽东半岛的海滨地带。二是大致以105°E为界,夏季人体感知温度月均值的分布趋势呈明显的东西差异。105°E以东地区人体感知温

度由南向北递减,符合一定的纬度地带性分布规律;105°E以西受高原地形的影响,纬度地带性规律受到干扰和破坏,甚至出现人体感知温度随纬度升高而增大的反常现象。从不同时间的避暑型气候空间分布特征来看,中国6月(图2a)避暑气候空间分布范围最大,且人体感觉“热”的地区所占面积最小,尤其是105°E以东地区,仅有华南沿海地区处于该范围内;7月(图2b)则与6月恰好相反,全国避暑气候空间分布范围最小,热不舒适地区超过全国面积的一半;中国8月(图2c)人体感知温度分布状况与夏季人体感知温度月均值(图2d)分布状况最为相似,但位于辽东半岛、山东半岛的海滨避暑气候面积却明显较少。

3.2 避暑型宜人气候的地域类型

为研究中国避暑型气候的地域类型,本文依据夏季人体感知温度月均值分布状况,在SPSS软件支持下,采用系统聚类法对全国161个气象站进行

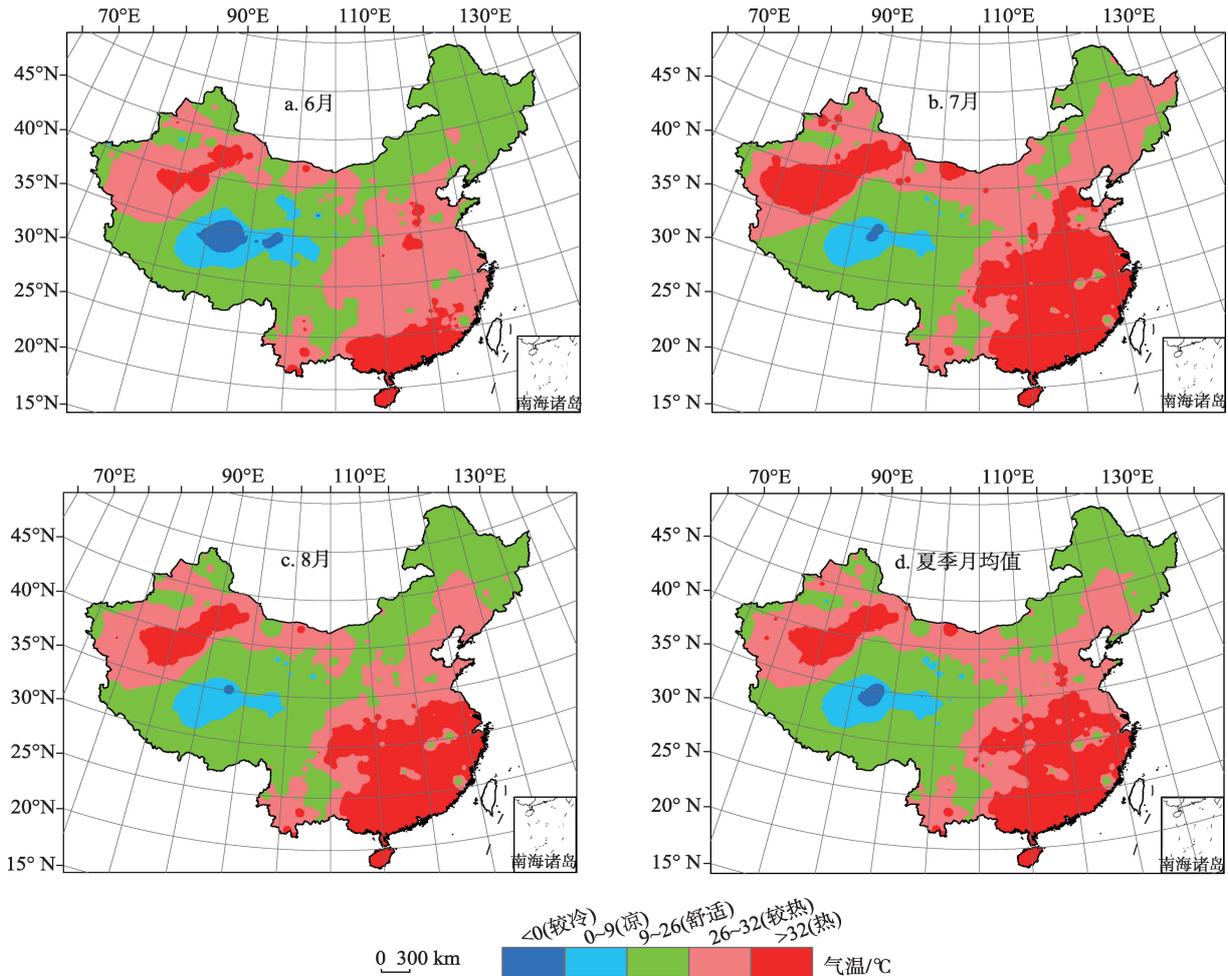


图2 中国夏季人体感知温度空间分布图

Fig.2 Spatial distribution of human-perceived temperature during the summer in China

聚类分析,最终确定以海拔、纬度、气温、湿度、风速、太阳辐射和人体感知温度曲线偏度作为聚类指标。在上述指标中,海拔和纬度用于表征避暑型气候的地理位置;气温、湿度、风速和太阳辐射等指标用来表示构成避暑型气候的气候因子及其复杂组合关系,也可以在一定程度上体现各类避暑型气候的体感舒适特色;夏季人体感知温度随时间变化曲线的偏度用来表达各类避暑型气候的时间变化过程。聚类结果通过了0.01的显著性水平检验,最终得到5种具有显著差异的避暑型气候(图3),为反映各类避暑型气候分布的地理位置及其形成的地形地貌条件,可将其分别命名为:西南高原型、中东部山岳型、东北山地平原型、西北山地高原型和环渤海低山丘陵型。

4 中国避暑型宜人气候的时空分布特征

4.1 避暑型宜人气候的空间分布特征

从中国夏季避暑型气候气象站点的聚类结果来看(图3),西南高原型避暑气候主要分布在青藏高原的南部、东南部及少数西部地区 and 云贵高原,符合避暑条件的气象站点大都在30°N以南、海拔1500 m以上的高原地带;环渤海低山丘陵型避暑气候主要集中在辽东半岛、山东半岛以及渤海湾北部的低山丘陵地带,符合避暑条件的气象站点通常距海20 km以内;中东部山岳型避暑气候主要散布在中国中东部季风气候区的著名山岳,海拔高度基本都在1200 m以上;东北山地平原型避暑气候主要分

布在中国东北地区的黑龙江、吉林两省以及内蒙古北部地区,符合避暑条件的气象站点大部分位于42°N以北且海拔低于500 m的山地平原区域;西北山地高原型避暑气候则主要分布于内蒙古高原、黄土高原以及天山、阿尔泰山等海拔1000 m以上的高原山地,基本上处于中国内陆干旱和半干旱气候区。

由于纬度、地形、海陆位置、大气环流等各种地理因素综合作用的结果,不同的空间分布特征导致构成避暑型气候的温、湿、风、辐射等因子在不同地区的贡献程度和复杂组合关系。因此,尽管各类避暑型气候人体感知温度都满足舒适条件,但又因气候因子的复杂组合而又呈现出不同的地域特色。在对避暑型气候气象站点聚类分析的基础上,本文又对5种避暑型气候气象站点的湿度、气温、风速、太阳辐射等指标进行统计平均(表2),力图通过上述指标的对比分析找出各种避暑气候在空间分布上所具有的舒适特色。从表2可以看出,西南高原型避暑气候太阳辐射值高达1114.7 W·m⁻²,明显高于其他4类,说明该地区虽然夏季凉爽,但纬度低、海拔高、辐射较强;环渤海低山丘陵型避暑气候气温偏高,相对湿度在70%左右,说明该类型虽然也属于避暑型气候,但由于地势低、距海近、略显湿热;中东部山岳型避暑气候由于地势较高、受夏季风影响,风速和相对湿度两项指标较其他类型明显偏高,分别为9.8 m·s⁻¹和68.2%,因而具有空气湿润、风速较大的特点;西北山地高原型避暑气候由于地处内陆,故相对湿度最小,仅为34.2%,因而具有夏季温度适宜但略偏干燥的特点;与其他类型相比,东北山地平原型避暑气候风速不大、辐射不强、湿度适中,综合条件相对优越。

4.2 避暑型宜人气候的时间分布特征

虽然上述5类避暑型气候的夏季人体感知温度月均值能满足本文所定义的避暑型气候范围,但并

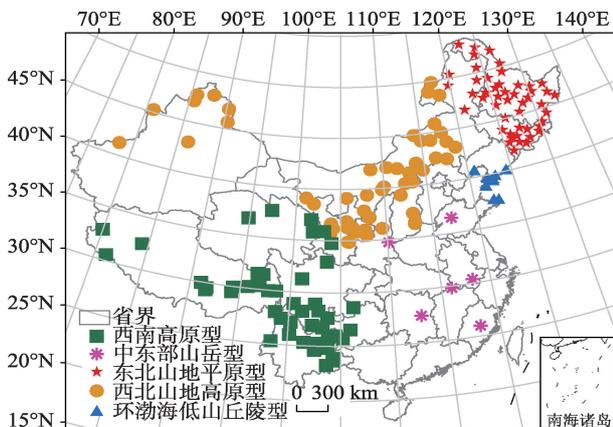


图3 中国夏季避暑型气候气象站点聚类结果

Fig.3 Cluster analysis results of meteorological stations in regards to summer comfortable climate in China

表2 各类避暑型气候夏季主要气象指标的对比

Tab.2 Meteorological indicator values of each summer comfortable climate type during the summer

类型指标	气象指标			
	气温/°C	湿度/%	风速/(m·s ⁻¹)	太阳辐射/(W·m ⁻²)
西南高原型	24.3	47.7	5.0	1114.7
中东部山岳型	22.7	68.2	9.8	927.2
东北山地平原型	26.0	49.7	5.4	929.2
西北山地高原型	26.5	34.2	6.1	971.4
环渤海低山丘陵型	26.6	70.4	6.4	862.7

不能就此断定它们的舒适期为整个夏季。为了详细地刻画出各类避暑型气候的时间分布特征,即舒适期长短及人体感知温度的变化过程,本文以旬为时间单位,将各类避暑型气候夏季人体感知温度绘制成曲线图(图4),以期从曲线的变化探究出各类避暑型气候的时间分布特征。由图4可知,环渤海低山丘陵型避暑气候的人体感知温度表现为明显的单峰不对称变化过程,舒适期较短,进入夏季以后逐渐增大,7月中旬以后偏离舒适区间,8月上旬达

到最大值(约27.9℃)后又逐渐减小。中东部山岳型避暑气候的夏季人体感知温度也呈先增后减的单峰不对称型,其整个夏季都处于舒适范围,且其值基本在15℃左右,最大值仅为17.3℃(7月下旬),最小值为9.7℃(6月上旬)。西南高原型避暑气候的夏季人体感知温度也基本呈先增后降的单峰不对称型,整个夏季都是舒适期,且变化幅度较小(各旬人体感知温度介于20~23.8℃之间)。东北山地平原型和西北山地高原型夏季人体感知温度变化相似,均呈良好的单峰对称形态,舒适期也基本为整个夏季,进入夏季以后两者的人体感知温度都在20℃左右,之后逐渐增加,峰值都出现在7月中旬,分别为26.6和25.7℃。

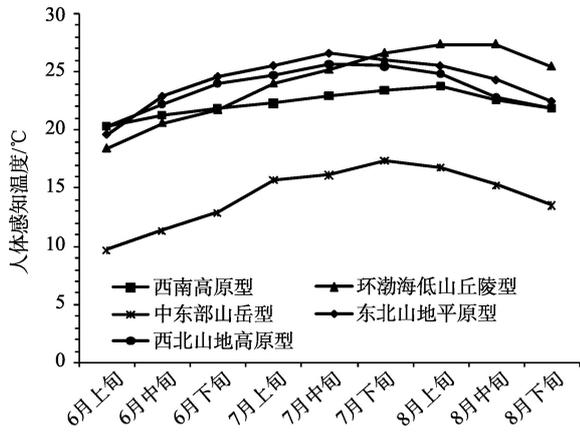


图4 各类避暑型气候夏季人体感知温度随时间变化情况
Fig.4 Temporal variation of human-perceived temperature of each summer comfortable climate type during the summer

在影响人体感知温度的各个气象因素中,气温无疑是首要因素。在气温相同的条件下,由于湿度、辐射和风速的差异而产生了不同的人体感知温度。本文以旬为单位,对5种避暑型气候的温、湿、风和太阳辐射在整个夏季的变化过程进行了统计分析,结果如图5所示。

从气温和湿度的组合变化过程来看(图5a-5b),西北山地高原型夏季气温较高而湿度明显偏低,反映出内陆地区所独有的干暖舒适特征,其气温峰值出现在7月中旬,整个夏季气温呈良好的单峰对称

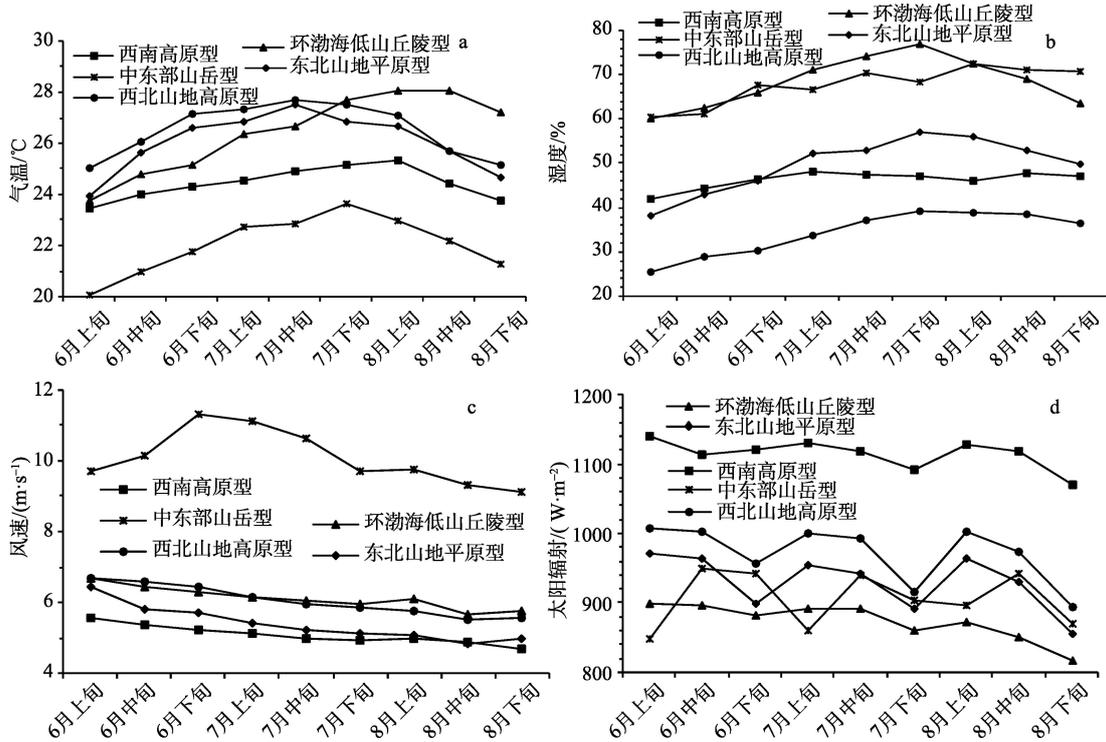


图5 各类避暑型气候夏季主要气象指标随时间变化情况

Fig.5 Temporal variation of major meteorological indicator values of each summer comfortable climate type during the summer

分布,相对湿度与气温变化基本同步,但湿度的峰值出现稍晚(7月下旬);与西北山地高原型相比,东北山地平原型温湿组合变化过程类似,但空气相对湿润,整个夏季相对湿度一般保持在40%以上,而西北山地高原型基本都在40%以下;环渤海低山丘陵型的气温变化表明海洋性气候特征,6-8月中旬气温一直保持上升趋势,夏末气温明显高于其他类型,相对湿度也在60%以上,使得该地区夏末时节略显湿热;中东部山岳型的温湿曲线呈低温高湿的组合特点,与其海拔高度及夏季风湿润气流的影响有关;西南高原型气温和湿度在整个夏季比较适中,且变化幅度都不大,与其他类型不同,没有初夏、盛夏和夏末的显著差别。

从气温和风速的组合变化过程来看(图5a-5c),中东部山岳型避暑气候气温较低、风速较大,表现出夏季风影响下山岳气候山高风大的气候特点,图5c显示,6月-7月中旬,中东部山岳型的平均风速在15 m/s以上,该阶段也是中国夏季风最强盛的时期;其余几类的风速整个夏季都在7 m/s以下,且变化过程基本相似,表现为入夏以后风速缓慢降低,但变化幅度不大,因此,对其余4种避暑型气候而言,风速对人体感知温度的影响不如中东部山岳型风速的影响显著。

从气温和太阳辐射的组合变化过程来看(图5a-5d),西南高原型温度适中但辐射强烈,辐射值在1050~1150 W·m⁻²之间,以6月上旬、7月上旬和8月上旬3个时段辐射较强,辐射值在1120 W·m⁻²以上,其中8月上旬强辐射时段与气温峰值叠加,使得人体感知温度出现全年的峰值(图4);中东部山岳型呈现出低温、低辐射的组合特征,太阳辐射在整个夏季都在950 W·m⁻²以下波动;环渤海低山丘陵型气温和辐射基本呈相反的变化态势,在气温不断升高的过程中太阳辐射逐渐减小,其辐射值在所有类型中基本处于最低水平(整个夏季不超过900 W·m⁻²),夏末时节会出现气温偏高、湿度较大但辐射不强的气候特点。

5 结论与讨论

5.1 结论

本文以1993-2012年气象观测资料为主要数据来源,利用UTCI模型计算了中国夏季各气象站点的人体感知温度并进行空间格网化,得到中国避暑型

气候的总体分布格局,并借助聚类分析方法研究了中国避暑型气候的地域类型,在此基础上,对各类避暑型气候的时空分布特征进行了比较分析,研究结果表明:

(1) 中国避暑型气候呈明显的“两高”分布特征,主要集中于中高纬、高海拔地区。其中,中国青藏高原的周边、海拔介于1200~3800 m的高原山地是中国避暑型气候的第一大集中分布区;中国东北和西北的中高纬地区,特别是42°N以北是中国避暑型气候的第二大集中分布区;避暑型气候在其余地区只有小面积零散分布。

(2) 中国避暑型气候大致可以分为5种地域类型,即西南高原型、中东部山岳型、东北山地平原型、西北山地高原型和环渤海低山丘陵型。各类避暑型气候虽然在夏季都具有适宜的人体感知温度,但从气候因子的组合及变化过程来看,又存在明显的地域差异。

(3) 各类避暑型气候分布的地理位置不同,其地域差异主要体现在:西南高原型避暑气候纬度低、海拔高、辐射较强;环渤海低山丘陵型避暑气候地势低、距海近、略显湿热;中东部山岳型避暑气候受夏季风和山岳地形的影响,具有空气湿润、风速较大的特点;西北山地高原型避暑气候由于地处内陆,适宜避暑的区域略显干暖;相对而言,东北山地平原型避暑气候风速不大、辐射不强、湿度适中,综合条件较为优越。

(4) 通过分析各类避暑型气候人体感知温度及相关气象指标夏季的时间变化过程,发现环渤海低山丘陵型避暑气候舒适期相对较短,夏末时节略微偏热,其余类型舒适期相对较长;东北山地平原型和西北山地高原型人体感知温度的变化过程呈良好的单峰对称形态,峰值出现在7月中旬;其余类型均呈单峰、不对称形态,峰值出现在7月底或8月初。

5.2 讨论

本文以近20年756个国家基本站和122个辐射站逐日气象资料为主要数据源,探讨了中国避暑型气候的基本格局、地域类型和时间变化,但由于气象台站的数量有限,所得到的研究结论仅适用于宏观尺度。受下垫面、局地环流以及地形条件的影响,避暑型气候的空间分布在局地尺度上会表现出更为复杂多样的分异特点。目前,在气象要素空间降尺度领域已取得了一些可供借鉴的研究成果,主要包括动力降尺度技术和统计降尺度技术,融合遥

感数据和降尺度模型对中国避暑型气候开展精细化评估是未来的研究方向。另外,本文所研究的避暑型气候主要针对室外无遮蔽的自然环境,而有遮蔽与无遮蔽、室内与室外等环境条件的改变也会对人体感知温度产生显著影响,因此对于室外有遮蔽及室内环境条件下的夏季宜人气候有待进一步探讨。

参考文献(References)

- 曹伟宏,何元庆,李宗省,等. 2012. 丽江旅游气候舒适度与年内客流量变化相关性分析[J]. 地理科学, 32(12): 1459-1464. [Cao W H, He Y Q, Li Z S, et al. 2012. A correlation analysis between climate comfort degree and monthly variation of tourists in Lijiang[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 32(12): 1459-1464.]
- 陈正昌,程炳林,陈新丰,等. 2005. 多变量分析方法: 统计软件应用[M]. 北京: 中国税务出版社. [Chen Z C, Cheng B L, Chen X F, et al. 2005. *Duobianliang Fenxi Fangfa: tongji ruanjian yingyong*[M]. Beijing, China: Chinese Tax Press]
- 范业正,郭来喜. 1998. 中国海滨旅游地气候适宜性评价[J]. 自然资源学报, 13(4): 304-311. [Fan Y Z, Guo L X. 1998. The climate suitability of tourism at the coastline destinations of China[J]. *Journal of Natural Resources*, 13(4): 304-311.]
- 孔邦杰,李军,黄敬峰. 2007. 山地旅游区气候舒适度的时空特征分析[J]. 气象科学, 27(3): 342-348. [Kong B J, Li J, Huang J F. 2007. Temporal and spatial characteristic analysis of the climatic comfortable index in the mountainous country tourist district[J]. *Scientia Meteorologica Sinica*, 27(3): 342-348.]
- 刘林山,张懿铨,郑度. 2002. 首都圈典型沙区近40余年气候变化特征简析: 以张北、怀来、丰宁3县为例[J]. 地理科学进展, 21(4): 318-326. [Liu L S, Zhang Y L, Zheng D. 2002. Climate change character in the special sand area of the areas encircling Beijing: a case study on the counties of Zhangbei, Huailai and Fengning[J]. *Progress in Geography*, 21(4): 318-326.]
- 刘清春,王铮,许世远. 2007. 中国城市旅游气候舒适性分析[J]. 资源科学, 29(1): 133-141. [Liu Q C, Wang Z, Xu S Y. 2007. Climate suitability index for city tourism in China[J]. *Resources Science*, 29(1): 133-141.]
- 陆林,宣国富,章锦河,等. 2002. 海滨型与山岳型旅游地客流季节性比较: 以三亚,北海,普陀山,黄山,九华山为例[J]. 地理学报, 57(6): 731-740. [Lu L, Xuan G F, Zhang J H, et al. 2002. An approach to seasonality of tourist flows between coastland resorts and mountain resorts: example of Sanya, Beihai, Mt.Putuo, Mt.Huangshan, and Mt.Jiuhua[J]. *Acta Geographica Sinica*, 57(6): 731-740.]
- 马丽君,孙根年. 2009. 中国西部热点城市旅游气候舒适度[J]. 干旱区地理, 32(5): 791-797. [Ma L J, Sun G N. 2009. Evaluation of climate comfort index for tourism hot-spot cities in west China[J]. *Arid Land Geography*, 32(5): 791-797.]
- 马丽君,孙根年,康国栋,等. 2009. 北京旅游气候舒适度与客流量年内变化相关分析[J]. 干旱区资源与环境, 23(6): 95-100. [Ma L J, Sun G N, Kang G D, et al. 2009. Correlative analysis on climate comfortable degree and monthly variations of tourists in Beijing[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 23(6): 95-100.]
- 马丽君,孙根年,李馥丽,等. 2007. 陕西省旅游气候舒适度评价[J]. 资源科学, 29(6): 40-44. [Ma L J, Sun G N, Li F L, et al. 2007. Evaluation of tourism climate comfortableness in Shaanxi Province[J]. *Resources Science*, 29(6): 40-44.]
- 马丽君,孙根年,李玲芬,等. 2008. 海口旅游气候舒适度与客流量年内变化相关分析[J]. 资源科学, 30(11): 1754-1759. [Ma L J, Sun G N, Li L F, et al. 2008. Correlative analysis of climate comfort and monthly variation of tourists in Haikou City[J]. *Resources Science*, 30(11): 1754-1759.]
- 马丽君,孙根年,马彦如,等. 2011. 30年来西安市气候舒适度变化对旅游客流量的影响[J]. 干旱区资源与环境, 25(9): 191-196. [Ma L J, Sun G N, Ma Y R, et al. 2011. Impact of climate comfort degree change on the number of tourists in Xi'an for the last 30 years[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 25(9): 191-196.]
- 马丽君,孙根年,王洁洁. 2009. 中国东部沿海沿边城市旅游气候舒适度评价[J]. 地理科学进展, 28(5): 713-722. [Ma L J, Sun G N, Wang J J. 2009. Evaluation of tourism climate comfortableness of coastal cities in the eastern China[J]. *Progress in Geography*, 28(5): 713-722.]
- 马丽君,孙根年,谢越法,等. 2010. 50年来东部典型城市旅游气候舒适度变化分析[J]. 资源科学, 32(10): 1963-1970. [Ma L J, Sun G N, Xie Y F, et al. 2010. A study on variations of the tourism climate comfort degree in five typical cities in eastern China during the last 50 years[J]. *Resources Science*, 32(10): 1963-1970.]
- 马丽君,孙根年,杨睿,等. 2011. 城市气候舒适度与游客网络关注度时空相关分析[J]. 地理科学进展, 30(6): 753-759. [Ma L J, Sun G N, Yang R, et al. 2011. A correlative analysis of the spatial and temporal relationship between climate comfort degree and tourist network attention for typical cities[J]. *Progress in Geography*, 30(6): 753-759.]

- 任健美, 牛俊杰, 胡彩虹, 等. 2004. 五台山旅游气候及其舒适度评价[J]. 地理研究, 23(6): 856-862. [Ren J M, Niu J J, Hu C H, et al. 2004. Tourism climate and evaluation of comfortableness in Wutai Mountain[J]. Geographical Research, 23(6): 856-862.]
- 王胜, 田红, 谢五三, 等. 2012. 近50年安徽省气候舒适度变化特征及区划研究[J]. 地理科学进展, 31(1): 40-45. [Wang S, Tian H, Xie W S, et al. 2012. A study on variations and comprehensive zoning of climate comfort degree in Anhui Province in the past 50 years[J]. Progress in Geography, 31(1): 40-45.]
- 宣国富, 陆林, 汪德根, 等. 2004. 三亚市旅游客流空间特性研究[J]. 地理研究, 23(1): 115-124. [Xuan G F, Lu L, Wang D G, et al. 2004. Spatial characteristics of tourist flows in coast resorts: a case study of Sanya City[J]. Geographical Research, 23(1): 115-124.]
- 宣国富, 陆林, 章锦河, 等. 2002. 海滨旅游地居民对旅游影响的感知: 海南省海口市及三亚市实证研究[J]. 地理科学, 22(6): 741-746. [Xuan G F, Lu L, Zhang J H, et al. 2002. Residents' perception of tourism impacts in coast resorts: the case study of Haikou and Sanya Cities, Hainan Province[J]. Scientia Geographica Sinica, 22(6): 741-746.]
- 闫业超, 岳书平, 刘学华, 等. 2013. 国内外气候舒适度评价研究进展[J]. 地球科学进展, 28(10): 1119-1125. [Yan Y C, Yue S P, Liu X H, et al. 2013. Advances in assessment of bioclimatic comfort conditions at home and abroad[J]. Advances in Earth Science, 28(10): 1119-1125.]
- 袁志发, 周静芋. 2002. 多元统计分析[M]. 北京: 科学出版社. [Yuan Z F, Zhou J Y. 2002. Multivariate statistical analysis[M]. Beijing, China: Science Press.]
- 张狄, 史岚, 缪启龙, 等. 2012. 基于GIS的江苏省旅游舒适度精细化估算与评价[J]. 江苏师范大学学报: 自然科学版, 30(3): 62-67. [Zhang D, Shi L, Miao Q L, et al. 2012. Fine estimation and evaluation of tourism comfort in Jiangsu Province based on GIS[J]. Journal of Jiangsu Normal University: Natural Science Edition, 30(3): 62-67.]
- Blażejczyk K, Epstein Y, Jendritzky G, et al. 2012. Comparison of UTCI to selected thermal indices[J]. International Journal of Biometeorology, 56(3): 515-535.
- Bröde P, Fiala D, Błażejczyk K, et al. 2012. Deriving the operational procedure for the Universal Thermal Climate Index (UTCI)[J]. International Journal of Biometeorology, 56(3): 481-494.
- Bröde P, Krüger E L, Rossi F A, et al. 2012. Predicting urban outdoor thermal comfort by the Universal Thermal Climate Index UTCI: a case study in southern Brazil[J]. International Journal of Biometeorology, 56(3): 471-480.
- Fanger P O. 1970. Thermal comfort: analysis and applications in environmental engineering[M]. Copenhagen, Denmark: Danish Technical Press.
- Fiala D, Havenith G, Bröde P, et al. 2012. UTCI-Fiala multi-node model of human heat transfer and temperature regulation[J]. International Journal of Biometeorology, 56(3): 429-441.
- Gagge A P, Stolwijk J A J, Nishi Y. 1971. An effective temperature scale based on a simple model of human physiological regulatory response[J]. ASHRAE Transactions, 77: 247-272.
- Havenith G, Fiala D, Błażejczyk K, et al. 2012. The UTCI-clothing model[J]. International Journal of Biometeorology, 56(3): 461-470.
- Houghton F C, Yaglou C P. 1923. Determining equal comfort lines[J]. Journal of the American Society of Heating and Ventilating Engineers, 29: 165-176.
- Jendritzky G, De Dear R, Havenith G. 2012. UTCI: why another thermal index[J]. International Journal of Biometeorology, 56(3): 421-428.
- Kampmann B, Bröde P, Fiala D. 2012. Physiological responses to temperature and humidity compared to the assessment by UTCI, WGBT and PHS[J]. International Journal of Biometeorology, 56(3): 505-513.
- Lise W, Tolrs J. 2002. Impact of climate on tourism demand [J]. Climatic Change, 55(4): 429-449.
- McArdle B, Dunham W, Holling H E, et al. 1947. The prediction of the physiological effects of warm and hot Environments[R]//Renewable Northwest. Renewable northwest project report 47. London, UK: Medical Resource Council: 391.
- Siple P, Passel C F. 1945. Measurements of dry atmospheric cooling in subfreezing temperatures[J]. Proceedings of the American Philosophical Society, 89: 177-199.
- Thorn E C. 1959. The discomfort index[J]. Weatherwise, 12 (2): 57-61.
- Yaglou C P, Minard D. 1957. Control of heat casualties at military training centers[J]. American Medical Association Archives of Industrial Health, 16(4): 302-316.
- Yan Y Y. 2005. Climate comfort indices[M]//Oliver J E. Encyclopedia of world climatology. Berlin, Germany: Springer Netherlands: 227-231.

Types of summer comfortable climate in China and their temporal and spatial distribution

CHEN Hui¹, YAN Yechao¹, YUE Shuping¹, MENG Bingxiang², WANG Xiyuan¹

(1. College of Geography & Remote Sensing, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China; 2. Gutian Meteorological Administration, Gutian 352200, Fujian, China)

Abstract: Geographical differences in latitude, topography, and distance to the sea lead to a variety of summer comfortable climate types in China. Using daily data from 756 national basic stations and 122 radiation stations in China during 1993-2012, human-perceived temperature is calculated using the Universal Thermal Climate Index (UTCI). Combined with cluster analysis method, this study analyzed summer comfortable climate types as well as their spatial distribution, temporal variation, and characteristics of comfort. The results show that summer comfortable climate types in China include Southwest Plateau type, Central-Eastern Mountain type, Bohai Hilly type, Northeast Mountain-Plain type, and Northwest Mountain-Plateau type. On the Southwest Plateau, with a low latitude and high altitude, solar radiation is strong; the Central-Eastern Mountain area is comfortable and slightly cold in the summer due to high elevation and wind speed; the Bohai Hilly area is influenced distinctly by the sea breeze and is slightly hot with high humidity; the Northwest Mountain-Plateau has a pleasant temperature and sunny weather although slightly dry. Comparatively, conditions in the Northeast Mountain-Plain are the most favorable because of the cool climate and low wind speed, weak solar radiation, and moderate humidity. Based on the temporal variation of human-perceived temperature during the summer, the comfortable period of the Bohai Hilly is short but the others are relatively long. The human-perceived temperature curves of the Northeast Mountain-Plain and the Northwest Mountain-Plateau areas show a single peak with symmetric distribution while the others present a roughly single peak with asymmetrical shape. The result of this study has further enriched the results of summer comfortable climate research and provides a scientific basis for the development and planning of summer tourist resources. It can also serve as a guide to summer tourism activities.

Key words: summer comfortable climate; regional types; temporal and spatial distribution; Universal Thermal Climate Index; human-perceived temperature; China