

山东省人体舒适度区域特征研究^①

杨成芳 薛德强 李长军

(山东省气象中心, 济南 250031)

提 要

采用旋转经验正交分解(EOF)的方法,对山东省 90 个测站 1971~2000 年的年平均人体舒适度进行区域划分,并进一步分析了各区域人体舒适度指数的空间分布特征和变化趋势。研究表明,半岛的沿海地区是山东省舒适感觉最佳和较舒适日数最多的地区,热不舒适主要出现在山东的中西部地区,冷不舒适则以北部和沿海地区较为突出。近 30 年来,山东各区域冷不舒适感觉日数明显减少,热不舒适日数增加,舒适度感觉有向热转变的趋势。

关键词: 人体舒适度 EOF 区域特征 变化趋势

引 言

气温、湿度、风等气象要素构成了人类赖以生存的大气环境,人体和大气环境之间通过能量交换和自身体温调节,在产热、吸热和失热中达到热平衡,以维持恒定的体温。人体对外界冷热的舒适感,是各种气象要素综合作用的结果。人们提出了很多人体舒适度的表征方法,例如人体舒适度指数、体感温度、炎热指数、风寒指数等等,通常根据不同的业务需要采用相应的表示方法^[1]。研究人体舒适度的意义在于提示人们根据气象因素的变化来及时调节生理、适应环境以及采取一些防范措施^[2]。

山东省地处沿海,内有高山、平原,地形复杂。当同一天气系统影响时,各地产生的天气也多有不同,故山东省在对降水和气温的短期气候预测中,均有各自的区划。不同的气候背景势必造成人体舒适度的差异,而舒适度的变化趋势不同于任何一个单一的气象要素,因此在分析舒适度的气候特征时,必须重新进行区域划分。过去人们研究人体舒适度指数,多着眼于环境气象指数预报^[3,4],本文从气候的角度,采用旋转经验正交函数

分解(EOF)方法对山东省的人体舒适度进行分区,进而研究其区域分布和变化特征。

1 资料与方法

采用山东省 90 个测站 1971~2000 年历年日最高气温、日最大相对湿度和日平均风速等资料,首先利用人体舒适度指数公式计算出各站历年每日舒适度指数级别,以此为基础可得到各站历年舒适度级别日数及舒适度级别平均值序列。

舒适度区划采用 EOF 分析方法。该方法近年在气温、降水的区域研究上多有应用^[5,6]。其主要优点为,解的空间函数可与遥相关的计算结果图形相似,同时解的空间图形不会因计算的区域大小改变而变化,能够客观地给出主要的遥相关中心位置及相关场的分布,可避免人为选取相关中心点的随意性,根据各旋转主分量荷载向量的空间分布以及其间的相关性,真正将气候要素变化相同的地区划为一区。

旋转的自然正交分解(EOF)方法大致分为两步,先对舒适度级别作自然正交分解(EOF),再将展开后的特征场作方差极大正交旋转^[3]。

^① 资助项目:山东省气象局 2002 年产业基金项目

设 F 表示全省 90 个站人体舒适度指数场,其 EOF 分解式为:

$$F = TV'$$

V' 是 V 的转置矩阵, V 是特征向量矩阵,表示 F 的空间变化特征; T 为 V 的时间系数阵,表示 F 的时间变化。 V 和 T 都是正交矩阵,然后将 V 中 m 个特征向量(EOF)的特征值 $\lambda_i (i = 1, m)$ 从大到小排列,选取前面若干个特征值对应的特征向量作方差最大正交旋转,得到 REOF 分解式为:

$$F = AU'$$

U' 是 U 的转置矩阵, U 仍是一种空间函数, A 仍是时间函数。这里 A 仍是正交矩阵,而 U 不再象 V 那样具有正交特性,但是它的每一个特征向量对应的方差集中在少数几个地方,并且是旋转因子荷载向量,每个向量代表的是空间相关性分布结构,通过空间分布结构,不仅可以分析人体舒适度指数场的地域结构,也可以通过每个向量的高荷载区域对人体舒适度指数场进行区划。

在进行 REOF 分解时,选取前几个方差贡献累计达到 90% 以上的特征向量作方差最大正交旋转,令 $\epsilon = 10^{-3}$,即直到相邻两次的方差贡献之差小于 ϵ 即停止旋转。得到各特征向量方差贡献率、前 K 个特征量的累积方差贡献率。根据旋转主成分荷载值确定各站舒适度序列相关最密切的旋转主成分。分区原则是将同一荷载向量场中 $|U_{ij}| \geq 0.6$ 且在地理上连成一片的、测站多于 4 个的区域划分为同一区域。

2 人体舒适度指数的计算公式和等级划分

2.1 计算公式

人体舒适度的主要气象影响因子有气温、湿度和风速,可通过这 3 个因子来定量表示和描述人体的舒适程度。人体舒适度指数(简称舒适度)就是在考虑了气温、湿度和风速等气象要素的综合作用后,人体对大气环境的感受舒适程度的一种指标。目前,国内外多数台站都是结合主观感觉,采用经验公式来计算人体舒适度指数。本文采用的是山

东省各气象台站业务使用的人体舒适度指数计算公式:

$$ssd = (1.818t + 18.18)(0.88 + 0.002f) + (t - 32)/(45 - t) - 3.2(v)^{\frac{1}{2}} + 3.2$$

其中, ssd 为人体舒适度指数, t 为日最高气温, f 为日最大相对湿度, v 为日平均风速(单位: $m \cdot s^{-1}$)。

2.2 等级划分

人体舒适度指数的等级划分按照中国气象局规定的统一标准,采用 9 级分类法(见表 1)。级别的绝对值越大,则人感觉越不舒适;越小,则人感觉越舒适。

表 1 我国人体舒适度指数等级划分表

舒适度指数	级别	感觉
>85	4 级	炎热,热调节功能障碍,人感觉极不适应
81~85	3 级	热,人感觉很不舒适,容易过度出汗
76~80	2 级	暖,人感觉不舒适,容易出汗
71~75	1 级	温暖,人感觉较舒适,轻度出汗
61~70	0 级	舒适
51~60	-1 级	凉爽,人感觉较舒适
41~50	-2 级	凉,人感觉不舒适
20~40	-3 级	冷,人感觉很不舒适,体温稍有下降
<20	-4 级	寒冷,人感觉极不适应,冷得发抖

3 山东舒适度的区域划分

对山东省舒适度指数年平均等级进行 REOF 分析,计算结果表明,前三个荷载量场的相对方差贡献分别达到了 32.5%、25.1% 和 23.8%,累积相对方差贡献占总方差的 81.2%。图 1a 和图 1b 给出了全省舒适度指数年平均等级的旋转荷载量场及划分区域。从图中可以看出,第一荷载量场的荷载大值区出现在山东的西部地区,中心值最大达 0.864(高唐),大于 0.6 的等值线基本包含了山东的中西部区域;第二荷载量场的荷载大值区出现在半岛地区;第三荷载量场虽然相对方差贡献率达到了 26.4%,但是其荷载绝对值超过 0.6 的站点不足 4 个,不符合分区原则,因此该荷载量场不再作区域划分。

以上荷载量场的分布显示了山东省年平均舒适度变化有两个空间特征,可划分为两

个区域(图 1c)。I 区:山东中西部地区,包括德州、聊城、济南、淄博、潍坊西部、泰安、莱芜、菏泽、济宁、枣庄及临沂的西部地区。II 区:除了上述地区以外,其它地区都划为 II 区,以半岛地区为主,还包括北部的滨州和东营两个沿海地区。分区结果显示了山东省年平均舒适度分布具有很强的地域特征,分布特点与海陆分布有较好的一致性。

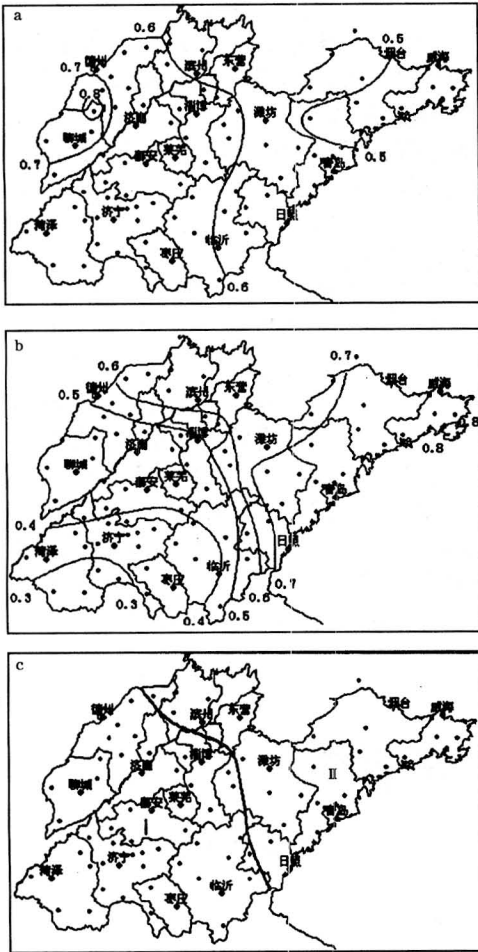


图 1 山东年平均舒适度旋转荷载量场及分区结果
a. 第一荷载量场, b. 第二荷载量场, c. 分区

4 各区舒适度的时空变化特征

4.1 年平均舒适度日数的空间分布特征

分析全省各站点 1971~2000 年 30 年间人体舒适度各级别的年平均日数,发现各级日数的分布区域特征非常明显(图略)。为节省篇幅仅分析 -4、-3、0、3、4 各级的情况。

-4 级(寒冷)舒适度的年平均日数分布自西南向东北递增。鲁西南地区日数最少,为 13~20 天;半岛的东北地区为高值区,各地均在 50 天以上;鲁北的东北部和半岛的大部分地区都在 30~40 天;其它地区一般在 20~30 天。

-3 级(冷)舒适度的年平均日数分布基本上呈纬向型分布,自北向南递增。泰安、鲁南(菏泽除外)和半岛的东南沿海地区均在 100 天以上;其它地区多在 93~100 天之间。

0 级(最舒适)舒适度的年平均日数分布自西北向东南递增。半岛的东部和南部沿海地区最舒适的日数最多,均在 70 天以上,占总日数的 20%~21%,石岛以 76 天居全省第一位;鲁北的大部分地区为 58~60 天,占总日数的 16%;其它地区一般为 60~70 天,占总日数的 17%~19%。1 级(温暖)舒适度的年平均日数,内陆地区为 40~50 天;半岛东部和南部的沿海地区则日数较少,都在 40 天以下,多数在 20~25 天之间。

3 级(热)舒适度的年平均日数分布和 2 级类似。鲁西北和鲁西南地区较多为 10~15 天;其它地区均不足 10 天,尤其是半岛的东部和南部沿海地区,平均不到 2 天。

4 级(炎热)舒适度的年平均日数很少。鲁西北和鲁西南一般为 1~3 天;其它地区均在 1 天以下,其中半岛的东北部地区,则不出现很热的天气。

从以上分析可以看出,半岛的沿海地区是山东省最佳和较舒适日数最多的地区,热不舒适主要出现在山东省的中西部地区,冷不舒适则以鲁北和沿海地区较为突出。

4.2 各区域舒适度的变化趋势

以 REOF 荷载值作为判据,选取各荷载量场对应地区的代表站。为避免区域重叠,均选取 REOF 高荷载区的站点,即取荷载值的绝对值 ≥ 0.7 范围内所有站点。第一至第二荷载量场所对应的代表站个数分别为 22 和 16。

4.2.1 各区平均舒适度的年际变化

各区域全年平均舒适度级别距平如图 2 所示,图中负距平表示舒适度感觉有变凉趋势,正距平则表示变暖趋势。从图中可以看

出,虽然可将山东省分为中西部 and 半岛两个舒适度变化区,但两个区域总的变化趋势基本是一致的,只不过变化幅度有所差异。20世纪80年代中期以前,全省处于舒适度正距平和负距平交替出现的时期,负距平年数占绝对优势,其中以70年代中前期负距平持续时间最长;各时段的负距平中心均出现在中西部地区,正距平中心出现在半岛地区,这说明80年代中期以前,全省的舒适度以偏凉感觉为主,变凉时中西部地区的变化幅度大于半岛地区,而变暖时半岛地区的变化幅度大于中西部地区。从80年代后期开始至本世纪初,全省舒适度多数年份为正距平,尤其是中西部地区,除了1996年出现了 -0.04 的距平值以外,其它年份均为正距平,半岛地区在20世纪90年代前中期正负距平交替出现;从距平中心来看,正距平中心出现在中西部地区,负距平中心出现在半岛地区,距平中

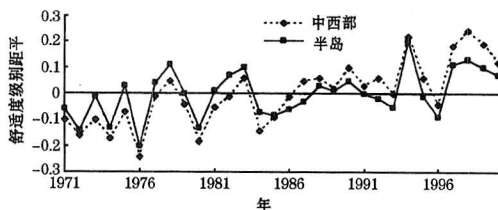


图2 山东各区域年平均舒适度级别距平分布(1971~2000)

心的位置和80年代中期以前正好相反,可见从80年代后期开始全省的舒适度都在向偏暖的感觉转变,中西部地区转暖的变化幅度大于半岛地区。山东人体舒适度的这种变化趋势和气温变化趋势类似,这表明在全球气候变暖的大环境下,人体舒适度感觉也在向暖的方向转变,同时也表明气温的变化对人体舒适度有直接影响。

4.2.2 各区舒适度日数的年际变化

分析舒适度各级别日数的年际变化,可以更清楚地显示出舒适度指数的变化趋势。受篇幅限制,本文只分析占山东省大部分地区的I区(中西部地区)各级舒适度日数的年际变化情况。

将舒适度感觉分为三个层次, $-4 \sim -2$ 级为冷不舒适, $-1 \sim 1$ 级为舒适, $2 \sim 4$ 级为热不舒适。具体地说,就冷不舒适感觉而言,使人感觉很冷的日数(图3a)在1971年出现了30年间的最高值,此后几乎是逐年下降,在20世纪70年代至80年代中期,多数年份为正距平,从80年代后期开始,则基本上都是负距平,该级别日数趋势系数 $|r|$ 达到了 0.7149 ,大大超过了 0.001 显著性水平($r_{0.001} = 0.5541$),表明这种下降趋势是非常显著的。冷感觉日数(图3b)在70年代起伏较大,从80年代开始变化幅度减小,基本上

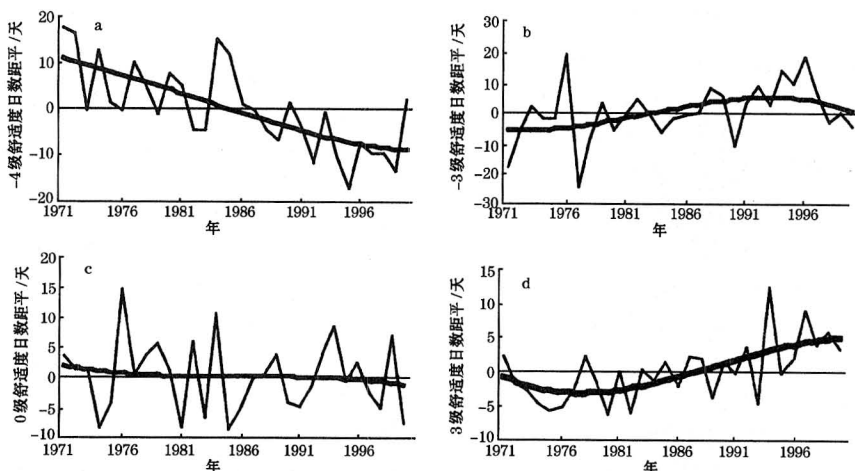


图3 I区各级舒适度日数距平的年际变化图(1971~2000)

图中细折线为舒适度日数距平,粗曲线为3次多项式趋势曲线

是缓慢上升,总的来说,冷感觉日数在近30年间呈现为上升的趋势,与寒冷感觉正好相反;凉不舒适感觉的日数在70年代多数年份为正距平,80年代至90年代初期负距平占优势,90年代中期以后呈上升趋势(图略)。在感觉舒适的3个等级中,凉爽感觉日数在70年代初期出现了峰值,此后至80年代初期变化较平稳,从80年代中期开始,正负距平交替出现,变化幅度较大,90年代后期下降趋势明显(图略)。最舒适感觉的日数在90年代中期以前多数年份为正距平,以后则基本上是负距平,日数明显减少(图3c);感觉温暖的日数中间多两头少,即70年代初期和90年代中后期日数偏少,其它阶段日数偏多(图略)。热不舒适感觉中,暖不舒适(2级)日数在80年代初期以前以负距平为主,以后则正距平占优势,且变化幅度逐年增大(图略);热和炎热感觉的日数(图3d)的变化趋势相当一致,70~80年代日数基本上都偏少,从90年代初期开始日数增多,中期以后则急剧上升,上升趋势非常明显。

5 结 论

(1) 山东年平均人体舒适度可划分两个区域,即中西部地区和半岛地区。

(2) 各地年平均舒适度日数的空间分布有很大差异,半岛的沿海地区是感觉最佳和较舒适日数最多的地区,热不舒适主要出现

在中西部地区,冷不舒适的日数以北部和沿海地区最多。

(3) 全省舒适度感觉变化阶段性明显。近30年来,两个区域舒适度的变化趋势基本一致,即都有向热转变的趋势,但是二者变化幅度有差异。

(4) 舒适度各级日数的变化趋势不同。冷不舒适感觉日数减少,其中寒冷舒适感觉减少最为明显;舒适感觉的变化相对平稳;热不舒适日数增加,90年代中期以后增加极为显著。

参考文献

- 1 吴兑,邓雪娇.特种气象学与特种气象预报.北京:气象出版社,2001:62~189.
- 2 张书余.城市环境气象预报技术.北京:气象出版社,2002:24~125.
- 3 王繁强,周阿舒,滕丽峰等.日照市人体舒适度指数预报.山东气象,2003,2:8~20.
- 4 周春红.人体舒适度研究与预报应用.环境气象业务服务技术研讨会论文集.中国气象局预测减灾司,2002:30~35.
- 5 吴洪宝,李栋梁,章基嘉.中国冬季月平均气温异常的旋转 EOF 分析.南京气象学院学报,1995,18(3):349~354.
- 6 施能,王永波,马丽等.浙江省夏季降水的区域特征.科技通报,2001,17(5):0~15.

Study of Regional Characteristics of Body Comfortability in Shandong

Yang Chengfang Xue Deqiang Li Changjun

(Shandong Province Meteorological Center, Jinan 250031)

Abstract

Rotated empirical orthogonal function (REOF) method is carried out for body comfortability of 90 stations in Shandong Province from 1971 to 2000. The results indicate that the body comfortability fields are spatially divided into 2 subregions. Based on this result, the trend of body comfortability in each region is analyzed. Coastal region is the most comfortable one and the hot uncomfortable feeling mainly exists in the mid and west region and the cold uncomfortable feeling in the other regions. In recent 30 years, body comfortability in Shandong tends to be hotter.

Key Words: body comfortability REOF regional character trend