

荆州夏季人体舒适度模型改进与应用评估

贺程程¹ 邓艳君¹ 陈正洪²

(1 荆州市气象局, 荆州 434020; 2 湖北省气象服务中心, 武汉 430074)

摘要: 利用荆州6个国家气象站1989—2018年的夏季逐日平均气温、相对湿度、风速等气象要素, 采用与经典人体舒适度模式计算及评判结果对比分析的方法, 建立荆州夏季人体舒适度模型, 确定人体舒适度评判标准, 并用湖北近30 a气象资料对各区域人体舒适度进行适用性分析。结果表明: 荆州6市(县)一年中各有3个月的舒适期, 松滋还有2个月的较舒适期, 松滋气候条件最佳; 湖北各区域30 a平均人体舒适度指数月分布均呈“W”型; 鄂西南是湖北避暑胜地, 松滋是荆州避暑胜地。

关键词: 对比分析, 人体舒适度, 指数预报, 改进模型

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2022.01.009

Improvement and Application Evaluation of Human Comfort Model in Jingzhou in Summer

He Chengcheng¹, Deng Yanjun¹, Chen Zhenghong²

(1 Jingzhou Meteorological Bureau, Jingzhou 434020 2 Hubei Provincial Meteorological Service Center, Wuhan 430074)

Abstract: In order to accurately evaluate the difference of human comfort in six counties of Jingzhou, based on the daily average temperature, relative humidity, and wind speed observation data from meteorological stations in Jingzhou from 1989 to 2018, using the method of comparing and analyzing the calculation and evaluation results with the classic human comfort model, the prediction model and evaluation criteria of human comfort are established in summer in Jingzhou. The applicability of human comfort in each region was analyzed by using the meteorological data of Hubei Province in recent 30 years. The results show that: There are three months of comfort period in a year in six counties of Jingzhou, and there are two more comfortable months in Songzi. Songzi has the best climate conditions in Jingzhou. The monthly distribution of the human comfort index is in a “W” shape in each region of Hubei Province in the past 30 years.

Keywords: comparative analysis, human comfort, index forecast, improved model

0 引言

气候舒适度能对人体健康产生明显影响^[1]。随着社会经济的发展, 人们生活水平的提高, 小长假和公休假的实行, 学生及家长避暑旅游越来越多, 夏季人体舒适度的预报越来越受社会重视。国内外学者对人体舒适度进行了不同的研究, 很多城市已开展人体舒适度的分析、预报和服务^[2-9], 魏学等^[10]、黄鹤楼等^[11]研究指出人体舒适度与平均气温呈极显著正相关, 与风速呈极显著负相关, 气温是人体舒适度变化的主导因子。唐进时等^[12]分析中国南方城市夏季舒适度, 发现高温不舒适天数近33 a来以3.4 d/10 a的速度增加, 并有5 a震荡周期。孟丽霞等^[13]、谭波等^[14]、许善洋等^[15]分析逐月的人体舒适度分别指出: 兰州市全年旅游气候舒适月份为5—9月; 贵州省的6月是夏季旅游的

最佳月份; 甘肃省气候舒适度4—10月比较优越, 6—8月最佳, 1月、12月较差。张莹等^[16]研究中国大陆九大名山风景区指出气候舒适度年变化北方名山呈倒“V”形, 中部名山呈倒“U”形, 南方名山呈“M”形。金琪等^[17]研究1960—2016年武汉城市圈人体舒适度变化特征后发现武汉城市圈闷热日数缓慢增多, 寒冷日数逐年减少, 人体舒适日数呈逐年增多的趋势。郑有飞等^[18]为进一步提高夏季舒适度预报质量, 对比验证了国内外多种指标, 指出国内指标基本能够表征人体热感觉, 但仍需进一步完善。目前, 湖北关于人体舒适度的研究不多, 而荆州人体舒适度的研究几乎是空白。

本文利用荆州6个国家气象观测站1989—2018年30 a夏季逐日气象资料, 采用模糊数学综合评判、时间序列和对比分析的方法, 在相关经典模型的基础上, 建立适合荆州的夏季人体舒适度预报模型和等级划分标准, 并用湖北近30 a气象资料分区域对人体舒适度进行适用性分析, 以期将研究成果业务化, 使气象服务满足公众日益增长的需求, 更好地为地方经济

收稿日期: 2020年9月30日; 修回日期: 2020年12月1日
第一作者: 贺程程(1971—), Email: 475503864@qq.com
资助信息: 荆州市气象局重点科研项目(JZ201908)

发展，特别是旅游业和农业经济的快速发展及申报天然氧吧、避暑旅游目的地提供科学的决策依据。

1 资料与方法

1.1 资料来源

建模气象资料来源于荆州6个国家气象观测站A文件中的1989—2018年30 a夏季(6—8月)经过质量控制的逐日气温、相对湿度和风速资料。应用分析气象资料来源于湖北气象业务内网经过质量控制的武汉、咸宁(代表鄂东南)、黄冈和孝感(二者平均代表鄂东北)、荆州(代表江汉平原)、宜昌和恩施(二者平均代表鄂西南)、襄阳和十堰(二者平均代表鄂西北)的1990—2019年近30 a逐日气温、相对湿度和风速资料。气象资料统计值日界均为北京时间20:00时。

1.2 研究方法

基于陆鼎煌提出的模糊数学综合评判法^[19](以下简称D模型)、王雁等^[1]研究的人体舒适度模型(以下简称P模型)的应用分析,建立改进的荆州夏季人体舒适度模型(以下简称J模型),通过对三种模型对比的分析,评价荆州市和湖北省各区域及武汉一年各月人体舒适度概况。

2 人体舒适度模型应用分析

2.1 D模型应用分析

采用陆鼎煌提出的模糊数学综合评判法。选定因素的论域为: $U=(\text{气温}t, \text{相对湿度}f, \text{风速}v)$,评价的论域为: $A=(\text{很舒适}B_1, \text{舒适}B_2, \text{较舒适}B_3, \text{不舒适}B_4)$ 。对三要素分别建立隶属函数方程(U_i)^[20]为:

$$U_t = \frac{1}{1+b(t-24)^2}, \quad (1)$$

$$U_f = \frac{1}{1+c(f-70)^2}, \quad (2)$$

$$U_v = \frac{1}{1+d(v-2)^2}. \quad (3)$$

其中, $b=0.0476$, $c=0.0038$, $d=0.5634$ 。同时,规定:

- $U \geq 0.85$ 很舒适,
- $0.85 > U \geq 0.75$ 舒适,
- $0.75 > U \geq 0.60$ 较舒适,
- $U < 0.60$ 不舒适。

首先,将荆州站的1989—2018年30 a夏季的逐日平均气温资料代入隶属函数方程计算,得到 $U_{t_1} \sim U_{t_{2760}}$,再对照上述舒适度等级标准,得出荆州夏季日平均气温属于很舒适、舒适、较舒适、不舒适的次数,它们在夏季气温记录次数(2760次)中所占的比例分别为 t_1 、 t_2 、 t_3 、 t_4 ,这是 R 中第一行元素,同样,分别对相对湿度和风速计算 R 中的第二、第三行元素,得到荆

$$\text{州站的判矩阵为: } R = \begin{pmatrix} t_1 & t_2 & t_3 & t_4 \\ f_1 & f_2 & f_3 & f_4 \\ v_1 & v_2 & v_3 & v_4 \end{pmatrix}$$

根据气温、相对湿度和风速三者对人体舒适度影响的权重分配: $V=(0.60, 0.20, 0.20)$ ^[20],进行综合评判 $D=V \cdot R$,求出荆州站夏季人体舒适度各等级占比。依次类推,得出荆州其他各市(县):松滋、公安、石首、监利和洪湖夏季的人体舒适度各等级占比,从而得到荆州6市(县)夏季D模型舒适度等级百分比(表1)。

表1 1989—2018年荆州6市县夏季D模型舒适度等级占比
Tabel 1 Percentage of D model comfort level in summer in six counties of Jingzhou from 1989 to 2018

站名	舒适度等级占比				
	很舒适 B_1	舒适 B_2	较舒适 B_3	较舒适及以上 $B_1+B_2+B_3$	不舒适 B_4
荆州	27.8	8.7	14.6	51.1	48.9
松滋	31.0	8.4	14.4	53.8	46.2
公安	28.2	8.3	14.6	51.1	48.9
石首	26.1	7.6	13.2	46.9	53.1
监利	28.0	7.2	12.7	47.9	52.1
洪湖	26.4	8.4	11.8	46.6	53.4

从表1中可以看出,松滋的人体舒适度相对较好,洪湖较差。但各市(县)人体舒适度同一等级百分比相差甚小;较舒适级别及以上各等级之间相差也很小,而不舒适级别占比最大,表明荆州6市(县)夏季均不舒适。

综上,该模型对荆州各市县舒适度的差异反映不够灵敏,申报天然氧吧和避暑旅游目的地时不便使用。

2.2 P模型应用分析

江苏省和江西省气象局^[21]及王雁等^[1]研究分析采用的人体舒适度模型(P模型)具有较高的预报准确率^[22]。其具体公式为

$$P = (1.8t + 32) - 0.55(1.8t - 26)(1 - f/100) - 3.2\sqrt{v},$$

式中: t 为气温($^{\circ}\text{C}$), f 为相对湿度(%), v 为风速(m/s)。将荆州各市(县)的1989—2018年30 a的夏季逐日气象要素值代入该模式,计算荆州各市县的人体舒适度指数,统计得到夏季平均的人体舒适度指数 P (表2)。

表2 1989—2018年荆州6市(县)夏季P模型舒适度指数
Tabel 2 Comfort index of P model in summer in six counties of Jingzhou from 1989 to 2018

县市	荆州	松滋	公安	石首	监利	洪湖
P值	75.51	75.72	76.16	75.66	76.54	76.51

从表2中可以看出,按江苏和江西及王雁等的等级划分标准(表3)荆州各地均属于偏热或微热,P模

表3 P模型的人体舒适度等级划分标准

Tabel 3 Classification standard of human comfort level of P model

等级	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十	十一
指数范围	≤0	0~25	26~38	39~50	51~58	59~70	71~75	76~79	80~85	86~89	≥90
感觉程度	极冷	很冷	冷	微冷/偏冷	较舒适	舒适	较舒适	微热/偏热	热	暑热	酷热

型分辨不出各地人体舒适度的差异,也不便使用。

3 J模型的建立与应用分析

3.1 人体舒适度模型改进(J模型)

上述两个模型是国内外学者通过对人体舒适度的多年分析研究得出的经典模型,但反映荆州各市县的人体舒适度不够灵敏。为了准确评判荆州6市(县)人体舒适度的差异,适应当前申报天然氧吧、避暑目的地的需要,有必要进行改进,建立灵敏的人体舒适度模型。

中国天然氧吧基本条件主要有:一是气候条件优越,一年中人居环境气候舒适度达“舒适”的月份不少于3个月;二是负氧离子含量较高,年平均浓度不低于1000个/cm³。三是空气质量好,一年中空气质量优良率不低于70%等。

避暑旅游目的地基本条件主要有:一是气候适宜,体感舒适,盛夏气候资源优良。二是生态环境优越,空气质量优良,拥有山地、草原、森林、湖泊湿地等优质的生态避暑资源等。

气温、相对湿度和风速三个因子对人体的生理和人的心理影响是同时进行的,根据环境卫生学,气温24℃、相对湿度70%和风速2 m/s,是夏季人体最舒适的气候条件^[23]。根据专家学者的研究结果和经验总结^[24-25],认为气温、相对湿度和风速三要素对人体舒适度影响的权重分配为0.60、0.20、0.20比较合理,由此建立改进的荆州夏季人体舒适度指数模型(以下简称J模型):

$$J = [(0.6(|t-24|) + 0.2(|f-70|) + 0.2(|v-2|)) - 1] \times 7,$$

式中: J 为综合舒适度指数; t 为气温(℃); f 为空气相对湿度(%); v 为风速(m/s);减1和乘7是为了拉开数据便于分档。这个模型能直观反映舒适度与环境卫生学人体最舒适气候条件的差距,即人体接近环境卫生学最舒适的程度,物理意义明确。根据改进模型进行等级划分时,既考虑荆州各市(县)的气候特征,也参考其他省气象局人体舒适度等级划分标准,将改进的人体舒适度模型评判等级划分为 $J \leq 18$ 为舒适; $18 < J \leq 23$ 为较舒适; $23 < J \leq 29$ 为较不舒适; $J > 29$ 为不舒适。采用上述综合舒适度指数计算公式,利用荆州1989—2018年30 a夏季逐日气象资料计算得到6市(县)的气候综合舒适度指数(表4)。

表4 1989—2018年荆州6市(县)夏季J模型舒适度指数

Tabel 4 Comfort index of J model in summer in six counties of Jingzhou from 1989 to 2018

县市	荆州	松滋	公安	石首	监利	洪湖
J值	21.1	17.2	22.3	23.7	23.5	22.0

根据改进的人体舒适度评判标准,从表4得到,夏季人体舒适度松滋为舒适,荆州、公安和洪湖为较舒适,石首和监利为较不舒适。表明松滋是荆州消暑避暑胜地,这个评判结果与2019年7月30日揭晓的首届湖北省避暑旅游目的地的投票结果吻合,当时荆州申报的有3个风景区:石首桃花山旅游风景区、松滋澧水风景区和洪湖生态旅游风景区,松滋澧水当选,表明改进的人体舒适度J模型评判结果与人们的体感是一致的,这可以作为松滋澧水入选首届湖北避暑旅游地的理论依据之一。说明这个模型和评判标准符合市民体感,具有适用性。

将改进的人体舒适度模型(J模型)与两个经典模型(D、P模型)计算出的舒适度情况进行对比(表1、表2、表4),D模型计算出同一地方的人体舒适度百分比很舒适、舒适和较舒适三项之和在50%左右,不舒适也在50%左右,各地评价结果均为不舒适;较舒适及以上等级和不舒适百分比差别很小,且各地的较舒适及以上等级百分比相差也很小,最小的相差0.0%,最大的相差7.2%;P模型计算结果各地人体舒适度指数相差最小为0.03,最大为1.03,差别也小,舒适度评价仅两种结果,为微热或偏热;J模型计算人体舒适度指数在17.2~23.7,各地差别相比D和P模型要大,评价结果有舒适、较舒适和较不舒适3个等级,由舒适到较不舒适依次是松滋、荆州、洪湖、公安、监利和石首,能够分辨出各市(县)人体舒适度的差别,方便申报天然氧吧和避暑目的地使用。并且从湖北首届避暑旅游目的地入围和评选结果看,J模型评判结果与其最相符,表明J模型较适用于荆州夏季人体舒适度预报、分析和评判。

总之,改进的人体舒适度模型(J模型)具有物理意义明确,分辨率高,评判结果符合市民体感等3个优势。

3.2 J模型的应用分析

3.2.1 改进模型在荆州市应用分析

用改进的人体舒适度模型计算荆州6市(县)

1989—2018年30 a平均各月人体舒适度指数(图1),并用其评判标准对各市(县)进行人体舒适度评价(表5)。由图1可知,荆州各市(县)一年12个月的人体舒适度指数均呈“W”型,1—3月和11—12月人体舒适度指数较大,4—10月人体舒适度指数较小。7月是个小峰值,各市县平均气温与最舒适气温24℃相差4.0~5.5℃。在6市(县)中,松滋人体舒适度指数各月最小,虽然各市(县)之间各月平均气温相差不到1℃,平均风速相差更是微乎其微,但是松滋各月平均相对湿度最小,最接近70%,从而导致松滋各月人体舒适度指数最小,相对其他各市(县)人体感觉最舒适。人体舒适度指数监测1—3月、6月、8—12月最大,石首4、5、7月最大,这是因为这两市在这几个月的平均气温和平均相对湿度距离最舒适气温和最舒适相对湿度最大。人体舒适度指数曲线松滋处于最底端,反映荆州6市(县)一年各月松滋人体舒适度指数最小,夏季舒适度指数最小反映盛夏舒适度最好。从松滋30 a逐日人体舒适度各等级累计日数的月分布图(图2)可以看出,松滋逐月舒适度等级为舒适的月分

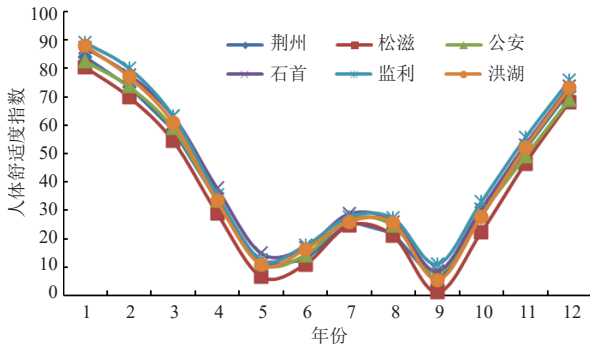


图1 1989—2018年平均荆州6市(县)人体舒适度指数月分布
Fig. 1 Monthly distribution of average human comfort index in six counties of Jingzhou from 1989 to 2018

表5 1989—2018年荆州6市(县)各月平均人体舒适度概况
Table 5 General situation of monthly average human comfort in six counties of Jingzhou from 1989 to 2018

月份	荆州	松滋	公安	石首	监利	洪湖
1月	不舒适	不舒适	不舒适	不舒适	不舒适	不舒适
2月	不舒适	不舒适	不舒适	不舒适	不舒适	不舒适
3月	不舒适	不舒适	不舒适	不舒适	不舒适	不舒适
4月	不舒适	较不舒适	不舒适	不舒适	不舒适	不舒适
5月	舒适	舒适	舒适	舒适	舒适	舒适
6月	舒适	舒适	舒适	舒适	舒适	舒适
7月	较不舒适	较不舒适	较不舒适	较不舒适	较不舒适	较不舒适
8月	较舒适	较舒适	较不舒适	较不舒适	较不舒适	较不舒适
9月	舒适	舒适	舒适	舒适	舒适	舒适
10月	较不舒适	较舒适	较不舒适	不舒适	不舒适	较不舒适
11月	不舒适	不舒适	不舒适	不舒适	不舒适	不舒适
12月	不舒适	不舒适	不舒适	不舒适	不舒适	不舒适

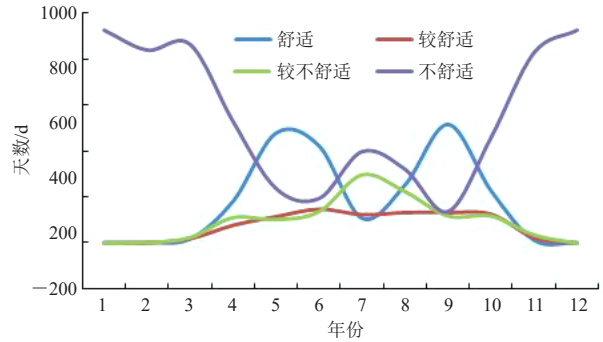


图2 1989—2018年松滋人体舒适度各等级天数月分布
Fig. 2 Monthly distribution of days at different levels of human comfort in Songzi from 1989 to 2018

布呈倒“W”型,其中5、6和9月舒适天数最多,冬季最少;较舒适天数逐月呈抛物线型分布,总体上较舒适天数是最少的,其中5—10月较多,冬季最少;较不舒适天数呈倒“V”型,7月较不舒适天数较多,仅次于不舒适天数,冬季最少;不舒适天数有8个月份较多,其中冬季不舒适天数最多。

由表5可知,从市(县)来看,荆州5、6、9月3个月舒适,8月较舒适,7、10月较不舒适,其他6个月均不舒适;松滋5、6、9月3个月舒适,8、10月较舒适,4、7月较不舒适,其他5个月不舒适;公安5、6、9月3个月舒适,7、8、10月较不舒适,其他6个月不舒适;石首5、6、9月3个月舒适,7、8月较不舒适,其他7个月不舒适;监利5、6、9月3个月舒适,7、8月较不舒适,其他7个月不舒适;洪湖5、6、9月3个月舒适,7、8、10月较不舒适,其他6个月不舒适。从月份来看,1—3月和11—12月5个月6市(县)均为不舒适,4月松滋较不舒适,其他市(县)均不舒适,5、6、9月3个月6市(县)均舒适;7月6市(县)均较不舒适,8月荆州和松滋较舒适,其他市(县)较不舒适,10月松滋较舒适,荆州、公安和洪湖较不舒适,石首、监利不舒适。人体舒适度指数表明荆州6市(县)中松滋舒适度最好。

综上,荆州市人体舒适度30 a概况,一年中6市(县)均有3个月为舒适,松滋还有2个月的较舒适期。表明荆州6市(县)人体舒适度满足申报中国天然氧吧的第一条——气候条件优越。其中,盛夏舒适度最好的是松滋,松滋是荆州最佳避暑旅游目的地,是消夏好去处。

3.2.2 改进模型在湖北省应用分析

用改进的人体舒适度模型计算代表鄂东南的咸宁、鄂东北的黄冈和孝感、江汉平原的荆州、鄂西南的宜昌和恩施、鄂西北的襄阳和十堰及武汉1990—2019年30 a平均各月人体舒适度指数,并用其评判标准对各区域进行人体舒适度评价。各区域一年12个

月的人体舒适度指数均呈“W”型,1—3月和11—12月人体舒适度指数较大,属于不舒适,这5个月人体舒适度与金琪等^[17]分析结果一致;5—10月人体舒适度指数较小,与孟丽霞等^[13]、谭波等^[14]、许善洋等^[15]分析结果大同小异,5月和9月是两个低谷,最舒适,与金琪等^[17]分析结果一致,7月是一个小峰值,鄂东北、江汉平原、武汉较不舒适,鄂西南、鄂西北、鄂东南较舒适,10月武汉人体舒适度较不舒适,与金琪^[17]分析的舒适结果不相同,武汉10月较不舒适的原因是近30 a月平均气温18.4℃,与环境卫生学最舒适气候条件相比,气温相差5.6℃、相对湿度相差5.9%、风速相差0.8m/s,特别是气温相差太多,相对湿度相差也较多,从而导致10月人体舒适度较不舒适。虽然个别月份与金琪等^[17]分析的舒适度等级结果不一致,但改进的人体舒适度模型计算和评价更符合气候变化及市民体感,表明改进的人体舒适度模型更具有适用性和推广应用价值。湖北5个区域及武汉各月人体舒适度指数最小的分别是1月鄂西北,2月江汉平原和鄂西北,3—5月及9—10月武汉,6月鄂西北,7月鄂西南和鄂西北,8月鄂西南,11月江汉平原和鄂东南,12月江汉平原。鄂西南7—8月人体舒适度指数最小说明鄂西南是湖北最佳避暑旅游目的地,是湖北消暑好去处。

总之,改进的人体舒适度模型在湖北省具有适用性和推广应用价值,用其分析表明鄂西南是湖北避暑胜地。

4 结论

利用荆州6个国家气象站1989—2019年夏季逐日平均气温、相对湿度、风速等气象资料,基于两个经典模型计算荆州市各县的人体舒适度指数并进行评判,建立荆州改进的夏季人体舒适度模型并确定人体舒适度评判标准,在湖北省进行适用分析,得到如下结论:

1) 两个经典人体舒适度模型计算出的荆州人体舒适度等级差别不大,灵敏度不高,不太适合荆州各地申报天然氧吧及避暑旅游目的地使用。

2) 根据改进人体舒适度模型,确定人体舒适度4级评判标准,能够灵敏地反映荆州各地人体舒适度状况。

3) 应用改进模型分析荆州市人体舒适度30 a概况,一年中6市(县)均有3个月为舒适期,荆州各地人体舒适度满足申报中国天然氧吧的第一条——气候条

件优越。

4) 鄂西南是湖北消暑避暑胜地,荆州的松滋与鄂西南毗邻,是荆州消暑避暑胜地。

5) 改进的人体舒适度模型计算方法简单,物理意义明确,具有一定的推广应用价值。

致谢:衷心感谢湖南省气象局专家戴泽军博士正研级高工的悉心指导和精心修改!

参考文献:

- [1] 王雁,吴宜进,朱江.湖北省旅游气候舒适度分析.华中师范大学学报(自然科学版),2009,43(1):171-176.
- [2] 张小泉,傅帅,杨知非,等.武义县气候舒适度变化及未来趋势分析.科技通报,2019,35(10):39-45.
- [3] 高超,申双和,蒋烨林,等.影响杭州人体舒适度的城市因素分析.气象,2019,45(6):854-861.
- [4] 桑友伟,孟蕾.1961—2017年岳阳人体舒适度变化特征分析.气象与环境科学,2020,43(1):52-58.
- [5] 李玉姣,杨云洁,张滨,等.不同天气条件下温湿对室内外人体舒适度的影响.气象科技,2015,43(6):1197-1202.
- [6] 吴滨,杨丽慧,刘京雄.基于不同温湿条件的福州市人体舒适度变化研究.气象科技,2015,43(6):1192-1196.
- [7] 胡琳,胡淑兰,苏静,等.陕西省人体舒适度变化及其对气象因子的响应.干旱区研究,2019,36(6):1450-1456.
- [8] 孙广禄,王晓云,章新平,等.京津冀地区人体舒适度的时空特征.气象与环境学报,2011,27(3):18-23.
- [9] 于庚康,徐敏,高萃,等.江苏冬夏季人体舒适度指数异常的背景场研究.气象,2012,38(5):593-600.
- [10] 魏学,石岚,谷新波.1960—2017年额济纳胡杨林观赏期旅游气候舒适度分析.沙漠与绿洲气象,2019,13(5):94-99.
- [11] 黄鹤楼,丁焯毅,涂小萍,等.城市化对宁波地区极端气温及人体舒适度的影响.干旱气象,2020,38(3):396-403.
- [12] 唐进时,申双和,华荣强,等.热气候指数评价中国南方城市夏季舒适度.气象科学,2015,3(6):769-774.
- [13] 孟丽霞,姚延峰,尹春,等.兰州市旅游气候舒适度与客流量关系分析.沙漠与绿洲气象,2017,11(5):89-94.
- [14] 张波,谭文,古书鸿,等.1961—2015年贵州省夏季旅游气候舒适度评价.干旱气象,2017,35(3):420-426.
- [15] 许善洋,石培宏,薛治国,等.甘肃省气候舒适度时空异质特征研究.沙漠与绿洲气象,2018,12(2):57-62.
- [16] 张莹,马敏劲,王式功,等.中国大陆九大名山风景区旅游气候舒适度评价.气象,2013,39(9):1221-1226.
- [17] 金琪,孟英杰.1960—2016年武汉城市圈人体舒适度变化特征.气象与环境学报,2017,33(6):82-88.
- [18] 郑有飞,尹继福,吴荣军,等.热气候指数在人体舒适度预报中的适用性.应用气象学报,2010,21(6):709-715.
- [19] 张院,寇文杰.模糊数学综合评判法中指标权重和算法的优先.人民黄河,2015,37(7):64-67.
- [20] 王雁,吴宜进,熊安元,等.湖北省夏季旅游气候舒适度模糊综合评判.贵州气象,2009,33(2):28-30.
- [21] 雷桂莲,喻迎春,刘志萍,等.南昌市人体舒适度指数预报.江西气象科技,1999,22(3):40-41.
- [22] 于庚康,徐敏,于莹,等.近30年江苏人体舒适度指数变化特征分析.气象,2011,37(9):1145-1150.
- [23] 杨尚英.旅游气象气候学.陕西:西北农林科技大学出版社,2007:142-146.
- [24] 郭在香,石凤云.四川省夏季气候舒适度的探讨.成都气象学院学报,1997,12(3):234-236.
- [25] 叶金印,田朝辉.城市发展对居民夏季舒适度影响的分析.浙江气象科技,2002,19(1):38-41.