Climate Change Research Letters 气候变化研究快报, 2024, 13(4), 966-972
Published Online July 2024 in Hans. https://www.hanspub.org/journal/ccrl
https://doi.org/10.12677/ccrl.2024.134110

泰安市人居环境气候舒适度特征分析

陈洪儒，李瑶瑶，高珂歆

泰安市气象局，山东 泰安

收稿日期：2024年6月12日；录用日期：2024年7月15日；发布日期：2024年7月22日

摘 要

基于1981~2023年泰安国家气象站气温、相对湿度、风速、日照时数等逐日观测资料，利用人体舒适度气象指数、温湿指数、风效指数作为气候舒适度评价指标，分析了泰安市人居环境气候舒适度特征。结果表明：泰安市夏季平均气温适宜，高温日数少，早晚温差较大。夏季到初秋阶段降水较多，湿润宜人，轻风有利于体表散热。综合三种舒适度指数，泰安市5~9月的气候条件能达到“大部分人舒适”等级，冬半年整体感觉偏冷，舒适度较差。

关键词

泰安，人居环境，气候舒适度，气候特征

Analysis of Climate Comfort Characteristics of Living Environment in Tai’an City

Hongru Chen, Yaoyao Li, Kexin Gao

Tai’an Meteorological Bureau, Tai’an Shandong

Received: Jun. 12th, 2024; accepted: Jul. 15th, 2024; published: Jul. 22nd, 2024

Abstract

Based on the data of daily air temperature, relative humidity, wind speed and sunshine hours of Tai’an National Meteorological Station from 1981 to 2023, the characteristics of climate comfort of human habitation in Tai’an City were analyzed by using the temperature humidity index, wind efficiency index and human comfort index as comfort evaluation indexes. The results show that the average temperature of Tai’an city in summer is suitable, the number of high temperature days is small, and the temperature difference between morning and evening is large. From summer to early autumn, there is more precipitation, pleasant humidity, and light wind is conducive to body surface heat dissipation. According to the three comfort indexes, the climatic conditions of Tai’an

文章引用: 陈洪儒, 李瑶瑶, 高珂歆. 泰安市人居环境气候舒适度特征分析[J]. 气候变化研究快报, 2024, 13(4): 966-972.
DOI: 10.12677/ccrl.2024.134110

city from May to September can reach the level of "most people's comfort", and the overall feeling is cold and the comfort level is poor in the winter half year.

Keywords

Tai'an, Living Environment, Climate Comfort, Climatic Characteristics

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).
http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Open Access

1. 引言

人居环境是人群聚居和生活生产的主要场所，气候条件是影响人居环境和人类活动的重要因素[1][2]。气候舒适度是评价温度、湿度、风速、光照等气象要素对人体舒适程度影响的生物气象指标[3]。随着全球气候变化，人们对生活环境质量的要求越来越高，气候舒适度的季节分布特征及年均舒适日数已成为衡量宜居宜游城市的重要因素。因此开展气候舒适度评价，可为城市人居环境规划、建设、管理等提供参考依据[4] [5]。国内外有关气候舒适度的研究已有近百年历史，我国的气候舒适度研究从上世纪80年代开始，近几十年来我国学者应用国外的气候舒适度模型开展了一系列研究工作，其中应用温湿指数、风效指数等最为广泛[6]。当前国内很多城市开展了人居环境气候适宜性评价：张清华等[7]基于三十年气象资料，应用温湿指数、风效指数和综合舒适度指数，对梅州市区的人居环境气候舒适度进行分析。蒋志等[8]分析了北京西部地区气候变化及气候舒适度特征。杨文海等[9]利用固原市四个国家气象站的三十年气象资料，计算温湿指数和风效指数，对固原市人居环境气候舒适度开展评价。山东也有一定量关于气候舒适度的研究，朱保美等[10]利用五十年气象资料，分析了山东省十七个地市人居环境气候舒适度的时空分布。戚九寒[11]通过计算济宁市旅游气候舒适度分析出当地适合旅游的季节。而对泰安市人居环境气候舒适度评价的研究很少。本文从气候资源的角度对泰安市气候特征进行分析，通过计算舒适度指数和"舒适"日数，客观分析泰安市人居环境气候适宜性，为促进城市宜居生态建设和旅游产业发展提供科学依据。

2. 资料和方法

2.1. 区域概况及气象资料

泰安市是我国优秀旅游城市和历史文化名城，位于山东省中部的泰山南麓，属于暖温带大陆性半湿润季风气候区，四季分明，寒暑适宜，光温同步，雨热同季。春季干燥多风，夏季炎热多雨，秋季晴和气爽，冬季寒冷少雪。常年平均气温13.7℃，7月份最高，1月份最低。常年平均降水量691.7 mm，夏季降水最多，冬季最少。常年平均日照时数2385.8 h。

所用气象资料为泰安国家气象站1981~2023年气温、降水量、日照时数、风速、相对湿度的逐日观测数据。用以对比的气象资料包括气温、气温日较差、降水量、相对湿度、风速、日照时数的月均值及历年高温日数。指数分析包括对温湿指数、风效指数、人体舒适度气象指数的分析。

2.2. 温湿指数和风效指数

温湿指数描述了在外界环境温度、湿度的综合作用下人所产生的冷热感觉。风效指数描述了人体对

风、温度和日照综合感受的指数，反映体表与外界环境之间的热交换。根据《人居环境气候舒适度评价》(GB/T 27963-2011) [12]的规定，温湿指数、风效指数计算公式见式(1)、(2)：

$$\mathrm{I} = \mathrm{T} - 0.55 \times (1 - RH) \times (\mathrm{T} - 14.4) \tag{1}$$

$$\mathrm{K} = -\left(10 \times \sqrt{\mathrm{V}} + 10.45 - \mathrm{V}\right) \times (33 - \mathrm{T}) + 8.55 \times S \tag{2}$$

式中，I 为温湿指数，K 为风效指数；T 为评价时段平均气温，单位为℃；RH 为评价时段空气相对湿度，用百分数表示；V 为评价时段平均风速，单位为 m/s；S 为评价时段日照时数，单位为 h。温湿指数和风效指数对应的等级范围和描述见表 1。

当两种指数不一致时，风效指数适用于冬半年(10 月~次年 3 月)，温湿指数适用于夏半年(4~9 月)。评价时段平均风速大于 3 m/s 的地区使用风效指数。

Table1. Classification of temperature humidity index and wind efficiency index
表 1. 温湿指数和风效指数等级划分

等级	温湿指数		风效指数	
	人体感觉程度	范围	范围	人体感觉程度
1	寒冷	<14.0	<−400	感觉寒冷，不舒服
2	冷	[14.0, 16.9]	[−400, −300]	偏冷，较不舒服
3	舒适	[17.0, 25.4]	[−299, −100]	感觉舒服
4	热	[25.5, 27.5]	[−99, −10]	有热感，较不舒服
5	闷热	>27.5	>−10	闷热难受，不舒服

2.3. 人体舒适度气象指数

人体舒适度气象指数是根据人体与周围环境之间的热交换而制定的生物气象指标，评价在不同气候条件下人的舒适感。采用国家标准《气候宜居指数》(GB/T 42072-2022)) [13]计算人体舒适度气象指数：

$$\mathrm{BCMI} = (1.8 \times \mathrm{T} + 32) - 0.55 \times (1 - \mathrm{RH}) \times (1.8 \times T - 26) - 3.2 \times \sqrt{V} \tag{3}$$

式中，BCMI 为人体舒适度气象指数，对应的等级范围和描述见表 2。T 为某一时段平均气温，单位为℃；RH 为某一时段空气相对湿度，单位为百分数；V 为某一时段平均风速，单位为 m/s。

Table 2. Classification of human comfort index
表 2. 人体舒适度指数分级表

BCMI	分级	人体感觉程度
≥90	10	酷热，很不舒适
[86, 89]	9	暑热，不舒适
[80, 85]	8	炎热，大部分人不舒适
[76, 79]	7	闷热，少部分人不舒适
[71, 75]	6	偏热，大部分人舒适
[59, 70]	5	最为舒适
[51, 58]	4	偏凉，大部分人舒适
[39, 50]	3	清凉，少部分人不舒适
[26, 38]	2	较冷，大部分人不舒适
[0, 25]	1	寒冷，不舒适

以时间 t 为自变量，要素 Y 为因变量，采用一元线性回归方程描述气象要素的变化趋势，即 Y = at +

b，其中，a 值的正、负反映增加或减少的变化趋势，a × 10 为气候线性倾向率。

3. 结果分析

3.1. 气候特征分析

泰安市多年各月平均气温和日较差变化趋势如图 1 所示。1 月达到全年最低气温，多年平均气温为−1.4℃，7 月达到全年最高气温，多年平均气温为 26.6℃。43 年来泰安市高温日数(日极端最高气温 ≥35℃)的多年平均值为 6.7d。从气温日较差的月平均分布特征可以看出，泰安全年气温日较差较大；7、8 月气温日较差最小，多年平均值分别为 8.7℃和 9.0℃，4、5 月份气温日较差最大，多年平均值均为 12.3℃。泰安市夏季平均气温适宜，高温日数少，早晚温差较大，适宜避暑旅游。

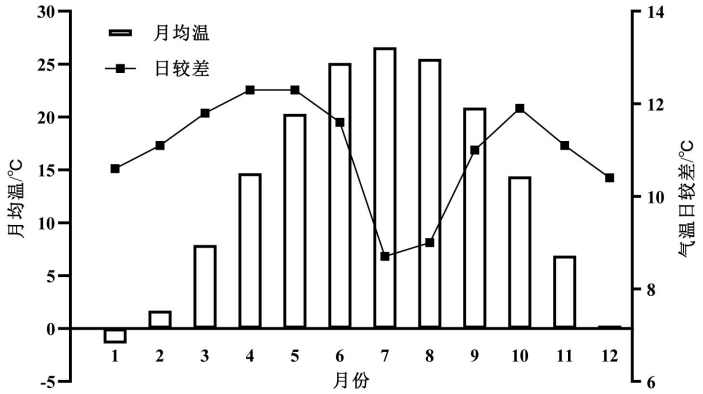

Figure 1. The monthly daily temperature variation and monthly average temperature in Tai'an from 1981 to 2023
图 1. 1981~2023 年泰安市月均温和气温日较差

泰安市多年平均降水量和相对湿度的月分布特征如图 2 所示，可以看出年内降水分布极不均匀，有明显的雨热同期特征，各月降水量和相对湿度的分布相似。6~9 月降水最为充沛，空气最为湿润，平均降水量为 68.1~208.7 mm，平均相对湿度为 62~80%，其他月份降水稀少，空气较为干燥。寒冷季节相对湿度较低，人体感觉更舒适[14]。泰安市夏季到初秋的降水量和空气湿度较高，气候湿润宜人，冬季和初春降水量少、空气湿度较低，有利于减少人体的湿冷感。

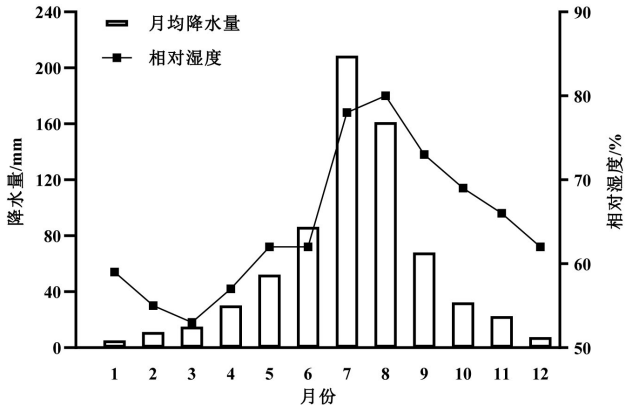

Figure 2. Monthly average precipitation and relative humidity in Tai'an City from 1981 to 2023
图 2. 1981~2023 年泰安市月平均降水量和相对湿度

泰安市多年各月平均风速如图 3 所示，可以看出泰安市春季风速明显高于其他季节，夏秋季风速处于较低水平，7~10 月平均风速稳定在 2 m/s 左右。泰安地区春季早晚偏凉、风速较大会增加人体寒冷感，而夏季和初秋季节适度的风有利于体表散热，缓解炎热。

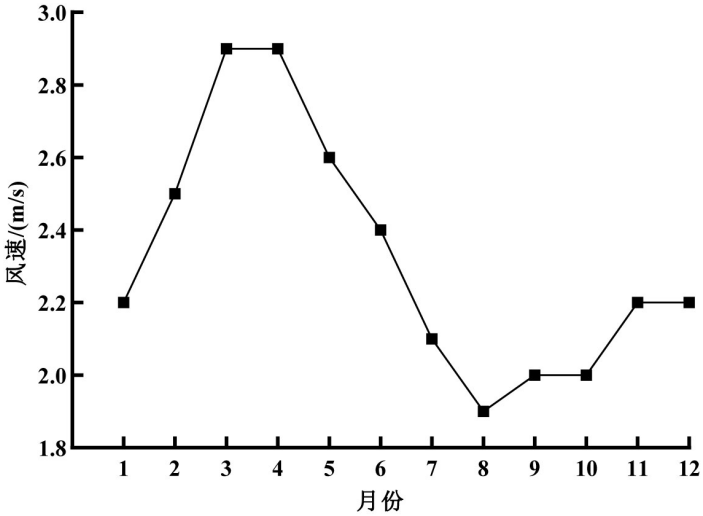

Figure 3. Monthly average wind speed in Tai'an City from 1981 to 2023
图 3. 1981~2023 年泰安市月平均风速

3.2. 气候舒适度特征分析

用泰安市 1981~2023 年的逐日气象观测数据，根据公式(1)、(2)、(3)计算三项指数逐日值，得出其气候月平均分布值。图 4(a)、图 5(a)、图 6(a)显示了泰安市温湿指数、风效指数、人体舒适度指数的多年月均值特征。

泰安市温湿指数月均值如图 4(a)所示，5~9 月是最为“舒适”的月份，温湿指数为 19.0~25.1。其他月份的温湿指数均小于 17，对应“冷”或者“寒冷”。温湿指数描述了热应力区气温和湿度共同作用对人体舒适感的影响，主要用于夏季对宜居气候条件的评价[5]。从温湿指数来看，泰安市夏半年宜居性较好，对大多数人来说是体感舒适、无闷热不适的宜人气候。

泰安市风效指数月均值如图 5(a)所示，人体感觉最舒服的月份是 5 月、6 月、8 月、9 月，对应数值为−226~−108。7 月风效指数为−89，人体“有热感，较不舒服”。1~3 月和 11~12 月的风效指数均小于−400，人体“感觉寒冷，不舒服”。4 月和 10 月的风效指数分别为−374 和−355，人体“偏冷，较不舒服”。风效指数描述了冷应力区皮肤表面在风速和温度作用下热量交换的程度，主要用于对冬季宜居气候条件的评价[5]。从风效指数来看，泰安市冬半年宜居性较差，对大多数人来说体感寒冷不舒适的持续时间较长。

人体舒适度指数月均值如图 6(a)所示，人体感觉“最为舒适”的月份是 5 月、6 月、9 月，对应数值为 61~68。7 月、8 月数值分别为 73 和 71，人体感觉偏热但大部分人舒适，10~12 月和 1~4 月数值为 31~54，对应等级为“较冷，大部分人不舒适”~“偏凉，大部分人舒适”。

图 4(b)、图 5(b)、图 6(b)显示了泰安市 3 项指数达到“最舒适”等级的年平均气候日数和气候线性变化趋势。1981~2023 年，泰安市温湿、风效和人体舒适度指数达到“最舒适”年均气候日数分别为 131、108 和 99 d，气候线性倾向率分别为 0.51、0.48 和−0.27 d·(10 a)$^{-1}$，三项指数呈缓慢增加或减少的年际变化趋势，每 10 年增加或减少不足 1 d。

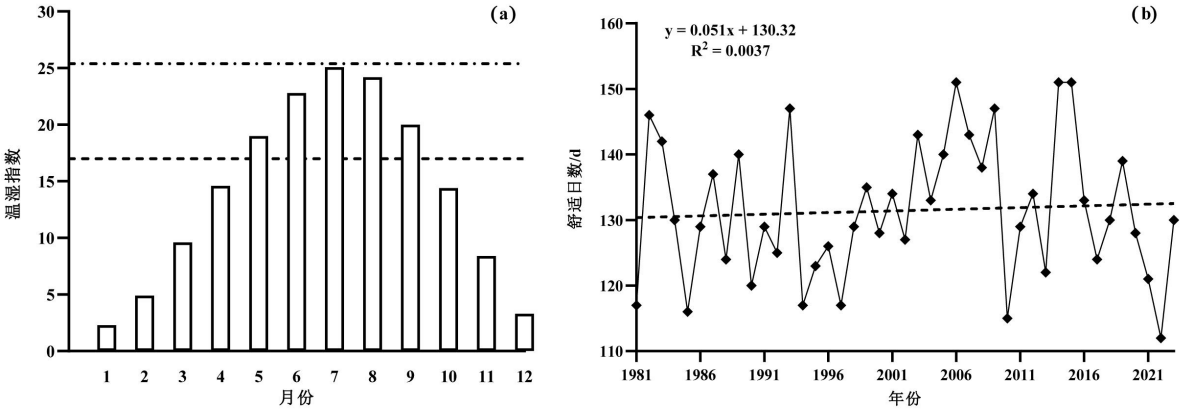

Figure 4. Monthly temperature humidity index and annual number of "comfortable" days in Tai'an City from 1981 to 2023
图 4. 1981~2023 年泰安市逐月温湿指数和全年"舒适"日数

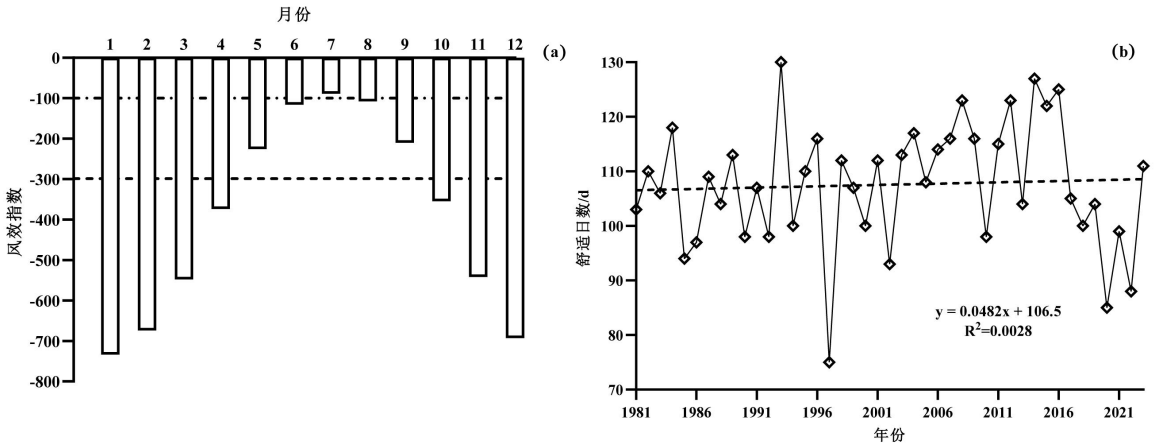

Figure 5. Monthly wind efficiency index and annual number of "comfortable" days in Tai'an City from 1981 to 2023
图 5. 1981~2023 年泰安市逐月风效指数和全年"舒适"日数

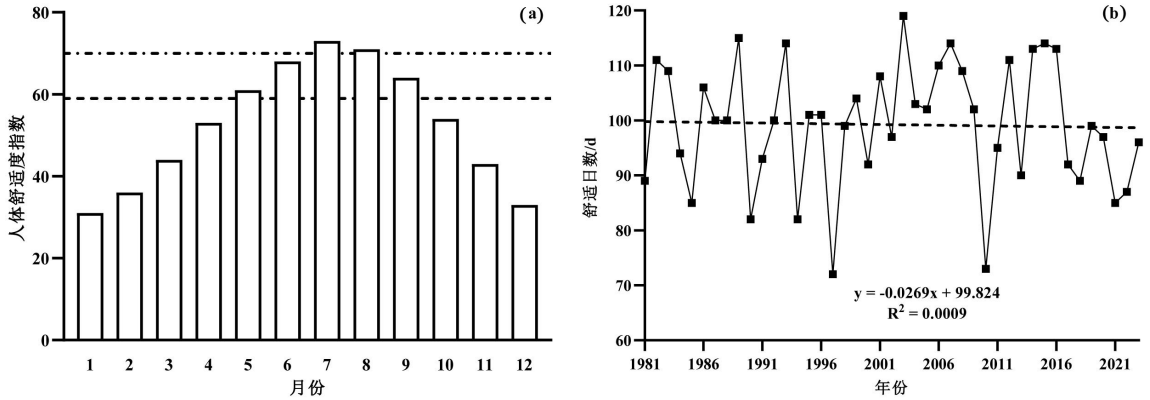

Figure 6. Monthly human comfort index and annual number of "comfortable" days in Tai'an City from 1981 to 2023
图 6. 1981~2023 年泰安市逐月人体舒适度指数和全年"舒适"日数

4. 结论与讨论

综合结果分析，得出以下几个结论：

(1) 泰安市夏季多年平均气温适宜，7 月达到全年最高气温，多年平均值为 26.6℃，夏季高温日数的多年平均值为 6.7 d，全年气温日较差较大。泰安市雨热同期特征明显，6~9 月降水最为充沛，空气湿度最大，夏秋季平均风速处于较低水平。因此，泰安市夏季平均气温适宜，高温日数少，早晚温差较大。夏季到初秋阶段降水较多，湿润宜人，轻风有利于体表散热，适宜在夏季至初秋季节开展旅游度假活动。

(2) 综合冬半年风效指数和夏半年温湿指数，近 43 年来泰安市人居环境气候舒适度指数等级为 1~3 级(寒冷~舒适)，而根据人体舒适度指数对应的等级为 2~6 级(较冷~偏热)。综合三种舒适度指数月均值，无“闷热，不舒适”等级，5~9 月泰安市的气候条件能达到“大部分人舒适”等级，冬半年整体感觉偏冷，舒适度较差，与柏秦凤等[15]对我国旅游城市适宜旅游度假月份的研究结论一致。

(3) 1981~2023 年，泰安市温湿、风效和人体舒适度指数达到全年“最舒适”等级的天数均在 3 个月以上，呈现温湿 > 风效 > 人体舒适度的结果，3 项人居指标的气候线性变化幅度均较小。

气候舒适度决定一个城市人居环境是否舒适，直接影响人口分布密度[5] [10]。本文研究结论可为泰安市人居环境规划及管理、旅游资源开发、生产活动开展等提供依据。计算人居环境气候舒适度指数时，本文仅考虑了气候条件，未考虑地形、水体、植被等小气候影响以及太阳辐射、空气质量等因素的影响，需要进一步深入研究。

参考文献

[1] 唐焰, 封志明, 杨艳昭. 基于栅格尺度的中国人居环境气候适宜性评价[J]. 资源科学, 2008, 30(5): 648-653.

[2] 蒲金涌, 姚小英. 甘肃省主要城市人居气候舒适性评价[J]. 资源科学, 2010, 32(4): 679-685.

[3] 王艺, 蓝求, 张凌云, 等. 近 30 年柳州市旅游气候舒适度评价[J]. 气象研究与应用, 2018, 39(2): 48-51, 145.

[4] 袁家峰, 黄俊, 张荣, 等. 曲靖城区人居环境气候舒适度评价分析[J]. 云南大学学报: 自然科学版, 2017, 39(S1): 77-82.

[5] 朱涯, 杨鹏武, 段长春, 等. 普洱市宜居气候适宜性分析[J]. 气象与环境科学, 2018, 41(2): 37-42.

[6] 闫业超, 岳书平, 刘学华, 等. 国内外气候舒适度评价研究进展[J]. 地球科学进展, 2013, 28(10): 1119-1125.

[7] 张清华, 马夏妮, 韦武. 梅州城区人居环境气候舒适度评价[J]. 广东气象, 2017, 39(3): 57-59.

[8] 蒋志, 李栋, 韩立峰, 等. 北京西部地区气候变化及气候舒适度特征分析[J]. 内蒙古气象, 2023(1): 25-30.

[9] 杨文海, 陈炜, 景博. 固原市人居环境气候舒适度分析[J]. 陕西气象, 2023(1): 62-66.

[10] 朱保美, 周清, 李旭旭, 等. 山东省 17 地市人居环境气候舒适性评价[C]//第 35 届中国气象学会年会 S11 城市气象与环境——第七届城市气象论坛. 2018: 579-589.

[11] 戚九寒. 济宁市旅游气候资源及舒适度分析[J]. 科技与创新, 2023(15): 146-148.

[12] 中华人民共和国国家质量等级监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. (GB/T 27963-2011)人居环境气候舒适度评价[S]. 北京: 中国标准出版社, 2011.

[13] 国家气候中心, 南京信息工程大学, 福建省气候中心. GB/T 42072-2022 气候宜居指数[S]. 北京: 中国标准出版社, 2022.

[14] 张运, 陈蕾, 王卫民, 等. 基于人体舒适度的商洛市气候康养旅游评价[J]. 陕西气象, 2020(3): 31-35.

[15] 柏秦凤, 霍治国, 贺楠, 等. 中国 20 座旅游城市人体舒适度指数分析[J]. 生态学杂志, 2009, 28(8): 1607-1612.