

近60a丽江人体舒适度指数变化特征

陶 钰*, 韩 琳#, 林静薇, 楚茹茵, 吴振亚, 肖国杰

成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都

收稿日期: 2024年10月25日; 录用日期: 2024年11月20日; 发布日期: 2024年11月28日

摘 要

本文利用丽江站1960~2019年逐日平均气温、相对湿度资料, 统计分析了丽江市近60a人体舒适度指数的等级分布特征, 利用线性趋势研究人体舒适度指数的年际变化特征和季节变化特征。研究结果表明: (1) 丽江市人体舒适度指数等级在2~6级间变化, 主要集中在3~5级, 其中舒适度4级日数最多, 在全年1~12月中均有出现, 舒适度5级日数次之; (2) 丽江市最舒适的月份为5~9月, 其次为2~4月、10~11月, 最不舒适的月份为1月、12月; (3) 1960~2019年丽江年均人体舒适度指数存在非常显著的上升趋势, 线性趋势为0.30/10a, 于2019年达到最高值, 人体舒适度指数平均值为56.22, 属于舒适度4级; (4) 丽江地区四季的人体舒适度指数从高到低为夏季、春季、秋季、冬季, 四季的人体舒适度指数均存在显著的上升趋势, 其中冬季的上升趋势最明显, 线性趋势达到0.40/10a, 春、夏季次之, 秋季最低。

关键词

人体舒适度, 温湿指数, 气候变化, 丽江

Characteristics of Human Comfort Index Changes in Lijiang in the Recent 60 Years

Yu Tao*, Lin Han#, Jingwei Lin, Ruyin Chu, Zhenya Wu, Guojie Xiao

School of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu Sichuan

Received: Oct. 25th, 2024; accepted: Nov. 20th, 2024; published: Nov. 28th, 2024

Abstract

Based on the daily average temperature and relative humidity data of Lijiang Station from 1960 to 2019, this paper analyzed the grade distribution characteristics of Human Comfort Index in Lijiang City in the past 60 years, and used the linear trend to study the interannual and seasonal

*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 陶钰, 韩琳, 林静薇, 楚茹茵, 吴振亚, 肖国杰. 近 60a 丽江人体舒适度指数变化特征[J]. 气候变化研究快报, 2024, 13(6): 1676-1681. DOI: 10.12677/ccrl.2024.136180

variation characteristics of Human Comfort Index. The results showed that: (1) The Human Comfort Index in Lijiang City ranges from level 2 to level 6, predominantly falling within levels 3 to 5, among which the number of days with comfort level 4 was the largest, which appeared from January to December throughout the year, followed by the number of days with comfort level 5; (2) The most comfortable months in Lijiang are from May to September, followed by February to April and October to November, and the most uncomfortable months are January and December. (3) From 1960 to 2019, the average annual Human Comfort Index in Lijiang had a very significant upward trend, with a linear trend of 0.30/10a, reaching the highest value in 2019, and the average Human Comfort Index was 56.22, corresponding to comfort level 4. (4) The Human Comfort Index in Lijiang area from high to low in summer, spring, autumn and winter, and there was a significant upward trend in the four seasons, among which the upward trend was the most obvious in winter, with a linear trend of 0.40/10a, followed by spring and summer, and the lowest in autumn.

Keywords

Human Comfort Index, Temperature Humidity Index, Climate Change, Lijiang

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

人体舒适度是以人类机体与近地大气之间的热交换原理为基础,从气象学角度评价人类在不同天气条件下舒适感的一项生物气象指标,其在城市环境气象服务中具有重要地位[1]。气象要素通过多种机制作用于人与环境的热交换,从而影响人体舒适度。国外学者对于气象条件与人体舒适度关系的研究起步较早, Houghton 等[2]于 1923 年首先从建筑角度提出对热舒适研究具有深远影响的有效气温指数; Brunt [3]在 1945 年首先建立了气候与人体舒适度之间的关系,阐明了各气候因子对人体舒适度的影响,使人体舒适度这一课题逐渐受到重视;此后,各种人体舒适度模型迅速发展,如体感气温舒适指数、风效指数、温湿指数等[4]-[6]。而我国对于人体舒适度的研究从 20 世纪 80 年代中期开始起步,如陆鼎煌等[7]综合考虑气温、相对湿度、风速对人体舒适度的影响;范业正等[8]运用温湿指数和风效指数测算了中国海滨旅游的气候适宜性;李馥丽等[9]采用温湿指数、风寒指数和着衣指数指标对陕西省各地区各月旅游气候舒适度进行分析。目前,各地也陆续开展了关于人体舒适度特征及区划研究,如甘肃、安徽、江苏、青海、京津冀地区、青藏高原地区[10]-[15]以及针对全国[16]的人体舒适度特征的分析。

丽江位于滇西北高原地区,地处青藏高原和云贵高原的交界地区,属于亚热带季风气候,四季分明,水利条件较好。作为享誉全球的世界自然遗产地,丽江不仅是国内外知名的生态休闲与度假旅游胜地,还承载着古代南方丝绸之路与茶马古道的历史文化重量,其旅游价值与文化底蕴深厚。因此,深入探究丽江地区人体舒适度随时间变化的特征,不仅对于科学合理地开发丽江的旅游气候资源优势、促进旅游业的可持续发展具有深远意义,同时也为气象部门精准提供旅游气象服务奠定了坚实的理论基础。此外,这一研究还将有助于提升日常气象环境指数的预测精度,为公众出行、旅游活动规划及健康防护提供更为科学的参考依据,进一步彰显丽江作为旅游目的地的独特魅力与气象服务的精细化水平。

2. 数据和方法

选取 1960~2019 年丽江市气象观测站逐日平均气温和相对湿度的资料，利用温湿指数分析人体舒适度指数。人体舒适度指数计算公式如下：

$$I = T - 0.55(1 - RH)(T - 58)$$

式中，T 为华氏气温(°F)，RH 为相对湿度(0.01)。其中， $T(^{\circ}\text{F}) = T(^{\circ}\text{C}) \times 9/5 + 32$ 。依据计算结果，建立丽江地区人体舒适度指数的等级范围及其对应的感觉程度。如表 1 所示。

Table 1. Classification of human comfort index levels

表 1. 人体舒适度等级划分

等级	指数范围	服务用语
1 级	$I < 25$	寒冷，感觉极不舒适
2 级	$25 \leq I < 40$	冷，感觉不舒适
3 级	$40 \leq I < 50$	偏冷或较冷，大部分人感觉不舒适
4 级	$50 \leq I < 60$	偏凉或凉，部分人感觉不舒适
5 级	$60 \leq I < 70$	普遍感觉舒适
6 级	$70 \leq I < 75$	偏热或较热，部分人感觉不舒适
7 级	$75 \leq I < 80$	热，感觉不舒适
8 级	$80 \leq I < 85$	闷热，感觉很不适
9 级	$I \geq 85$	极热，感觉极不舒适

3. 结果与分析

3.1. 人体舒适度的等级分布

通过人体舒适度计算公式计算 1960~2019 年丽江市逐日人体舒适度指数，并按照表 1 对人体舒适度指数进行等级划分，统计各等级出现日数占总日数的比例。统计结果表明(图 1(a))，丽江市人体舒适度指数变动范围介于 2 级至 6 级之间，涵盖了冷、偏冷、偏凉、舒适、偏热等五个等级，寒冷、热、闷热、极热等级未在统计期间出现。丽江人体舒适度等级分布主要集中在 3~5 级，三者总占比为 99.42%，其中，舒适度 4 级占比最多，为 41.76%，属于偏凉或凉，部分人感觉不舒适；舒适度 5 级占比第二，为 36.30%，属于普遍感觉舒适；舒适度 3 级占比第三，为 21.36%，属于偏冷或较冷，大部分人感觉不舒适。舒适度 2 级、舒适度 6 级占比较少，分别为 0.52%、0.05%。总体而言，丽江主要表现出偏凉的舒适度特征，绝大部分时间都处于较为宜人的气候状态。

通过统计 1960~2019 年丽江市逐月各等级人体舒适度指数的分布(图 1(b))，可以得出：舒适度 2 级少量出现在 1~3 月、11 月~12 月，相对集中于 1 月、12 月；舒适度 3 级出现在 1~5 月、9~12 月，以 1~2 月、11~12 月为主；舒适度 4 级在全年中均有出现，主要集中于 2~5 月、9~11 月；舒适度 5 级在 3~10 月均有出现，集中分布在 5~9 月；舒适度 6 级则较为罕见，仅在盛夏的 6 月至 7 月偶有出现。丽江市 5~9 月呈现出普遍感觉舒适的人体舒适度特征，2~4 月、10~11 月主要呈现出偏凉或凉、部分人感觉不舒适的人体舒适度特征，1 月、12 月主要呈现出偏冷、大部分人感觉不舒适的人体舒适度特征。

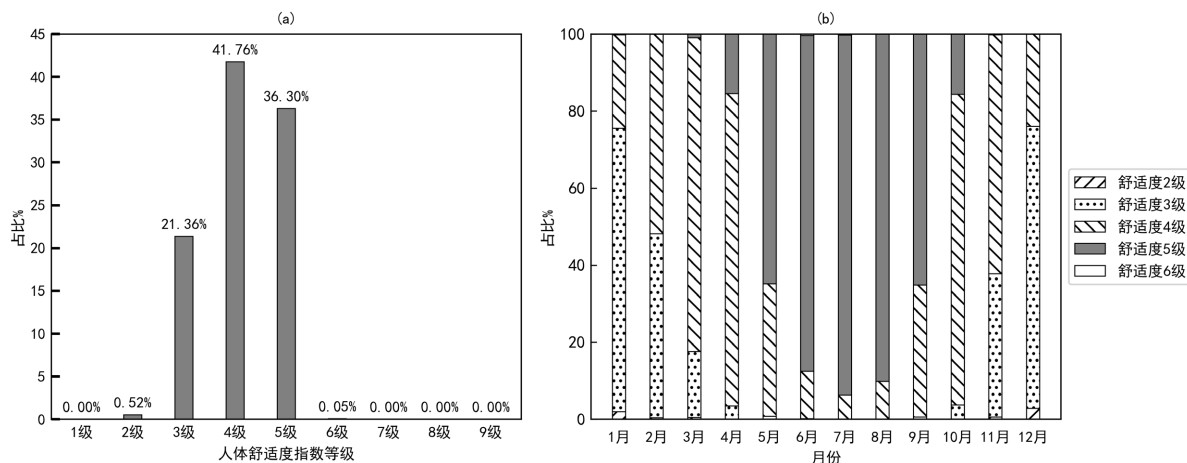


Figure 1. Distribution of human comfort index levels from 1960 to 2019

图 1. 1960~2019 年人体舒适度指数等级分布

3.2. 人体舒适度指数年际变化特征

1960~2019 年丽江年平均人体舒适度指数的气候倾向率为 $0.30/10a$ (图 2), 通过了 $\alpha = 0.01$ 的显著性水平检验, 表明丽江近 60 年来的年平均人体舒适度指数显著升高。在此期间, 丽江地区的年均人体舒适度指数范围为 54~58, 平均值为 56.22, 舒适度等级为 4 级, 属于偏凉或凉, 部分人感觉不舒服, 其中 1992 年人体舒适度指数达到最低值 54.49, 2019 年达到最高值 57.95。1994 年以前, 多数年份的人体舒适度指数低于平均值; 1994~2004 年的人体舒适度指数在平均值上下波动; 2004 年以后, 绝大多数年份的人体舒适度指数高于平均值。

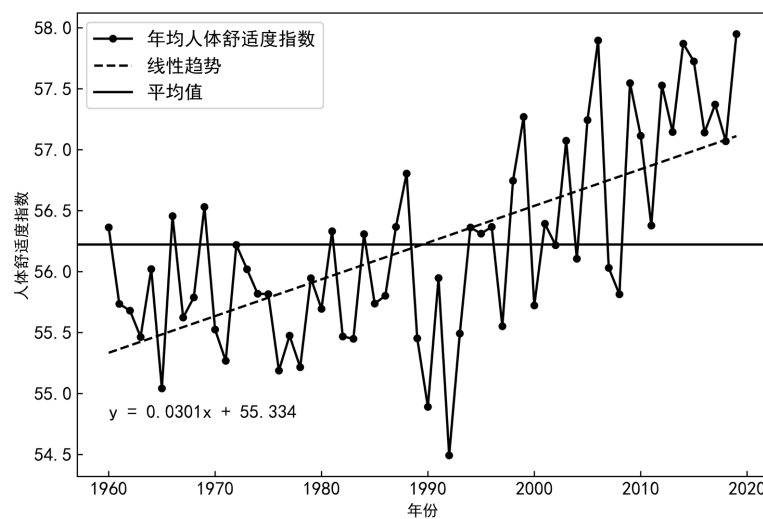


Figure 2. Interannual variation of human comfort index in Lijiang from 1960 to 2019

图 2. 1960~2019 年丽江地区人体舒适度指数的年际变化

3.3. 人体舒适度指数季节变化特征

分析丽江 1960~2019 年人体舒适度指数四季的变化趋势(图 3)可知, 春、夏、秋、冬四个季节人体舒适度指数的变化范围分别为: 53~60、62~66、53~58、44~52。其中, 夏季的人体舒适度指数最高, 而冬

季最低。通过比较 4 个季节的人体舒适度总体演变趋势可知, 4 个季节的人体舒适度指数均有显著的上升趋势, 均通过了 $\alpha=0.05$ 的显著性水平检验, 其中冬季的上升趋势最为明显, 线性趋势为 $0.40/10a$, 春季和夏季的上升趋势较为接近, 分别为 $0.30/10a$ 、 $0.28/10a$, 秋季的线性趋势则明显低于其他季节, 仅为 $0.22/10a$ 。四个季节的人体舒适度指数均存在明显的年际变化, 其中冬季波动振幅最大, 春季波动振幅次之, 夏季波动振幅最小。丽江地区春季人体舒适度指数在 1990 年存在一个明显的低值点, 人体舒适度指数低于 54; 而冬季人体舒适度指数分别在 1982 年、1992 年、1993 年出现明显的低谷, 指数范围为 44~46, 舒适度等级为 3 级, 大部分人感觉不舒服。

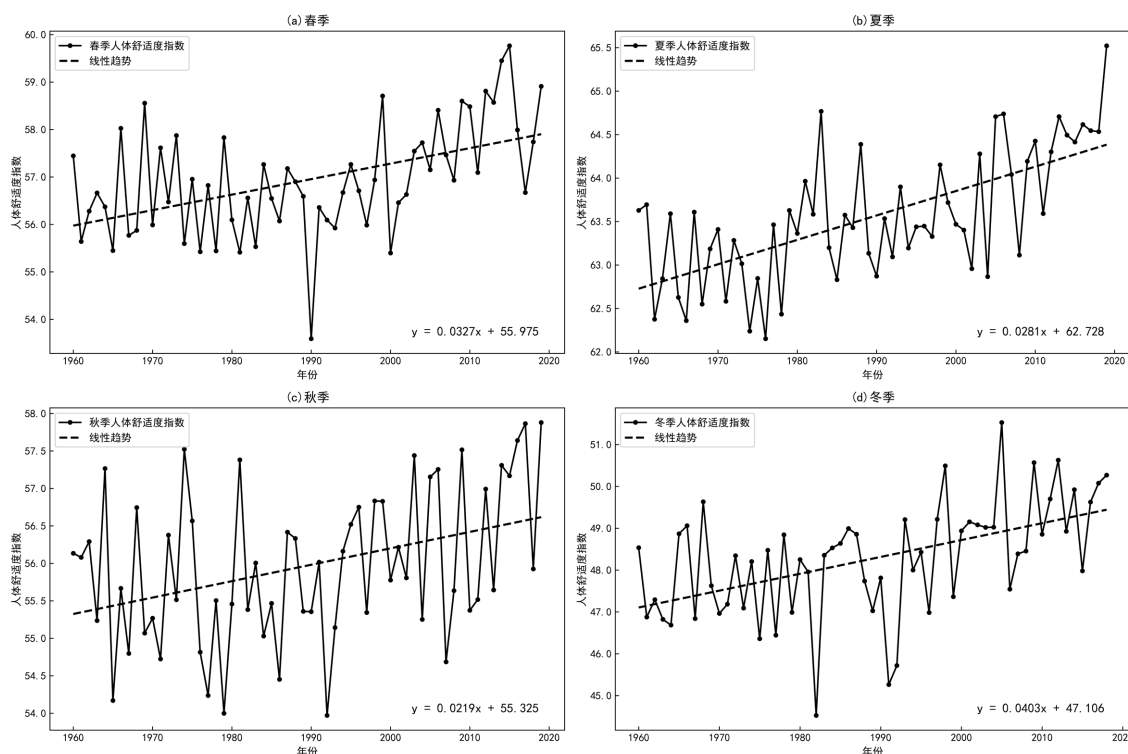


Figure 3. Annual changes in Lijiang's seasonal comfort index from 1960 to 2019

图 3. 1960~2019 年丽江地区四季人体舒适度指数的年际变化

4. 结论

本文以丽江 1960~2019 年逐日气温、相对湿度为基础, 统计分析丽江地区人体舒适度指数的等级分布特征, 利用线性趋势研究丽江地区人体舒适度指数的时间变化特征, 得出以下结论:

(1) 丽江地区的人体舒适度等级在 2 至 6 级之间波动, 主要集中在舒适度 3~5 级, 总体呈现出以偏凉为主的舒适度特征。其中舒适度 4 级日数最多, 在全年 1~12 月中均有出现; 舒适度 5 级日数次之, 集中出现在 5~9 月; 舒适度 3 级日数相对较少, 主要出现在 1~2 月、11 月~12 月; 舒适度 2 级日数少量出现在 1~3 月; 舒适度 6 级日数最少, 在 6~7 月偶有出现。

(2) 丽江市最舒适的月份为 5~9 月, 呈现出普遍感觉舒适的人体舒适度特征; 2~4 月、10~11 月次之, 主要呈现出偏凉或凉、部分人感觉不舒服的人体舒适度特征; 最不舒适的月份为 1 月、12 月, 主要呈现出偏冷、大部分人感觉不舒服的特征。

(3) 1960~2019 年丽江年均人体舒适度指数上升趋势非常显著, 线性趋势为 $0.30/10a$ 。历年均值为

56.22, 舒适度等级为 4 级, 属于偏凉或凉, 部分人感觉不舒适。1994 年以前, 大部分年份的人体舒适度指数低于平均值, 于 1992 年达到最低值; 1994~2004 年的人体舒适度指数在平均值上下波动; 2004 年以后, 绝大部分年份高于平均值, 于 2019 年达到最高值。

(4) 丽江市夏季的人体舒适度指数最高, 属于舒适度 5 级, 是一年中人体感到最舒适的季节; 春、秋季次之, 属于舒适度 4 级; 冬季人体舒适度指数最低, 属于舒适度 3 级。丽江地区四个季节的人体舒适度指数均呈现出显著的上升趋势, 冬季的上升趋势最为明显, 线性趋势达到 0.40/10a, 春、夏季次之, 秋季最低, 冬季的波动幅度也最为明显。

综上所述, 丽江以其独特的地理位置和气候条件, 展现出以偏凉为主的舒适度特征, 尤其在 5~9 月期间, 其舒适的旅游环境将会吸引大量游客, 在此期间应注重提升旅游服务质量, 以满足不同游客群体的多元化需求, 实现旅游业的可持续发展。同时, 随着全球变暖的影响, 丽江地区的气温明显升高[17][18], 而气温又是影响人体舒适度指数的主要因子, 因此丽江的人体舒适度指数也显著上升, 尤其是冬季的人体舒适度指数改善最为明显, 这可能为丽江冬季旅游市场的发展带来新的机遇。

基金项目

2024 年度大学生创新创业训练计划校级项目: 近 60 年人体舒适度变化特征。

参考文献

- [1] 刘梅, 于波, 姚克敏. 人体舒适度研究现状及其开发应用前景[J]. 气象科技, 2002, 30(1): 11-14.
- [2] Houghton, F.C. and Yaglou, C.P. (1923) Determining Equal Comfort Lines. *Journal of the American Society of Heating and Ventilating Engineers*, **29**, 165-176.
- [3] Brunt, D. (1945) Climate and Human Comfort. *Nature*, **155**, 559-564. <https://doi.org/10.1038/155559a0>
- [4] Terjung, W.H. (1966) Physiologic Climates of the Conterminous United States: A Bioclimatic Classification Based on Man. *Annals of the Association of American Geographers*, **56**, 141-179. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8306.1966.tb00549.x>
- [5] Oliver, J.E. (1978) Climate and Man's Environment: An Introduction to Applied Climatology. John Wiley & Sons.
- [6] Steadman, R.G. (1979) The Assessment of Sultriness. Part I: A Temperature-Humidity Index Based on Human Physiology and Clothing Science. *Journal of Applied Meteorology*, **18**, 861-873. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1979\)018<0861:taospi>2.0.co;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1979)018<0861:taospi>2.0.co;2)
- [7] 陆鼎煌, 崔森, 李重和. 北京城市绿化夏季小气候条件对人体的适宜度[D]//中国农学会农业气象研究会, 中国林学会. 林业气象论文集. 北京: 气象出版社, 1984: 144-152.
- [8] 范业正, 郭来喜. 中国海滨旅游地气候适宜性评价[J]. 自然资源学报, 1998, 13(4): 306-311.
- [9] 李馥丽, 马丽君, 孙根年, 等. 陕西省旅游气候舒适度评价[J]. 资源科学, 2007, 29(6): 40-44.
- [10] 贾海源, 陆登荣. 甘肃省人体舒适度地域分布特征研究[J]. 干旱气象, 2010, 28(4): 449.
- [11] 王胜, 田红, 谢五三, 等. 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, 2012, 31(1): 40-45.
- [12] 于庚康, 徐敏, 于堃, 等. 近 30 年江苏人体舒适度指数变化特征分析[J]. 气象, 2011, 37(9): 1145-1150.
- [13] 郭广, 张静, 马守存, 等. 1961-2010 年青海省人体舒适度指数时空分布特征[J]. 冰川冻土, 2015, 37(3): 845-854.
- [14] 张林林, 陈铁喜. 1989-2018 年京津冀地区人体舒适度的变化特征[J]. 天津师范大学学报(自然科学版), 2021, 41(4): 53-60.
- [15] 李积宏, 周刊社, 张东东. 青藏高原人体舒适度指数时空变化特征分析[J]. 干旱区地理, 2024, 47(6): 980-992.
- [16] 朱卫浩, 张书余, 罗斌. 近 30a 全国人体舒适度指数变化特征[J]. 干旱气象, 2012, 30(2): 220-226.
- [17] 潘娜, 肖国杰, 邬亮, 等. 丽江近 62a 气温变化特征分析[J]. 气象研究与应用, 2016, 37(3): 74-78.
- [18] 赖云华. 丽江气候变化研究[J]. 气候变化研究快报, 2023, 12(5): 913-924.