

徐诚,李亚玲,陈云强,等. 近 30 a 邛崃市人体舒适度变化特征分析[J]. 中低纬山地气象,2023,47(2):94-99.

近 30 a 邛崃市人体舒适度变化特征分析

徐 诚,李亚玲,陈云强,叶 瑶

(四川省气象服务中心,四川 成都 610072)

摘 要:该文利用 1991—2020 成都市西部邛崃国家气象观测站日平均气温、日最高气温、日平均风速、日平均相对湿度和日最小相对湿度,计算逐日人体舒适度指数及白天和夜间舒适度指数,并通过线性倾向估计方法分析近 30 a 邛崃市人体舒适度变化特征。结果表明:(1)近 30 a 邛崃市没有暑热和寒冷天气,人体舒适度日数舒适级别日数最多,其次是冷不舒适级别日数,热不舒适级别日数最少。(2)近 30 a 邛崃市年平均人体舒适度指数呈现较小的上升趋势;舒适日数集中在春季、夏季、秋季 3 个季节;热不舒适日数和舒适日数在 21 世纪初期比 20 世纪 90 年代有所增加,冷不舒适日数有所减少。(3)近 30 a 邛崃市白天人体舒适度指数有较明显的升高趋势,夜间人体舒适度指数变化不大。

关键词:人体舒适度;变化特征;舒适日数

中图分类号:P463.3 **文献标识码:**B

Analysis of the Human Comfort Index Variation Characteristics in Qionglai City for the Past 30 Years

XU Cheng, LI Yaling, CHEN Yunqiang, YE Yao

(Sichuan Province Meteorological Service Center, Chengdu 610072, China)

Abstract: In this paper, the daily average temperature, daily maximum temperature, daily average wind speed, daily average relative humidity and daily minimum relative humidity of the National Meteorological Observation station Qionglai, western Chengdu from 1991 to 2020 were used to calculate the daily human comfort index, day and night comfort index. The linear propensity estimation method was used to analyze the change characteristics of human comfort in Qionglai City in the past 30 years. The results show that: (1) in recent 30 years, the number of days of comfort level is the most, followed by the number of days of cold discomfort level and the number of days of hot discomfort level is the least. There is no extreme hot and cold weather in Qionglai City. (2) In recent 30 years, the annual average human comfore index in Qionglai City has shown a small upward trend. The number of comfortable days is concentrated in spring, summer and autumn. From the 1990s to the early 2000s, the number of thermal discomfort days and comfortable days increased and the number of cold and uncomfortable days decreased. (3) The human comfort index increased obviously in the daytime, but changed little at night.

Key words: comfort index of human body; variation characteristics; comfortable days

收稿日期:2022-11-07

第一作者简介:徐诚(1989—),女,工程师,主要从事专业气象服务及气象业务管理工作,E-mail:317243899@qq.com。

资助项目:高原与盆地暴雨旱涝灾害四川省重点实验室科技发展基金项目—青年专项(SCQXKJQN202220);气候变化对成渝双城经济圈宜居性的影响研究。

0 引言

2018 年 2 月,习近平总书记在成都视察时首次提出“公园城市”理念;2022 年 10 月 16 日,总书记在党的二十大报告中提出,尊重自然、顺应自然、保护自然,是全面建设社会主义现代化国家的内在要求。由此可见,近年来国家和人民对气候的变化及城市生活的宜居性越来越关注。人体舒适度是城市生活宜居性的重要表征,一般用气温、湿度和风速 3 个气象指标来表征人体对所处环境感觉的舒适程度。1970 以来,国外学者讨论研究了人体舒适度与气象条件的关系。近年来,我国学者也开展了人体舒适度方面的研究,如郭广等^[1]分析了青海省人体舒适度指数时空分布特征;张青等^[2]探讨了杭州地区人体舒适度对自然死亡人数的影响;吴兑^[3]以调差问卷的方式结合生物学理论,分析了不同人体舒适度指数公式的优缺点并提出了改进方法;吴彰越等^[4]研究了信阳市休闲旅游气候适宜度;江姣等^[5]对重庆市乡村旅游气候舒适度进行了评估和区划;谢东志^[6]对越西县水观音景区的气候舒适度进行了研究;皮小雯等^[7]对铜仁市碧江区旅游气象舒适度与客流量之间的关系进行了分析;贾晓红^[8]研究了呼和浩特舒适度变化特征;桑友伟等^[9]分析了岳阳市人体舒适度变化特征;彭林英等^[10]对川西高原若尔盖旅游气候资源及旅游舒适期进行了研究。另外,还有学者将人体舒适度结合城市发展、居民健康等要素进行相关性分析^[11-15]。但是,针对成都西部地区邛崃市人体舒适度变化情况的研究较少。

本文利用邛崃市国家级气象观测站 1991—2020 年的长时间序列日平均气温、相对湿度和风速气象要素计算人体舒适度指数,利用日最高气温、日最小相对湿度、日平均相对湿度和平均风速分别计算白天和夜间人体舒适度指数,分析邛崃市近 30 a 人体舒适度变化特征,以期提高成都市西部地区居民对人体健康与气候变化之间关系的认识,同时为四川盆地西部沿山一带旅游业相关部门提供一定的参考依据。

1 资料和方法

1.1 资料选取

本文所用资料为国家气象信息中心的站点日统计数据。选取邛崃市国家级观测站 1991—2020 年逐日气象观测资料中的日平均气温、日最高气温、日平均相对湿度、日最小相对湿度、日平均风速

等 5 个气象要素。

1.2 人体舒适度指数计算方法

根据温度、湿度和风速的影响原理,国内外专家提出了很多种人体舒适度指数的计算方法。本文选用改进的人体舒适度指数(KSSD)公式^[16]:

$$I_{CHB} = (t \times 1.8 + 32) - 0.55 \times (1 - h_u/100) \times (t \times 1.8 - 26) - 3.2 \sqrt{V} \quad (1)$$

式中: I_{CHB} 为人体舒适度指数(无量纲),四舍五入取整数; t 为日平均气温,单位为℃; h_u 为日平均相对湿度,用%表示; V 为日平均风速,单位为 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

根据国家气候中心规定的统一标准,本文将人体舒适度划分为 10 个等级(表 1),其中 1、2、3 等级统称为冷不舒适级别,4、5、6 等级统称为舒适级别,7、8、9、10 等级统称为热不舒适级别。

表 1 国家气候中心人体舒适度指数分级表

Tab. 1 Human comfort index grading table of National Climate Center

I_{BC}	等级	感觉程度	划分
≥ 90	10	酷热,很不舒适	热不舒适
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	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	冷不舒适
26 ~ 38	2	较冷,大部分人不舒适	
≤ 25	1	寒冷,不舒适	

2 结果分析

2.1 人体舒适度指数变化特征

图 1 为 1991—2020 年邛崃市各个等级人体舒适度日数。从图中可以看到 1991—2020 年邛崃市没有暑热和寒冷天气,人体舒适度总共有包含 7 个等级。舒适级别天数最多,近 30 a 共计 7251 d,占总日数的 66%;冷不舒适级别共计 3280 d,占总日数的 30%;热不舒适级别共计 405 d,占总日数的 4%。其中,最为舒适等级日数最多,占总日数的 33.6%;第二是清凉等级,占总日数的 27.2%;第三是偏热和偏凉日数,均占总日数的 16.3%。

通过统计 1991—2020 年邛崃市人体舒适度各月等级平均日数分布可以得出,近 30 a 邛崃市舒适级别日数出现在 2—12 月,冷不舒适级别出现在 1—4 月和 10—12 月,热不舒适级别出现在 6—9

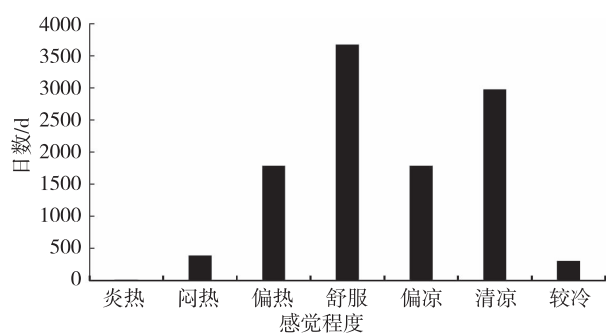


图 1 1991—2020 年邛崃市各等级人体舒适度日数

Fig. 1 Number of comfortable days of human body at all levels in Qionglai City from 1991 to 2020

月。其中,炎热天气只出现在 7、8 月,天数很少,月平均天数 < 0.5 d;闷热天气出现在 6—9 月,以 7、8 月为主,月平均天数 < 10 d;偏热天气出现在 4—10 月,以 6—8 月为主,月平均天数都 > 10 d;最为舒适天气出现在 3—11 月,其中 5 月和 10 月平均天数 > 20 d,4 月、6 月和 9 月平均天数都 > 10 d;偏凉天气出现在 2—5 月和 9—12 月,其中 3—4 月和 10—11 月平均天数 > 10 d;清凉天气主要出现在 1—4 月和 10—12 月,其中 12、1、2 月平均天数均 > 20 d;较

冷天气出现在 12—次年 2 月,月平均天数都 < 10 d。1991—2020 年期间,邛崃市没有暑热和寒冷天气出现。

2.2 平均人体舒适度指数及舒适度日数变化特征

2.2.1 平均人体舒适度指数年际变化特征 从图 2 可以看出,1991—2020 年邛崃市年平均人体舒适度指数的气候倾向率为 $0.1 \text{ d} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$,说明近 30 a 来,邛崃市年平均人体舒适度指数变化趋势比较平稳,略微有所升高。近 30 a 邛崃市平均人体舒适度指数为 58.67,舒适等级为 5 级,属于最为舒适。

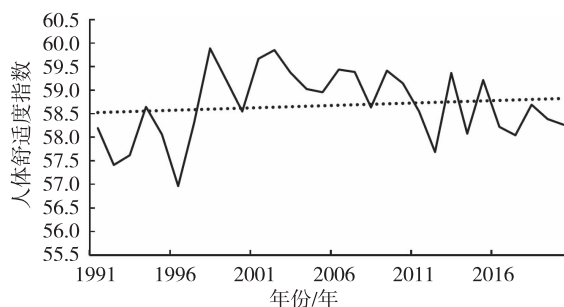
图 2 1991—2020 年邛崃市
年平均人体舒适度指数年际变化

Fig. 2 Inter - annual variation of annual average human comfort index in Qionglai City from 1991 to 2020

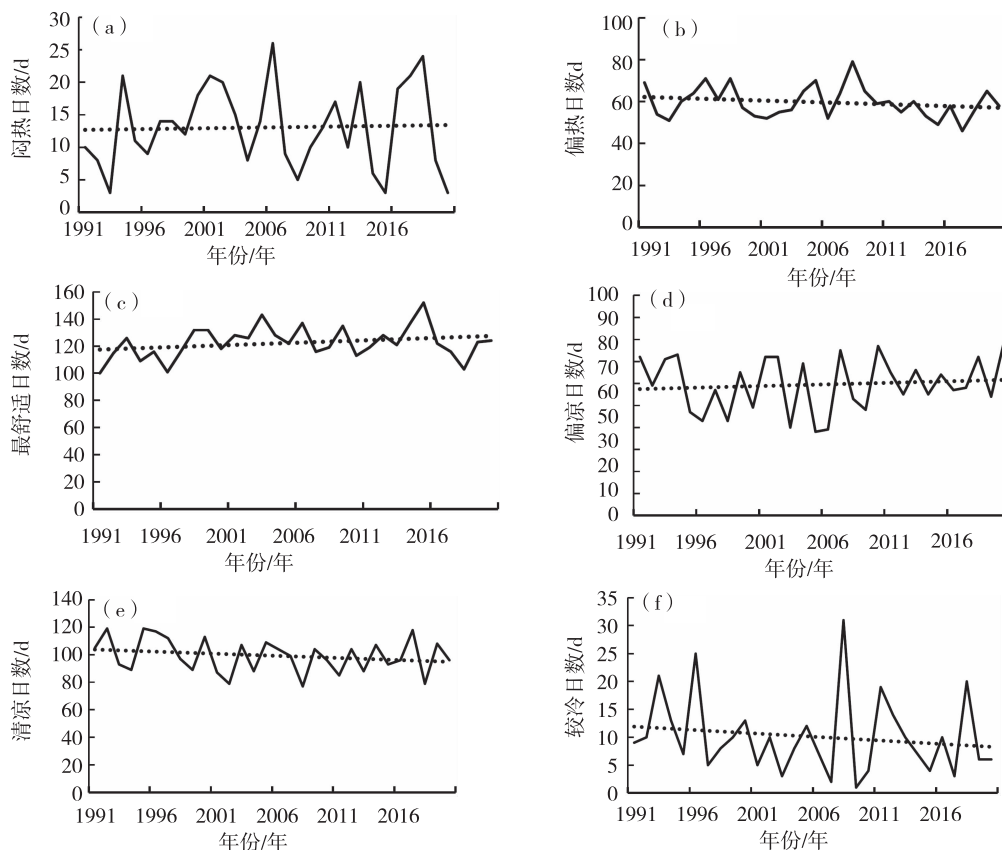


图 3 1991—2020 年邛崃市各等级人体舒适度日数年际变化(a:闷热,b:偏热,c:最为舒适,d:偏凉,e:清凉,f:较冷)

Fig. 3 Inter - annual changes in the number of human comfort days at all levels in Qionglai City from 1991 to 2020 (a:muggy,b:slightly hot,c:the most comfortable,d:slightly cool,e:cool,f:cooler)

2.2.2 各等级人体舒适度日数年际变化特征 从图 3 可以看到,邛崃市近 30 a 人体舒适度指数的闷热、舒服、偏凉 3 个等级日数气候倾向率分别为 $0.2 \text{ d} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$, $3 \text{ d} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$, $1.4 \text{ d} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$, 表明邛崃市闷热、舒服和偏凉日数有所增加;偏热、清凉、较冷 3 个等级日数气候倾向率分别为 $-0.1 \text{ d} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$, $-3 \text{ d} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$, $-1.2 \text{ d} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$, 表明邛崃市偏热、清凉和较冷日数有所减少。

2.3 热不舒适、舒适、冷不舒适日数变化特征

2.3.1 热不舒适、舒适、冷不舒适日数年代际变化 本文将 1991—2022 年划分为 3 个年代:1991—

2000 年(20 世纪 90 年代)、2001—2010 年(21 世纪 00 年代)、2011—2020 年(21 世纪 10 年代)。从表 2 可以看到,邛崃市热不舒适日数和舒适日数 21 世纪初期相比 20 世纪 90 年代有所增加,冷不舒适日数有所减少。从距平百分比可以看到,从 20 世纪 90 年代到 21 世纪初期舒适日数距平百分比由负变正,表明舒适日数呈现增加趋势;冷不舒适日数距平百分比由正变负,表明冷不舒适日数呈现减少趋势;热不舒适日数距平百分比由负变正再变负,表明热不舒适日数呈现先增加后减少的变化趋势。

表 2 邛崃市热不舒适、舒适、冷不舒适日数及距平百分率

Tab. 2 The number of days of hot discomfort, comfort and cold discomfort in Qionglai City and the percentage of deviation

时间划分	热不舒适日数/d	距平百分比	舒适日数/d	距平百分比	冷不舒适日数/d	距平百分比
20 世纪 90 年代	12.4	-0.08	235.5	-0.03	117.4	0.07
21 世纪 00 年代	15.0	0.11	246.7	0.02	103.3	-0.06
21 世纪 10 年代	13.1	-0.03	242.9	0.01	107.3	-0.02

2.3.2 热不舒适、舒适、冷不舒适日数季节变化特征 根据气候统计法,本文将 3—5 月划分为春季,6—8 月划分为夏季,9—11 月划分为秋季,12—次年 2 月划分为冬季。由于邛崃市 1991—2020 年舒适日数主要集中在春季、夏季、秋季 3 个季节,冬季很少,仅有几天,故在此对冬季舒适日数不做分析。从图 4a 可以看到,1991—2020 年邛崃市舒适日数

春季、夏季、秋季分布比较均匀,集中在 80 d 上下。从图 4b 中可以看到,20 世纪 90 年代夏季和秋季距平百分率呈现正值,春季主要呈现负值;进入 21 世纪之后,春季距平百分率主要呈现正值,夏季和秋季正负值交替出现。这表明了舒适日数在春季发生转折,日数由少变多;夏季和秋季舒适日数由多变少,又由少变多,交替出现。

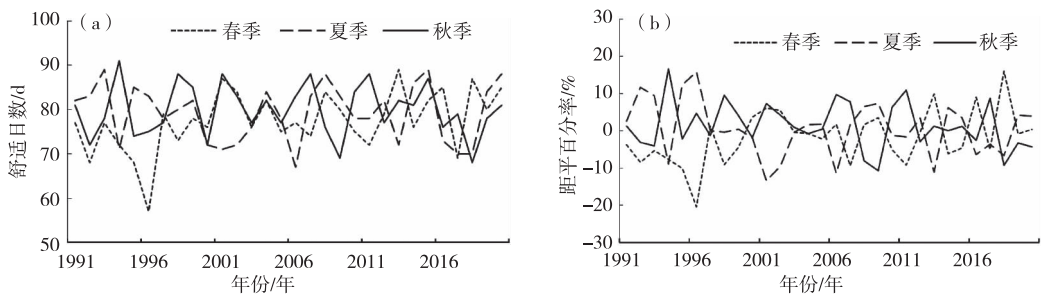


图 4 春季、夏季、秋季舒适日数(a)及距平百分率(b)

Fig. 4 Number of comfortable days(a) and autumn and percentage of deviation(b)in spring, summer

2.4 白天和夜间人体舒适度变化

本文通过公式(1),利用日最高气温、日最小相对湿度和平均风速计算白天人体舒适度指数;利用日最低气温、平均相对湿度和平均风速计算夜间人体舒适度指数。

从图 5 可以看到,1991—2020 年期间,邛崃市年平均白天和夜间人体舒适度总共有 8 个等级,无酷热和暑热天气。其中,最为舒适日数最多,白天达到 116.3 d,夜间达到 142.2 d;夜间有 0.2 d 寒冷

天气,无闷热和炎热天气;白天无寒冷天气。白天和夜间全年的舒适日数均超过全年日数的 60%,其中,白天舒适日数为 252 d,占全年日数的 69%,夜间舒适日数为 221 d,占全年日数的 61%。

从表 3 可以看到,邛崃市白天人体舒适度等级共有 7 个,无酷热、暑热和寒冷天气。舒适日数最多,在全年均有出现,其中偏热天气在 3—10 月均有出现,主要集中在 5—9 月;最为舒适天气在全年均有出现,主要集中在 3—5 月和 9—11 月;偏凉天气

出现在 1—5 月和 10—12 月,主要集中在 1—3 月和 11—12 月。

从表 4 可以看到,邛崃市夜间人体舒适度等级共有 6 个,无酷热、暑热、炎热、闷热天气。舒适日数大约是冷不舒适日数的 1.5 倍。除 1 月外,其余月份夜间均有舒适日数出现,其中,夜间偏热天气出现在 6—9 月,均在 5 d 以下,最为舒适天气主要集中在 5—9 月,偏凉天气主要集中在 4—5 月和 10—11 月。夜间冷不舒适日数在 1—5 月和 10—12 月均有出现,其中清凉天气主要出现在 1—3 月和 11—12 月,较冷天气主要出现在 1 月和 12 月,寒冷天气出现在 1 月,仅为 0.2 d。

表 3 1991—2020 年邛崃市白天人体舒适度各月等级平均日数分布(单位:d)

Tab. 3 Distribution of the average number of days of human body comfort in Qionglai City during the daytime from 1991 to 2020(unit:D)

等级	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
炎热	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	6.6	6.7	0.7	0.0	0.0	0.0
闷热	0.0	0.0	0.0	0.4	1.9	9.2	15.8	13.5	3.6	0.1	0.0	0.0
偏热	0.0	0.0	0.3	4.8	13.4	16.0	7.4	9.3	12.6	2.7	0.0	0.0
最为舒适	0.3	3.8	14.9	21.2	15.5	4.2	1.1	1.5	13.1	25.6	14.7	0.5
偏凉	9.8	13.3	12.2	3.3	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	13.0	14.4
清凉	20.5	11.0	3.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.2	15.8
较冷	0.4	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1

表 4 1991—2020 年邛崃市夜间人体舒适度各月等级平均日数分布(单位:d)

Tab. 4 Distribution of monthly average number of days of human body comfort at night in Qionglai City from 1991 to 2020(unit:d)

等级	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
偏热	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	4.2	3.3	0.8	0.0	0.0	0.0
最为舒适	0.0	0.0	0.1	4.3	18.1	28.7	26.7	27.7	26.4	9.8	0.4	0.0
偏凉	0.0	0.6	6.3	17.0	12.5	0.9	0.0	0.0	2.8	18.9	11.3	0.1
清凉	13.7	19.3	22.5	8.6	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	2.2	16.9	19.8
较冷	17.1	8.3	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	10.9
寒冷	0.2											

从图 6 可以发现,1991—2020 年邛崃市白天年平均人体舒适度指数气候倾向率为 $0.3 \text{ d} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$,表明邛崃市白天人体舒适度有着较明显的升高趋势。邛崃市白天年平均舒适度指数为 63.8,舒适等级为 5 级,属于最为舒适。

从图 7 可以发现,1991—2020 年邛崃市夜间年平均舒适度指数变化不大,比较平稳,平均值为 53.8,舒适等级为 4 级,属于偏凉,大部分人舒适。

3 结论

本文对成都市西部邛崃市 1991—2020 年人体舒适度特征变化进行分析,重点讨论了人体舒适度指数的时间变化特征,得出如下结论:

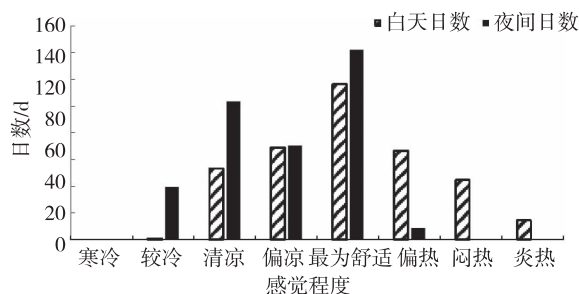


图 5 1991—2020 年邛崃市年平均白天和夜间各等级人体舒适度日数

Fig. 5 The annual average number of comfortable days of human body at all levels in the daytime and at night in Qionglai City from 1991 to 2020

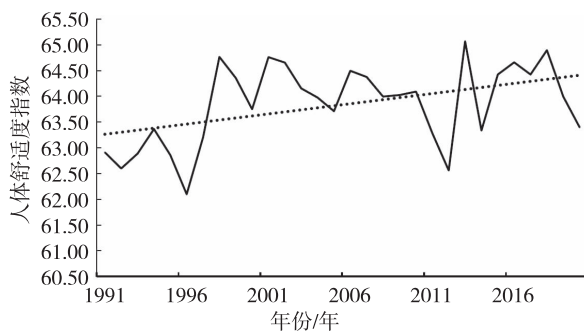


图 6 邛崃市白天平均舒适度指数年际变化

Fig. 6 Inter-annual variation of daytime average comfort index in Qionglai City



图7 邛崃市夜间平均舒适度指数年际变化

Fig. 7 Annual variation of average night comfort index in Qionglai

(1) 近 30 a 邛崃市人体舒适度日数以舒适级别日数最多,其次是冷不舒适日数,热不舒适日数最少,没有暑热和寒冷天气。舒适级别日数在 2—12 月都有出现,主要出现在 4—10 月;冷不舒适级别在 1—4 月和 10—12 月都有出现,主要出现在 12 月、1 月、2 月;热不舒适级别在 6—9 月都有出现,主要出现在 7、8 月。

(2) 近 30 a 邛崃市最为舒适的月份是 5 月和 10 月,热不舒适的月份主要是 7—8 月,冷不舒适出现最多的月份是 1 月,其次是 12 月和 2 月。

(3) 近 30 a 邛崃市年平均人体舒适度指数呈略微上升的趋势,表明人体舒适度比较稳定,略微升高。

(4) 近 30 a 邛崃市舒适日数基本上集中在春季、夏季、秋季 3 个季节。热不舒适日数和舒适日数在 21 世纪初期比 20 世纪 90 年代有所增加,冷不舒适日数有所减少。舒适日数在春季发生转折,日数由少变多;夏季和秋季舒适日数由多变少再变多,交替出现。

(5) 近 30 a 邛崃市年平均白天和夜间人体舒适度总共有 8 个等级,无酷热和暑热天气。白天和夜间全年的舒适日数较多,均超过全年日数的 60%。白天人体舒适度等级共有 7 个,无酷热、暑热和寒冷

天气,夜间人体舒适度等级共有 6 个,无酷热、暑热、炎热、闷热天气。

(6) 近 30 a 邛崃市夜间人体舒适度变化不大,白天人体舒适度有着较明显的升高趋势。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 张青,李颖,骆月珍,等. 杭州地区人体舒适度对自然死亡人数的影响[J]. 气象与环境学报,2017,33(3):101—106.
- [3] 吴兑. 多种人体舒适度预报公式讨论[J]. 气象科技,2003(6):370—372.
- [4] 吴彰越,彭荣胜. 信阳市休闲旅游气候适宜度分析[J]. 绿色科技,2021,23(9):193—196.
- [5] 江姣,田凤国,方丽,等. 基于 GIS 的乡村旅游气候舒适度评估与区划——以重庆市长寿区为例[J]. 中低纬山地气象,2021,45(5):103—108.
- [6] 谢东志. 越西县水观音旅游景区气候舒适度研究[J]. 中低纬山地气象,2021,45(1):105—107.
- [7] 皮小雯,吴明,徐大红,等. 铜仁市碧江区旅游气象舒适度与客流量关系分析[J]. 中低纬山地气象,2020,44(6):76—79.
- [8] 贾晓红. 1991—2019 年呼和浩特市人体舒适度变化特征分析[J]. 内蒙古气象,2021(1):29—32.
- [9] 桑友伟,孟蕾. 1961—2017 年岳阳人体舒适度变化特征[J]. 气象与环境科学,2020,43(1):52—58.
- [10] 彭林英,曹金平,张艳菲,等. 川西高原若尔盖旅游气候资源及旅游舒适期研究[J]. 成都信息工程学院学报,2010,25(5):536—541.
- [11] 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.
- [12] 雷雯,张向荣,张毅军,等. 太白山气温变化及旅游气候舒适度评价[J]. 陕西气象,2019(2):37—42.
- [13] 余志康,孙根年,罗正文,等. 40°N 以北城市夏季气候舒适度及消夏旅游潜力分析[J]. 自然资源学报,2015,30(2):327—339.
- [14] 刘青春,王铮,许世远. 中国城市旅游气候舒适性分析[J]. 资源科学,2007,29(1):133—141.
- [15] 刘建,肖禾,丁忆,等. 中国西南典型山地城市环境宜居性评价——以重庆市两江新区城区为例[J]. 三峡生态环境监测,2022,7(1):50—60.
- [16] 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—454.