

近60年来重庆市主城区的气候舒适度变化

杨芳¹, 岑金蔚², 赵景峰¹, 李鑫¹, 李楠¹

(1. 四川师范大学地理与资源科学学院, 四川 成都 610101; 2. 重庆市綦江区金桥镇人民政府, 重庆 綦江 400806)

摘要:依据重庆市主城区沙坪坝气象站 1951~2013 年的观测资料,利用人体舒适度指数计算方法,把气候舒适度依次分为 9 个等级,分析过去 63 年间气候舒适度的变化趋势和舒适天气的季节分布。结果表明:重庆市主城区气候舒适度等级为凉(-2 级)、舒适(0 级)和凉爽(-1 级)天气的年均日数最多,对应的日数分别为 73、65、60;舒适(0 级)天气集中分布于春季(4 月中旬至 5 月下旬)和秋季(9 月下旬至 10 月下旬);自 1997 年以来(2008、2011 年例外),全年偏冷舒适度等级均未达到-4 级。自 2001 年以来酷热天气年均日数增至 18.5 天,比 20 世纪 50 年代以来的年平均值多 6.5 天,其中 2006、2013 年的酷热日数创历史新高,达到 41 天。

关键词:气候舒适度;季节分布;年际变化;主城区;重庆市

0 引言

对气候环境舒适性的评价一般包括 2 个方面:一是人体主观上感受到的气候环境的舒适程度,二是以人体热交换机制为基础,研究气候环境对人体生理的适宜度。利用某一时间的相关气象要素,可以求得相应的人体舒适度。人体舒适度是以人类机体与近地大气之间的热交换为前提,利用主要气象要素评价人体在不同气候条件下舒适感的一项生物气象指标^[1]。用于表征人体对周围环境的感知,这种感知受到太阳辐射、最高(低)气温、气流、相对湿度、人体生理差异、活动强度、着衣、地域等因素的综合影响。随着城市的快速发展,人口密度急剧增长,工厂快速发展,热岛效应随之出现。城市气候环境作为一种独特的局地气候,受到人类活动的影响。

国外学者从天气和气候对旅游的影响角度提出各种评价方法。Houghton 等^[2]结合气温、湿度的人体表面裸露等舒适线,提出有效温度概念。Terjung^[3]在对美国大陆生理气候的评估中,设计了舒适指数和风效指数,通过查图表获得相应评价指数。J. E. Oliver^[4]提出用温湿指数和风寒指数评价气候对人体的影响。中国在旅游气候舒适度的相关研究起步于 20 世纪 80 年代,如刘继韩综合舒适指数和风效指数对秦皇岛的旅游生理气候进行评价^[5]。90 年代起,范业正等把国外学者提出的经验公式应用到旅游地气候资源的评价上,对中国海滨旅游地气候适宜性进行评价^[6]。刘雅

星等^[7]通过研究中国冬季日均气温及极端温度的变化,对中国气候舒适度有一定的指导意义;徐仁鹏等^[8]利用逐日气温、相对湿度、风速、降水量等观测资料,对旅游气候舒适度进行定量分析与评价;蒋国碧等^[9]利用温湿指数、舒适指数和日舒适度对重庆市旅游气候进行探讨;何静等^[10]运用 GIS 技术研究了山地环境下重庆市气候舒适性的空间分布;吉莉等^[11-12]利用重庆市北碚气象站的逐日气象资料,分析指出北碚区的人体舒适度指数呈明显的上升趋势,之后还利用重庆地区 34 个地面气象观测站日值数据研究了人体舒适度日数的时空变化特征。

采用重庆市主城区沙坪坝气象站 1951~2013 年的日值观测数据,通过研究主城区的气候舒适度,量化了各舒适度等级的季节分布和年际变化,分析酷热天气的变化趋势等,为人们对宜居环境的选择和旅游出行提供了量化信息和参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料

数据来源于中国气象数据共享网,选取重庆市沙坪坝气象站 1951~2013 年间的平均气温、相对湿度、平均风速等气象要素的日值、月值数据集。

1.2 方法

1.2.1 体感温度计算方法

采用王式功^[13]提出的适用范围较广的体感温度计算方法。假设前提为:正常人体表面裸露时,在无活

动状态下所感受到的环境温度。计算出日平均体感温度后对照等级划分标准表就得到了每一天的舒适度等级,根据各等级的总日数、年内日数、季节日数以及人体舒适度各等级在时间上的分布来进行分析,从而探讨重庆市主城区的气候舒适度。由于是日平均舒适状况,所以并不能反映舒适度的日变化。

对人体舒适性变化趋势,采用的是线性回归和 5 年滑动平均曲线。

1.2.2 基于日值的体感温度的计算与分级

采用 2014 年张志薇等^[1]提出的人体舒适性的评价方法,把热带地区健康裸露人体感觉的最佳舒适温度定义为人体正常的平均体温(36.75℃)与黄金分割率(0.618)的乘积,即:22.7℃。此外,对于某地人体最佳舒适温度 T_s 还应进行地理位置和海拔高度的调整。其计算公式为

$$T_s=22.7\times[1.0-0.3\sin(\varphi-23.5)]-10.3\cos[15^\circ\times(M-1)]-2.0\tan(H/100)$$
 (1)

式中, T_s 为“最佳舒适温度”, φ 为纬度, M 为月份, H 为海拔高度(当海拔高度大于 500 m 时,需要订正)。

$[1.0-0.3\sin(\varphi-23.5)]$ 为纬度项,订正地理纬度对 T_s 的影响; $10.3\cos[15^\circ\times(M-1)]$ 为季节项,订正季节变化产生的 T_s 的差异; $2.0\times\tan(H/100)$ 为海拔度项,沙坪坝气象站海拔为 259.1 m,低于 500 m,故不进行海拔订正。

2 结果与分析

2.1 重庆市主城区日平均舒适度等级划分标准

由中国地面气候资料国际交换站得知重庆市主城区沙坪坝的纬度为 29.35°N,即 $\varphi=29.35$ 。

把 φ 值代入(1)式,得

$$T_s=22.7\times[1.0-0.3\sin(29.35-23.5)]-10.3\cos[15^\circ\times(M-1)]\approx 22.7-10.3\cos[15^\circ\times(M-1)]$$

由上式可知, T_s 为月份 M 的函数,因此可简写为

$$T_s=22.7-Dt(M)$$
 (2)

式中, Dt 为某地人体最佳舒适温度的修正值,用于修正不同月份人体舒适度的体感温度等级界限(表 1)。

表 1 重庆市主城区各月舒适温度(T_s)与调整值(Dt)

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$T_s/^\circ\text{C}$	21.7	21.73	21.77	21.83	21.91	21.98	21.92	21.84	21.78	21.73	21.7	21.69
$Dt/^\circ\text{C}$	1.00	0.97	0.93	0.87	0.79	0.72	0.78	0.86	0.92	0.97	1.00	1.01

表 2 舒适度等级划分标准

等级	舒适度	划分标准	体感及应对措施
4 级	酷热	$T_g>31-Dt$	极度热特别不舒适,注意防暑降温
3 级	炎热	$28-Dt<T_g\leq 31-Dt$	非常热很不舒适,尽量少去户外
2 级	热	$25-Dt<T_g\leq 28-Dt$	较热不舒适,适度穿着易散热夏装
1 级	微热	$22.7-Dt<T_g\leq 25-Dt$	较舒适,不影响正常生活
0 级	舒适	$18-Dt<T_g\leq 22.7-Dt$	很舒服,可高效地工作学习
-1 级	凉爽	$13-Dt<T_g\leq 18-Dt$	较舒适,不影响正常生活
-2 级	凉	$8-Dt<T_g\leq 13-Dt$	略感微凉,注意添衣
-3 级	微冷	$3-Dt<T_g\leq 8-Dt$	感觉微冷不舒适,注意保暖
-4 级	冷	$-5-Dt<T_g\leq 3-Dt$	感觉较冷不舒适,注意防寒保暖
-5 级	寒冷	$-15-Dt<T_g\leq -5-Dt$	感觉寒冷很不舒适,防寒保暖,防止冻伤
-6 级	严寒	$T_g\leq -15-Dt$	感觉特别寒冷极不舒适,加强防寒保暖,防止冻伤

温、湿度和风^[14],在最佳舒适温度(T_s)的基础上综合考虑以上 3 个气象要素和降水对环境温度的影响,可得出体感温度,方法如下:

当 $T_a\geq T_s$ 时,

$$T_g=T_a+Ae^{0.05(T_a-T_s)(RH-RH_s)-1}-0.03(T_a-T_s)V$$
 (3)

当 $T_a<T_s$ 时,

$$T_g=T_a+Ae^{0.012(T_a-T_s)(RH-RH_s)-1}-0.01(T_s-T_a)V$$
 (4)

式(3)、(4)中,系数 $A=36.75\times(1-0.618)\approx 14$, $T_g(^{\circ}\text{C})$ 为体感温度, $T_a(^{\circ}\text{C})$ 为平均气温, $T_s(^{\circ}\text{C})$ 为最佳舒适温度; $V(\text{m/s})$ 为平均风速; RH 为相对湿度, RH_s 为最适相对湿度,无降水时取 $RH_s=0.5$,有降水时 $RH_s=0.618$ 。

计算得到日平均体感温度(T_g)后,参照表 2^[13]可得出每日相应的人体舒适度等级。

2.2 重庆市主城区日平均人体舒适度等级分析

2.2.1 各舒适度等级日数所占比重分析

63 年来重庆市主城区各个舒适度等级的年均日数和百分比见图 1,由图 1 可见舒适等级的分布从冷(-4 级)到酷热(4 级)均有分布,体感温度极低的寒冷(-5 级)和严寒(-6 级)等级缺失。-4 等级平均每年约

研究表明,影响人体舒适度的气象因素主要为气

1 日,冬季的寒冷程度并不高,注意保暖即可;而 4 等级为人体感受到的极端热不舒适天气,集中在夏季,年均日数为 11 天,这和重庆冬暖夏热的气候特征是相对应的。各舒适度等级年均日数中,凉(-2 级)、舒适(0 级)、凉爽(-1 级)天气所占比重最大,对应日数依次为 73、65、60,其中等级为凉所占百分比为 19.9 %。

在-4 到 4 级共 9 个评价等级中,取中间 3 个等级(-1、0、1 级)定义为舒适与较舒适日,适合生活和工作;2、3、4 级定义为热不舒适日,需注意散热;-2、-3、-4 级为冷不舒适日,应注意添衣保暖。则舒适与较舒适日所占比重最大,年均 169 天,占到了 2/5 以上,全年适合工作生活天数多;冷不舒适和热不舒适日的年均日数分别为 105.4 天、90.7 天,不舒适天数总体超过了舒适天数。

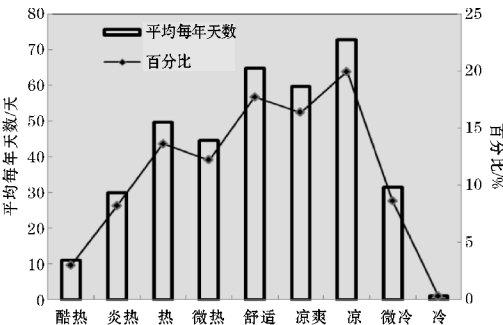


图1 63 年来年均舒适等级天数及其占全年日数百分比

2.2.2 各舒适度等级的时间分布

同一舒适度等级出现的日期在不同年份差异较大,且各年内的连续程度并不高,离散度较大。就舒适日(舒适度等级为舒适)天气的分布而言(图 2),上半

年大致出现在夏季,即 3 月中旬到 6 月上旬,4 月中旬到 5 月下旬集中程度更高;下半年大致出现在秋季,即 9 月中旬到 11 月上旬,9 月下旬到 10 月下旬集中度更显著。

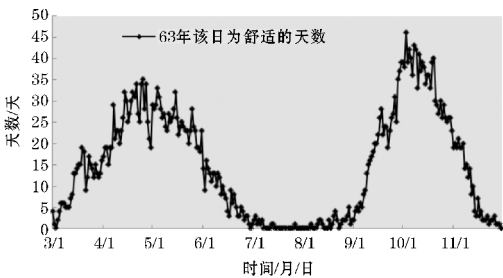


图2 3 月 1 日~11 月 30 日舒适日出现频率变化

从年内各月的分布来看,各舒适等级 63 年来年均日数的月分布如表 3 所示。舒适日数最多的月份为 10 月、5 月和 4 月,即最适宜外出生活和工作的月份,此期间的法定节日有清明节、劳动节、端午节和国庆节,适合安排出游计划。次级舒适的凉爽偏向冬季,多分布在 3 月和 11 月;微热(1 级)偏向夏季,主要在 5 月、6 月和 9 月。综合舒适、凉爽和微热,3、4、5、6、9、10、11 月均有较多天数是较舒适、舒适的,集中分布在春秋季节。酷热级天气以 7、8 月为主,8 月最多,冷而需要防寒的天数不多,主要出现在 1 月。

从季节分布上看,冬季的体感舒适度主要为凉和微冷,虽然需注意保暖,但是可通过提高活动量适应;春秋季节舒适、凉爽,适合出游、散步等轻活动量运动;夏季热不舒适天气占绝大多数,不宜外出进行户外活动。

表 3 舒适等级年均日数的月分布/天

	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
酷热					0.1	0.5	4.1	5.3	1.1			
炎热				0.2	1.1	3.3	11	11.2	3.1	0.1		
热			0.1	1.8	6.2	11.6	12.4	9.9	7.3	0.6		
微热			0.5	4.6	9.4	10.8	3.3	4	8.8	3		
舒适		0.1	5	12.1	12.6	3.7	0.2	0.6	9.3	17.2	4.1	
凉爽	0.1	4.7	14.4	10.2	1.6				0.4	9.7	16.7	1.8
凉	14.3	16.2	10.3	1.1						0.5	8.7	21.8
微冷	16	7	0.9								0.5	7.1
冷	0.6	0.2										0.2

2.3 重庆市主城区日平均人体舒适度的变化分析

2.3.1 各舒适度等级日数的年际变化

结合 63 年来日平均舒适度不同等级天数的年际变化发现,多数舒适等级天数的年际变化波动大,但是变化趋势并不明显。舒适度等级为舒适即最适合旅游的日数大多数年份为 50 ~ 70 天,无明显变化趋势。

重庆主城区出现的舒适度等级的两个极端:冷和酷热,自 1997 年以来,伴随城区升温,除 2008 年和 2011 年外,舒适度等级为冷在其 WB 年份均未出现。酷热日数的年际变化过程线与 5 年平均气温的变化曲线较为相似(图 3),波动较大。酷热日数的多年平均值为 11 天,20 世纪 60、70 年代和 2006 年以来均有日数超过 20 天的年份,尤其自 2001 年以来年均日数达

18.5天,其中2006年和2013年酷热日数达到41天,创历史新高。可以将酷热日数的变化分为3个阶段:50年代至70年代中期,呈增加趋势,70年代末至90年代初,迅速减少后进入一个低值期,90年代初至今再次出现了增长趋势,处于一个高值期。

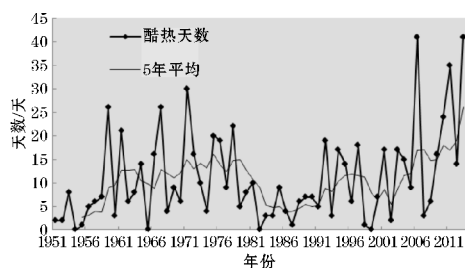


图3 酷热天数的年际变化

由图4可知:综合凉、微冷、冷3个舒适度的冷不舒适日数在2000年以来少于100天的年份增多,总体呈减少趋势,但趋势不明显;综合舒适、凉爽、微热三者的舒适与较舒适日数无显著变化;综合热、炎热、酷热三者的热不舒适日数变化总体呈增多趋势,相对于舒适与较舒适、冷不舒适,其变化更明显。

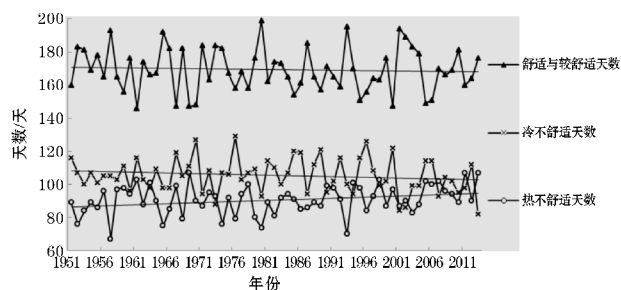


图4 舒适与较舒适、冷不舒适、热不舒适日数的变化

2.3.2 舒适日最早和最晚出现时间的年际变化

不同年份舒适日的最早和最晚出现日期偏差较大。正如春季的“倒春寒”现象一样,即使进入最舒适期后也会有异常的天气系统使舒适等级发生变化。

63年中,最早出现舒适日的时间多集中在3月,但有5年偏早,出现在了2月,分别是1973年和1979年,以及2009~2011年,这5年的年均气温偏高;而偏晚出现在4月上中旬的年份的年平均气温均为负距平。大多数年份舒适日的最早出现时间集中在3月上中旬,近30年出现在3月上旬的年份明显增多。

最晚出现舒适日的时间主要在10月末和11月上中旬;20世纪80年代以来略有延后,主要集中在11月5~15日。

2.3.3 各月舒适日数的年代际变化

自20世纪50年代,各月舒适日数的年代际变化较大的月份为4、5、9、10月。其中,4月份的舒适日呈增加趋势,增加率约为4天/a;5月份呈减少趋势,减

少率约为3天/a。9月份的舒适日数变化呈先增加后减少的趋势,从20世纪50年代~80年代增加,20世纪90年代~21世纪10年代减少,减少速度快,从20世纪80年代的111天减少到21世纪10年代的52天。10月份在20世纪50年代为一低值138天,60、70年代均在200天左右,80年代到21世纪10年代减少到136天。

舒适日数年代际的季节变化为:春季在最近2个年代呈增加趋势,夏季每个年代均在50天左右,秋季在最近4个年代呈减少趋势。

3 结论

(1)重庆市主城区的天气舒适度表现为:舒适度等级为凉(-2级)的天气最频繁,年均日数为73天;舒适度等级为冷(-4级)的天气最少,其年均日数仅为1天;极端天气以酷热(4级)为主,其年均日数为11天。

(2)自1997年,伴随市区气温升高,除2008年和2011年外,全年舒适度等级均未达到冷。自2001年以来酷热天气的年均日数增至18.5天(50年代以来年均值为11天),尤其是2006、2013年的酷热日数创历史新高,均达到41天。

(3)舒适天气(舒适度等级为舒适,即0级)集中分布于春季,即4月中旬到5月下旬,以及秋季,即9月下旬至10月下旬。重庆市为四大火炉城市之一,热不舒适天气常常达到酷热等级(4级),这种天气主要出现于8月份,其年均日数为5.3;冷不舒适天气最冷只能达到-4级,主要出现在1月,其年均日数为0.6,故防寒的日数不多。

(4)20世纪50年代以来,年代间各月舒适日数变化较大的月份为4、5、9、10月。舒适日数年代间的季节变化为:春季在最近两个年代呈增加趋势,夏季每个年代均在50天左右,秋季在最近4个年代呈减少趋势。

(5)不同年份舒适日的最早和最晚出现日期偏差。最早出现舒适日的年份中,有58年集中在3月上中旬,但有5年出现在2月,5年的年均气温偏高;最晚出现舒适日的时间主要在10月末和11月上中旬,20世纪80年代以来略有延后。

参考文献:

- [1] 张志薇,孙宏,蒋薇,等.南京地区人体舒适度及其与居民循环系统疾病死亡关系的研究[J].气候变化研究进展,2014,10(1):67-73.

- [2] Houghton F C, Yaglou C P. Determining equal comfort lines[J]. Journal of the American Society of Heating and Ventilating Engineers, 1923, 29: 165-176.
- [3] W H TERJU NG. Physiologic climate of the Contentious United states: A bioclimatic classification based on man[J]. Anal. A. A. G, 1996, 5(1): 141-179.
- [4] J E OLIVER. Climate and man's environment: An introduction to applied climatology[M]. New York: John Wiley & son's Inc, 1973: 195-206.
- [5] 刘继韩. 秦皇岛市旅游生理气候评价[J]. 地理学与国地研究, 1989, 5(1): 35-39.
- [6] 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): 304-311.
- [7] 刘雅星, 范广洲. 近 46 年中国冬季日均气温及极端温度的变化[J]. 成都信息工程学院学报, 2010, 25(3): 286-292.
- [8] 徐仁鹏, 廖麒麟. 川西高原马尔康旅游气候舒适度分析与评价[J]. 成都信息工程学院学报, 2014, 29(1): 97-103.
- [9] 蒋国碧, 龙良碧. 重庆市旅游气候研究——以温湿指数法进行探讨[J]. 西南师范大学学报, 1992, 17(4): 529-533.
- [10] 何静, 田永中. 重庆山地人居环境气候适宜性评价[J]. 西南大学学报, 2010, 32(9): 100-105.
- [11] 吉莉, 李家启, 李强. 北碚区近 50 年人体舒适度变化特征分析[J]. 三峡环境与生态, 2013, 35(1): 25-31.
- [12] 吉莉, 李家启, 苟思, 等. 重庆地区人体舒适度日数时空变化特征[J]. 气象与环境学报, 2014, 30(1): 88-94.
- [13] 王式功. 一种基于黄金分割法构建人体舒适度计算方法. 中国, CN 103106336 A, 20121059 6366.0[P]. 2013-05-15.
- [14] 王金亮, 王平. 香格里拉旅游气候的适宜度[J]. 热带地理, 1999, 19(3): 235-239.