

丽江市旅游气候舒适度分析评价

董自香, 赖云华*, 马妍

云南省丽江市气象局, 云南 丽江

收稿日期: 2023年8月2日; 录用日期: 2023年8月31日; 发布日期: 2023年9月6日

摘要

利用云南省丽江市4个气象观测站1990~2021年逐日的气温、风速、日照、相对湿度, 分析各要素的年变化特征, 计算各站的温湿指数、风效指数和着衣指数并构建综合气候舒适度指数, 对丽江市各县区的旅游气候的舒适性进行分析, 并探讨各气象要素变量对综合气候舒适度指数的影响程度。结果表明: 1) 丽江、永胜和宁蒍的平均气候状况较相似, 华坪气温较高、日照较充足、风速较小、相对湿度较低。2) 温湿指数处于A等级的是丽江的5~9月、永胜和宁蒍的5月和8~9月、华坪的3月, 人体感觉为凉, 非常舒适; 丽江和永胜的风效指数全年处于A~B等级, 人体感觉为舒适-暖; 着衣指数处于A等级的是丽江和宁蒍的5~9月、永胜的4~9月和华坪的2~3月及9~11月, 适宜穿着衬衫和常用便服。3) 从综合气候舒适度指数看, 丽江和永胜的舒适期为4~10月, 华坪的舒适期为2~3月和10~11月, 宁蒍的舒适期为4~10月, 其余月份为较舒适期或较不舒适期。4) 气候舒适度CCI与温度的相关关系较其它3个气象要素更密切, 而与风速的相关性较差, 温度、日照时数与CCI的正负相关性较为一致, 两者与相对湿度和CCI的正负相关性相反。

关键词

旅游气候舒适度, 温湿指数, 风效指数, 着衣指数, 丽江

Analysis and Evaluation of Tourism Climate Comfort in Lijiang

Zixiang Dong, Yunhua Lai*, Yan Ma

Lijiang Meteorological Bureau, Lijiang Yunnan

Received: Aug. 2nd, 2023; accepted: Aug. 31st, 2023; published: Sep. 6th, 2023

Abstract

Based on the daily observation of temperature, wind speed, sunshine hours and relative humidity

*通讯作者。

of 4 ground meteorological observation stations in Lijiang city from 1990 to 2021, the annual variation of meteorological factors were analyzed, and the temperature and humidity index (THI), wind efficiency index (WEI) and index of clothing (ICL) are calculated. We construct a comprehensive climate comfort index (CCI) to analyze the tourism climate comfort of each county in Lijiang city, and the influence of meteorological factors on the CCI were also discussed. Our study shows that: 1) The average climate conditions of Lijiang, Yongsheng and Ninglang are similar, with higher temperature, more sunshine, lower wind speed and lower relative humidity in Huaping. 2) The THI in grade A are May to September in Lijiang, in May and August to September in Yongsheng and Ninglang, and March in Huaping, people feel cool and very comfortable. The WEI of Lijiang and Yongsheng is in grade A~B throughout the year, and the human body feels comfortable to warm. For ICL, May to September in Lijiang and Ninglang, April to September in Yongsheng, and February to March and September to November in Huaping, are at the grade A and which are suitable for wearing shirts and casual clothes. 3) From the CCI, the comfort period of Lijiang and Yongsheng is from April to October, that of Huaping is from February to March and October to November, and that of Ninglang is from April to October, and the remaining months are relatively comfortable or less comfortable. 4) The correlation between CCI and temperature is closer than the other three meteorological elements, while the correlation between CCI and wind speed is poor. The positive and negative correlations between temperature and sunshine hours and CCI are consistent, and the two are opposite to the positive and negative correlations between relative humidity and CCI.

Keywords

Tourism Climate Comfort, Temperature and Humidity Index, Wind Efficiency Index, Index of Clothing, Lijiang

Copyright © 2023 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

随着社会经济的快速发展以及人民生活水平的不断提高,我国旅游事业蓬勃发展,人们对养生休闲的服务需求越来越高,“气候宜人”的标签成为更多旅游城市的宣传亮点。除了旅游目的地的自然景观和空气质量等因素,游客的户外休闲和旅游活动体验高度依赖于气候条件,舒适的气候条件有利于休闲养生,是促进旅游发展的关键因素。气候舒适度是影响户外活动和旅游体验的重要因素,国内学者普遍认为温度、湿度、风速和日照时数是影响旅游气候舒适度主要因素[1]。近年来,我国各地学者相继提出了许多指标及评价模型[2] [3] [4] [5],其中温湿指数、风效指数和着衣指数广泛应用于旅游气候适宜度分析和评估[6] [7] [8] [9]。

目前,许多学者对我国主要旅游城市及景点的旅游气候舒适度进行了分析评价[2] [10] [11] [12],旅游气候舒适度与客流量变化的相关性分析也有诸多研究[13] [14] [15]。马丽君等[16] [17]研究了中国热点旅游城市的气候舒适度指数,对陕西各地区的旅游舒适期进行了评价。沈营华等[18]基于对丽江老君山黎明片区气候舒适度进行分析评价,结果表明片区内各月气候舒适度均处于 $5 \leq C \leq 7$ 的较舒适等级及以上,全年为较舒适期和舒适期。曹伟宏等[19]分析了丽江旅游气候舒适度的变化及其与客流量变化相关性,研究发现国内游客流量变化全年主要受气候舒适度影响,同时还受7~8月暑假及“十一”黄金周影响。张莹等[20]计算了中国大陆九大名山风景区旅游气候舒适度指数,划分出适宜旅游的等级和时段,并对其随

纬度的变化进行了分析。

丽江位于青藏高原东南缘，滇西北横断山纵谷地带的东部，地势西北高东南低，海拔悬殊，地貌景观错综复杂，具有“一山分四季，十里不同天”的立体气候特征。丽江属于低纬高原山地季风气候，干湿季分明，日照充足，风景秀丽，自然资源丰富。同时，丽江是多民族聚集的地方，拥有多元的少数民族文化，有丽江古城、玉龙雪山、白沙壁画、虎跳峡、老君山、束河古镇等知名旅游景点。丽江作为国际著名的旅游胜地，已有学者对丽江城区和风景区旅游气候资源进行了评价，但对丽江市其他三个县的气候舒适度的研究分析还较少。本文通过分析丽江市各县区的旅游气候舒适性及其时空变化特征，以促进当地气候资源的开发利用，提高除丽江城区外的永胜、华坪、宁蒍的旅游吸引力，为当地旅游业的发展规划提供科学依据，帮助游客合理选择旅游地点和安排旅游出行时间，对助力丽江市全县区的旅游发展具有重要作用。

2. 资料和方法

2.1. 资料来源

本文采用的气温、风速、日照、相对湿度的地面气象观测资料来自 1991~2021 年丽江市 4 个国家观测站：丽江、永胜、华坪、宁蒍。4 个观测站的海拔高度分别为 2380.9 m、2130.5 m、1230.8 m、2240.5 m，其中丽江站位于丽江市玉龙县黄山镇，站点资料基本能代表玉龙县和老城区的气象要素状况。通过气温、风速、日照、相对湿度的逐日气象数据计算得到逐月平均数据对旅游气候舒适度进行分析研究。

2.2. 旅游气候舒适度的概念与评价方法

气候舒适度是指人们无需借助任何消寒、避暑措施就能保证生理过程正常进行的气象条件，其是否宜人是根据一定条件下皮肤的温度、出汗量、热感和人体调节系统所承受的负荷来确定[1] [16]。本文从影响气候舒适度最主要的因素气温、日照、风速和相对湿度出发，计算温湿指数(Temperature Humidity Index, THI)、风效指数(Wind Effect Index, WEI)和着衣指数(Index of Clothing, ICL)三项与人体关系最为密切的指标，构建综合气候舒适指数，利用统计学方法得出旅游气候舒适度的逐月变化，通过划分各县区的旅游气候舒适期对丽江市旅游气候的舒适性进行分析评估，并探讨各气象要素变量对综合气候舒适指数的影响程度。

2.2.1. 气候舒适度的指数分析

1) 温湿指数(THI)

温湿指数 THI 是通过综合温度和湿度的影响，考虑人体与周围环境的热量交换来反映人体舒适度的，最初由俄国学者 Thom 提出，后被广泛用作人体舒适度指标[1] [6]。计算公式如下：

$$THI = (1.8t + 32) - 0.55(1 - f)(1.8t - 26) \quad (1)$$

式中， t 为月平均气温(单位：℃)， f 为相对湿度(单位：%)。

2) 风效指数(WEI)

风效指数 WEI 是由 Terjung 在风寒指数基础上引入太阳辐射因子改良得到的，表示温度、风速和日照时数对人体舒适度的影响[21]。风效指数既考虑了体表散热也考虑了太阳辐射后人体的增热，它反映了体表与周围环境之间的热交换，即体表单位面积的热交换量率(正值为吸热，负值为散热)。计算公式如下：

$$WEI = -(10\sqrt{v} + 10.45 - v)(33 - t) + 8.55S \quad (2)$$

式中： t 为月平均气温(单位：℃)， v 是月平均风速(单位：m/s)， S 是平均日照时数(单位：h/d)。

3) 穿衣指数(ICL)

计算着衣指数 ICL 的标准模型是由澳大利亚学者 Freitas (1979)提出的[22],他分析了人体通过穿衣来改变气象条件的不适应性,综合了气温、风速、太阳辐射和人体代谢等多种因素,该模型在实际研究中应用广泛。着衣指数 ICL 反映了不同气候条件下人体合适的衣着,计算公式如下:

$$ICL = \frac{33-t}{0.155H} - \frac{H+aR\cos\alpha}{(0.62+19.0\sqrt{v})H} \quad (3)$$

式中: t 为摄氏温度($^{\circ}\text{C}$), H 代表人体代谢率的 75%, 取轻活动量下的代谢率, $H = 87 \text{ W/m}^2$; α 表示人体对太阳辐射的吸收情况, 取 $\alpha = 0.06$; R 表示垂直阳光的单位面积土地所接收的太阳辐射, 取太阳常数 $R = 1367 \text{ W/m}^2$; α 是太阳高度角, 取平均状况, 设纬度为 β , 夏季各地太阳高度角为 $90^{\circ} - \beta + 23^{\circ}26'$, 冬季时各地太阳高度角为 $90^{\circ} - \beta - 23^{\circ}26'$, 春秋各地太阳高度角为 $90^{\circ} - \beta$; v 是地面风速(m/s)。

根据 THI、WEI、ICL 三个指标的数值大小, 将旅游气候舒适度划分为最舒适、舒适、较不舒适、不舒适和极不舒适 5 个级别, 依次赋值 9、7、5、3、1, 各指数值采用的分级标准、人体感觉和评分值见表 1 [1] [23] [24] [25]。

Table 1. The grading standard and assignment of THI, WEI and ICL

表 1. 温湿指数、风效指数和穿衣指数的分级标准及赋值

温湿指数(THI)		风效指数(WEI)		穿衣指数(ICL)		等级评分	
分级值	人体感觉	分级值	人体感觉	分级值	适宜衣着	等级	评分
<40	极冷, 极不舒适	<-1200	酷冷	>2.5	羽绒或毛皮衣	e	1
40~45	寒冷, 不舒适	-1200~-1000	冷	1.8~2.5	便服加坚实外套	d	3
45~55	偏冷, 较不舒适	-1000~-800	冷凉	1.5~1.8	冬季常用服装	c	5
55~60	清凉, 舒适	-800~-600	凉	1.3~1.5	春秋常用便服	b	7
60~65	凉, 非常舒适	-600~-300	舒适	0.7~1.3	衬衫和常用便服	A	9
65~70	暖, 舒适	-300~-200	暖	0.5~0.7	轻便夏服	B	7
70~75	偏热, 较舒适	-200~-50	暖热	0.3~0.5	短袖开领衫	C	5
75~80	闷热, 不舒适	-50~80	热	0.1~0.3	热带单衣	D	3
>80	极其闷热, 极不舒适	>80	炎热	<0.1	超短裙、裤和短袖	E	1

2.2.2. 综合气候舒适度指数(CCI)

以温湿指数、风效指数和穿衣指数为基础构建综合舒适度指数, 参考其他分析研究的方法[18] [26], 计算公式如下:

$$CCI = 0.6X_{THI} + 0.3X_{WEI} + 0.1X_{ICL} \quad (4)$$

式中: X_{THI} 、 X_{WEI} 和 X_{ICL} 分别为温湿指数评分值、风效指数评分值和穿衣指数评分值, 各指数的权重系数分别为 0.6、0.3、0.1。综合气候舒适度指数 CCI 的划分标准: 当 $7 \leq CCI \leq 9$ 时评价为舒适; $5 \leq CCI < 7$ 时评价为较舒适; $3 < CCI < 5$ 时评价为较不舒适; $1 < CCI \leq 3$ 时评价为不舒适。

3. 结果与分析

3.1. 气候因子变化特征分析

为了解丽江市各县区的多年平均气候状况, 统计得到 4 个国家观测站的温度、日照、风速、相对湿

度的年平均值和月平均最大值和最小值见表 2。丽江年平均气温为 13.3℃，6 月平均气温 19.1℃为全年最高，1 月平均气温 6.7℃为全年最低。年平均日照时数为 6.6 h/d，12 月平均日照时数 8.3 h/d 为全年最长，7 月平均日照时数 3.9 h/d 为全年最短。年平均风速为 2.8 m/s，3 月平均风速 4.0 m/s 为全年最大，8 月平均风速 1.7 m/s 为全年最小。年平均相对湿度为 61.3%，9 月平均相对湿度 82.0%为全年最高，2 月平均相对湿度 42.7%为全年最低。

Table 2. Annual average, maximum and minimum values of temperature, sunshine hours, wind speed and relative humidity at four representative stations in Lijiang

表 2. 丽江市 4 个代表站温度、日照、风速、相对湿度的年平均值、最大值和最小值

	温度(℃)			日照(h/d)			风速(m/s)			相对湿度(%)		
	平均值	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值
丽江	13.3	19.1	6.7	6.6	8.3	3.9	2.8	4.0	1.7	61.3	82.0	42.7
永胜	14.0	20.0	6.6	6.2	7.8	3.7	2.5	3.2	1.6	66.7	83.6	49.3
华坪	19.8	25.6	11.7	6.9	8.9	4.6	1.6	2.2	1.2	62.1	80.4	37.0
宁蒍	12.7	19.6	4.3	6.5	8.3	4.0	2.3	3.2	1.5	67.9	82.3	51.9

永胜年平均气温为 14.0℃，6 月平均气温 20.0℃为全年最高，1 月平均气温 6.6℃为全年最低。年平均日照时数为 6.2 h/d，2 月平均日照时数 7.8 h/d 为全年最长，7 月平均日照时数 3.7 h/d 为全年最短。年平均风速为 2.5 m/s，2 月平均风速 3.2 m/s 为全年最大，8 月平均风速 1.6 m/s 为全年最小。年平均相对湿度为 66.7%，8 月达 83.6%，为全年最高，3 月 49.3%为全年最低。

华坪年平均气温为 19.8℃，6 月平均气温 25.6℃为全年最高，1 月平均气温 11.7℃为全年最低。年平均日照时数为 6.9 h/d，4 月平均日照时数 8.9 h/d 为全年最长，9 月平均日照时数 4.6 h/d 为全年最短。年平均风速为 1.6 m/s，3 月和 4 月平均风速 2.2 m/s 为全年最大，12 月平均风速 1.2 m/s 为全年最小。年平均相对湿度为 62.1%，9 月平均相对湿度 80.4%为全年最高，3 月 37.0%为全年最低。

宁蒍年平均气温为 12.7℃，6 月平均气温 19.6℃为全年最高，1 月平均气温 4.3℃为全年最低。年平均日照时数为 6.5 h/d，2 月平均日照时数 8.3 h/d 为全年最长，7 月平均日照时数 4.0 h/d 为全年最短。年平均风速为 2.3 m/s，3 月平均风速 3.2 m/s 为全年最大，8 月平均风速 1.5 m/s 为全年最小。年平均相对湿度为 67.9%，8 月相对湿度达 82.3%，为全年最高，3 月 51.9%为全年最低。

图 1 为 1991~2021 年丽江市各代表站月平均气温、月平均日照、月平均风速、月平均相对湿度的变化。可见，四地的温度、日照时数、相对湿度都有明显的季节变化，除丽江的风速年变化幅度较其他三个地区明显，其他三个气候要素在各地的变化趋势都比较一致。温度的年变化呈明显的单峰型，各地区的最高平均温度都出现在 6 月份，华坪的温度在全年都较其他三个站高。冬春季节日照较充足，除华坪的平均日照时数在 9 月份最少外，丽江、永胜、宁蒍的日照时数均在 7 月份最少。丽江的风速在 1~5 月明显较大，永胜和宁蒍的风速值最接近，且变化趋势最为一致，华坪的月平均风速值在全年都较其他地方小。

3.2. 指数分析

利用 1981~2021 年丽江市 4 个国家观测站的月平均气温、平均风速、平均日照时数、平均相对湿度数据，根据温湿指数、风效指数和着衣指数计算方法，计算得到丽江、永胜、华坪、宁蒍的月平均温湿指数值、风效指数值和着衣指数值和等级。

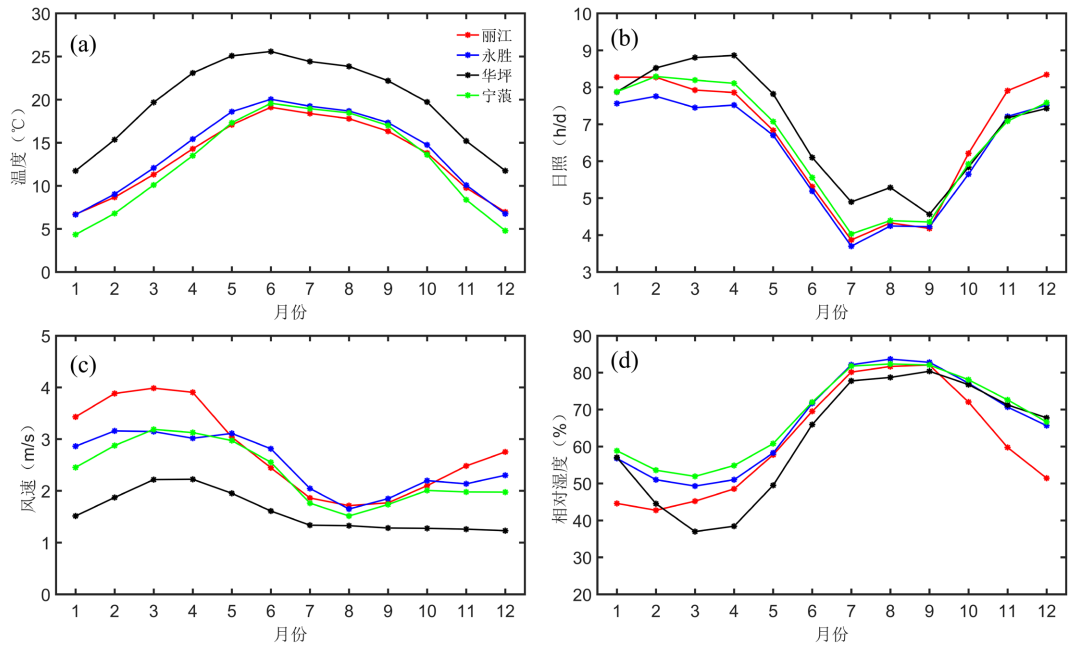


Figure 1. Annual variation of average temperature, wind speed, sunshine hours and relative humidity at every representative station in Lijiang

图 1. 丽江市各代表站平均气温、日照、风速、相对湿度的年变化

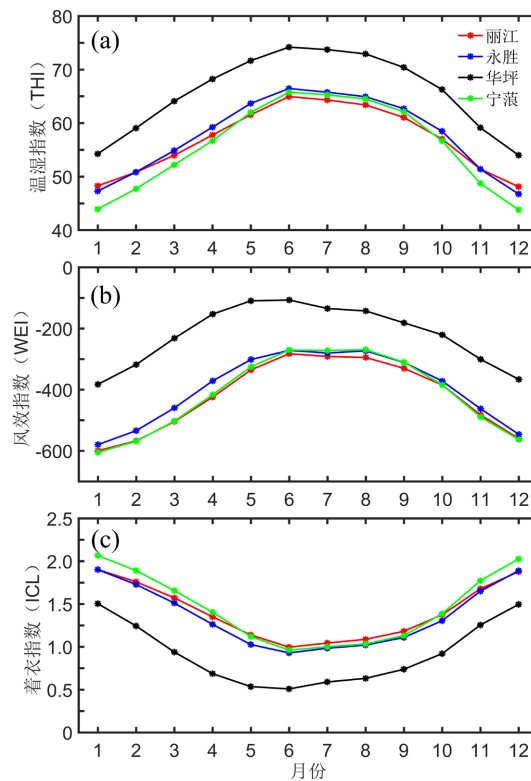


Figure 2. Annual variation of temperature humidity index, wind effect index and index of clothing at every representative stations in Lijiang

图 2. 丽江市各代表站温湿指数、风效指数、着衣指数的年变化

图2为丽江市各代表站温湿指数、风效指数、着衣指数的年变化。表3为丽江市各县(区)的月平均温湿指数值和等级。可见,4个代表站全年的温湿指数、风效指数和着衣指数均呈单峰分布,均有明显的季节变化,且年变化趋势基本一致。THI在6月和7月较大,丽江分别为64.94、64.31,宁蒍分别为65.77、65.28,均属于A等级;永胜分别为66.45、65.75,均属于B等级;华坪分别为74.78、73.72,均属于C等级。WEI在6月份最大,丽江、永胜和宁蒍分别为-282.60、-271.61、-270.61均属于B等级;华坪为-106.92,属于C等级。ICL在6月份最小,丽江、永胜和宁蒍分别为1.00、0.93和0.96,均属于A等级;华坪为0.51,属于B等级。相较而言,丽江、永胜和宁蒍的3个指标较为接近,而华坪的温湿指数和风效指数更大、着衣指数更小。

Table 3. The monthly average value and grade of the temperature humidity index in each county of Lijiang

表 3. 丽江市各县(区)的月平均温湿指数值和等级

月份	丽江		永胜		华坪		宁蒍	
	THI	等级(人体感觉)	THI	等级(人体感觉)	THI	等级(人体感觉)	THI	等级(人体感觉)
1	48.26	c(偏冷,较不舒服)	47.28	c(偏冷,较不舒服)	54.24	c(偏冷,较不舒服)	43.92	d(寒冷,不舒服)
2	50.81	c(偏冷,较不舒服)	50.83	c(偏冷,较不舒服)	59.04	b(清凉,舒适)	47.70	c(偏冷,较不舒服)
3	53.97	c(偏冷,较不舒服)	54.86	c(偏冷,较不舒服)	64.09	A(凉,非常舒适)	52.18	c(偏冷,较不舒服)
4	57.75	b(清凉,舒适)	59.23	b(清凉,舒适)	68.22	B(暖,舒适)	56.68	b(清凉,舒适)
5	61.54	A(凉,非常舒适)	63.67	A(凉,非常舒适)	71.65	C(偏热,较舒适)	61.99	A(凉,非常舒适)
6	64.94	A(凉,非常舒适)	66.45	B(暖,舒适)	74.18	C(偏热,较舒适)	65.77	B(暖,舒适)
7	64.31	A(凉,非常舒适)	65.75	B(暖,舒适)	73.72	C(偏热,较舒适)	65.28	B(暖,舒适)
8	63.39	A(凉,非常舒适)	64.92	A(凉,非常舒适)	72.92	C(偏热,较舒适)	64.50	A(凉,非常舒适)
9	61.04	A(凉,非常舒适)	62.68	A(凉,非常舒适)	70.39	C(偏热,较舒适)	62.12	A(凉,非常舒适)
10	57.00	b(清凉,舒适)	58.47	b(清凉,舒适)	66.27	B(暖,舒适)	56.67	b(清凉,舒适)
11	51.40	c(偏冷,较不舒服)	51.39	c(偏冷,较不舒服)	59.13	b(清凉,舒适)	48.73	c(偏冷,较不舒服)
12	48.11	c(偏冷,较不舒服)	46.74	c(偏冷,较不舒服)	53.99	c(偏冷,较不舒服)	43.80	d(寒冷,不舒服)

从温湿指数分析,THI从1月开始逐渐增大,6月份增至最大值之后逐渐减小。冬季温湿指数偏低,春季和秋季适中。丽江和永胜气候条件较相似,在11月~次年3月人体感觉为偏冷,较不舒服(c等级),在4月和10月感觉为清凉,舒适(b等级)。丽江在5~9月都感觉为凉,非常舒适(A等级);而永胜在6~7月感觉为暖,舒适(B等级),在5月、8~9月感觉为凉,非常舒适。华坪在5~9月感觉为偏热,较舒适(C等级),在3月感觉为凉,非常舒适,在4月和10月感觉为暖,舒适,在2月和11月感觉为清凉,舒适,在1月和12月感觉为偏冷,较不舒服。宁蒍在5月和8~9月人体感觉为凉,非常舒适,在6~7月感觉为暖,舒适,在4月和10月感觉为清凉,舒适。

表4为丽江市各县(区)的月平均风效指数值和等级。从风效指数分析,丽江和永胜在9月~次年5月人体感觉为舒适风(A等级),在6~8月感觉为暖风(B等级)。华坪在11月至次年2月人体感觉为舒适风,在3月和10月感觉为暖风,在4~9月感觉为暖热风(C等级)。宁蒍人体感觉为舒适风的月份为2~5月和9~12月,在6~8月感觉为暖风,而在1月感觉为凉风(b等级)。总体而言,丽江和永胜的风效指数全年处于A~B等级,人体感觉为舒适-暖,华坪和宁蒍舒适度相对较差。

Table 4. The monthly average value and grade of the wind effect index in each county of Lijiang
表 4. 丽江市各县(区)的月平均风效指数值和等级

月份	丽江		永胜		华坪		宁蒍	
	THI	等级(人体感觉)	THI	等级(人体感觉)	THI	等级(人体感觉)	THI	等级(人体感觉)
1	-599.77	A(舒适)	-579.73	A(舒适)	-382.72	A(舒适)	-605.12	b(凉)
2	-567.43	A(舒适)	-534.14	A(舒适)	-318.12	A(舒适)	-568.71	A(舒适)
3	-504.56	A(舒适)	-459.68	A(舒适)	-231.88	B(暖)	-502.70	A(舒适)
4	-424.30	A(舒适)	-371.28	A(舒适)	-152.99	C(暖热)	-416.57	A(舒适)
5	-335.38	A(舒适)	-301.56	A(舒适)	-109.59	C(暖热)	-325.19	A(舒适)
6	-282.60	B(暖)	-271.61	B(暖)	-106.92	C(暖热)	-270.61	B(暖)
7	-291.51	B(暖)	-280.20	B(暖)	-134.79	C(暖热)	-272.04	B(暖)
8	-294.87	B(暖)	-273.24	B(暖)	-142.74	C(暖热)	-269.46	B(暖)
9	-330.55	A(舒适)	-311.22	A(舒适)	-181.73	C(暖热)	-310.44	A(舒适)
10	-385.00	A(舒适)	-372.03	A(舒适)	-220.84	B(暖)	-384.93	A(舒适)
11	-482.74	A(舒适)	-462.60	A(舒适)	-300.75	A(舒适)	-489.37	A(舒适)
12	-559.86	A(舒适)	-546.41	A(舒适)	-366.49	A(舒适)	-563.18	A(舒适)

Table 5. The monthly average value and grade of the index of clothing in each county of Lijiang
表 5. 丽江市各县(区)的月平均着衣指数值和等级

月份	丽江		永胜		华坪		宁蒍	
	ICL	等级(适宜着装)	ICL	等级(适宜着装)	ICL	等级(适宜着装)	ICL	等级(适宜着装)
1	1.90	d(便服加坚实外套)	1.90	d(便服加坚实外套)	1.50	c(冬季常用服装)	2.07	d(便服加坚实外套)
2	1.76	c(冬季常用服装)	1.73	c(冬季常用服装)	1.24	A(衬衫和常用便服)	1.89	d(便服加坚实外套)
3	1.57	c(冬季常用服装)	1.51	c(冬季常用服装)	0.94	A(衬衫和常用便服)	1.66	c(冬季常用服装)
4	1.35	b(春秋常用便服)	1.26	A(衬衫和常用便服)	0.69	B(轻便夏服)	1.40	b(春秋常用便服)
5	1.14	A(衬衫和常用便服)	1.03	A(衬衫和常用便服)	0.54	B(轻便夏服)	1.12	A(衬衫和常用便服)
6	1.00	A(衬衫和常用便服)	0.93	A(衬衫和常用便服)	0.51	B(轻便夏服)	0.96	A(衬衫和常用便服)
7	1.04	A(衬衫和常用便服)	0.98	A(衬衫和常用便服)	0.59	B(轻便夏服)	1.00	A(衬衫和常用便服)
8	1.09	A(衬衫和常用便服)	1.02	A(衬衫和常用便服)	0.63	B(轻便夏服)	1.03	A(衬衫和常用便服)
9	1.18	A(衬衫和常用便服)	1.11	A(衬衫和常用便服)	0.74	A(衬衫和常用便服)	1.13	A(衬衫和常用便服)
10	1.37	b(春秋常用便服)	1.30	b(春秋常用便服)	0.92	A(衬衫和常用便服)	1.39	b(春秋常用便服)
11	1.68	c(冬季常用服装)	1.65	c(冬季常用服装)	1.25	A(衬衫和常用便服)	1.77	c(冬季常用服装)
12	1.88	d(便服加坚实外套)	1.89	d(便服加坚实外套)	1.50	b(春秋常用便服)	2.03	d(便服加坚实外套)

表 5 为丽江市各县(区)的月平均着衣指数值和等级。从着衣指数分析, 丽江和永胜在 5~9 月都适宜穿着衬衫和常用便服(A 等级), 2~3 月和 11 月适宜穿着冬季常用服装(c 等级), 1 月和 12 月适宜穿着便服加坚实外套(d 等级), 10 月适宜穿着春秋常用便服(b 等级); 丽江和永胜在 4 月分别适宜穿着春秋常用便服、衬衫和常用便服。华坪在 4~8 月适宜穿着轻便夏服(B 等级), 在 2~3 月和 9~11 月适宜穿着衬衫和常

用便服, 在 1 月、12 月分别适宜穿着冬季常用服装、春秋常用便服。宁蒗在 5~9 月适宜穿着衬衫和常用便服, 在 12 月至次年 2 月适宜穿着便服加坚实外套, 在 3 月和 11 月适宜穿着冬季常用服装, 在 4 月和 10 月适宜穿着春秋常用便服。

3.3. 综合气候舒适度指数的年变化

按照综合气候舒适度指数计算方法, 计算得出丽江、永胜、宁蒗、华坪各月的综合气候舒适度指数值, 按照分段标准划分丽江市各县区的旅游气候舒适度见表 6。

Table 6. Monthly average comprehensive climate comfort index (CCI) and its grades in each county of Lijiang
表 6. 丽江市各县区的月平均综合气候舒适度指数(CCI)及其等级

月份	丽江		永胜		华坪		宁蒗	
	CCI	等级	CCI	等级	CCI	等级	CCI	等级
1	6	较舒适	6	较舒适	6.2	较舒适	4.2	较不舒适
2	6.2	较舒适	6.2	较舒适	7.8	舒适	6.0	较舒适
3	6.2	较舒适	6.2	较舒适	8.4	舒适	6.2	较舒适
4	7.6	舒适	7.8	舒适	6.4	较舒适	7.6	舒适
5	9.0	舒适	9.0	舒适	5.2	较舒适	9.0	舒适
6	8.4	舒适	7.2	舒适	5.2	较舒适	7.2	舒适
7	8.4	舒适	7.2	舒适	5.2	较舒适	7.2	舒适
8	8.4	舒适	8.4	舒适	5.2	较舒适	8.4	舒适
9	9.0	舒适	9.0	舒适	5.4	较舒适	9.0	舒适
10	7.6	舒适	7.6	舒适	7.2	舒适	7.6	舒适
11	6.2	较舒适	6.2	较舒适	7.8	舒适	6.2	较舒适
12	6.0	较舒适	6.0	较舒适	6.4	较舒适	4.8	较不舒适

丽江和永胜的旅游舒适期为 4~10 月, 其余时段为较舒适期, 这两地舒适气候期持续时间长, 冬稍严寒夏无酷暑气候凉爽湿润人体感觉较舒适, 具有较好的旅游气候优势。华坪的旅游舒适期为 2~3 月和 10~11 月, 其余月份为较舒适期, 夏季气温高且持续时间长, 人体通常感觉炎热而较不舒适, 但冬季无严寒, 人体感觉舒适, 是人们避寒的好去处。宁蒗的旅游舒适期为 4~10 月, 较舒适期为 2~3 月和 11 月, 较不舒适期为 12 月和 1 月。可见, 丽江、永胜、华坪气候舒适度处于舒适和较舒适等级之间, 而宁蒗有 2 个月为较不舒适期, 旅游气候舒适度较另外 3 个县区稍差, 是影响旅游吸引力的不利因素。

3.4. 4 个气候要素与气候舒适指数的相关性

为分析温度、日照时数、相对湿度、风速 4 个要素对综合气候舒适度指数(CCI)的影响, 计算丽江市四个国家站各月平均温度、日照时数、平均风速、平均相对湿度与 CCI 的相关系数, 并以显著性水平 $\alpha = 0.05$ 做统计检验, 结果如图 3 所示(相关系数表略)。

温度较其它 3 个气象要素与 CCI 相关关系更为密切。丽江站除 5 月份相关不显著外, 其他 11 个月均相关显著, 2~3 月相关性最好, 相关系数分别达 0.88 和 0.87, 6~8 月为负相关(温度越低, 越舒适), 其他月份为正相关(温度越高, 越舒适)。永胜除 9 月份相关不显著外, 5~8 月份为负相关, 其他月份为正相关, 3 月、5 月和 10 月相关性较好, 相关系数绝对值大于 0.8; 华坪站 12 个月均呈显著相关, 3~10 月份为负

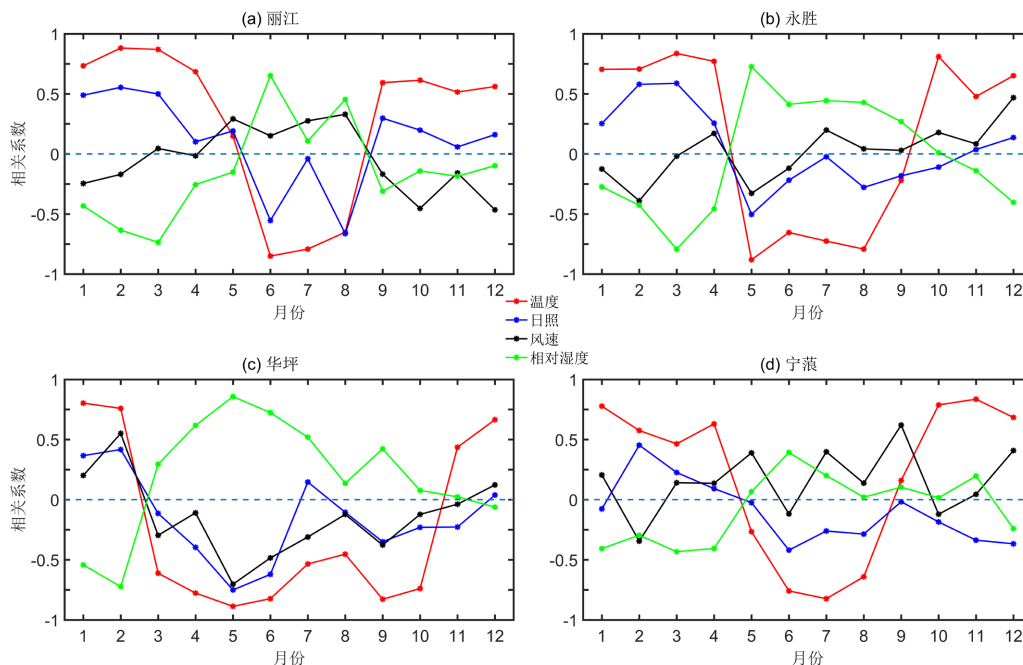


Figure 3. Annual variation of correlation coefficient between climate comfort index and 4 climate elements in each county of Lijiang

图 3. 丽江市各县(区)气候舒适指数与 4 个气候要素相关系数的年变化

相关, 5 月份负相关最强(-0.89), 其他月份为正相关, 1 月份正相关最强(0.80); 宁蒍除 5 月和 9 月相关不显著外, 6~8 月份为负相关, 7 月份负相关最强(-0.82); 其他月份为正相关, 11 月份正相关最强(0.84)。

从相对湿度与 CCI 相关性看, 丽江站 1~3 月为显著负相关(相对湿度越小, 越舒适), 3 月负相关最强(-0.74); 6 月和 8 月呈显著正相关(相对湿度越大, 越舒适), 其他月份相关不显著。永胜站 2~4 月和 12 月显著负相关, 3 月负相关关系最好(-0.79); 5~8 月为显著正相关, 5 月正相关关系最好(0.73); 其他月份相关不显著。华坪站 1~2 月呈显著负相关, 4~7 月和 9 月呈显著正相关, 5 月相关关系最好(0.86), 其他月份相关不显著。宁蒍站 1 月、3~4 月呈显著负相关, 6 月有显著正相关, 其他月份相关不显著。

从日照时数与 CCI 相关性分析, 丽江站 1~3 月呈显著正相关(日照时数越大, 越舒适), 6 月和 8 月呈显著负相关(日照时数越小, 越舒适), 8 月负相关关系最好(-0.66), 其他月份相关不显著。永胜站在 2 月和 3 月为显著正相关, 相关系数分别为 0.58、0.59, 5 月有显著负相关(-0.5), 其他月份相关不显著。华坪站 4~6 月显著负相关, 5 月负相关关系最好(-0.75), 1 月和 2 月显著正相关, 其他月份相关不显著。宁蒍站在 2 月呈显著正相关, 6 月和 12 月有显著的弱负相关关系, 其他月份相关不显著。

风速与 CCI 的相关关系最不好, 相关系数大多没有通过显著性检验。丽江站没有显著正相关(风速越大, 越舒适)的月份, 10、12 月为显著负相关(风速越小, 越舒适), 其他月份相关不显著。永胜站在 2 月为显著的弱负相关(-0.39), 12 月为显著正相关(0.47), 其他月份相关不显著。华坪站 5~6 月和 9 月有显著负相关, 5 月负相关最强(-0.70), 2 月有显著正相关(0.55), 其他月份相关不显著。宁蒍站在 5 月、7 月、9 月和 12 月有显著正相关, 9 月份相关性较好(0.62), 其他月份相关不显著。

温度较其它 3 个气象要素与 CCI 相关关系更为密切, 是游客考虑外出旅游的主要因素。温度、日照时数与 CCI 的正负相关性较为一致, 两者与相对湿度和 CCI 的正负相关性相反。

4. 结论和讨论

丽江、永胜、华坪、宁蒍的气象要素有明显的年变化, 且变化趋势基本一致。4 个地区年平均温度

分别为 13.3℃、14.0℃、19.8℃、12.7℃，年平均日照分别为 6.6 h/d、6.2 h/d、6.9 h/d、6.5 h/d，年平均风速分别为 2.8 m/s、2.5 m/s、1.6 m/s、2.3 m/s，年平均相对湿度分别为 61.3%、66.7%、62.1%、67.9%。相对而言，华坪气温较高、日照较充足、风速较小、相对湿度较低，丽江、永胜和宁蒍的平均气候状况较相似。

从温湿指数看，丽江的 5~9 月、永胜和宁蒍的 5 月和 8~9 月、华坪的 3 月处于 A 等级，人体感觉为凉，非常舒适；丽江、永胜和宁蒍的 4 月和 10 月，以及华坪的 2 月和 11 月为 b 等级，人体感觉为清凉，舒适，其余月份人体感觉较差。丽江和永胜的风效指数全年处于 A~B 等级，人体感觉为舒适 - 暖；除了 A、B 等级外，华坪的风效指数在 3~8 月处于 C 等级，人体感觉为暖热，宁蒍的风效指数在 1 月处于 b 等级，人体感觉为凉。从着衣指数看，丽江和宁蒍的 5~9 月、永胜的 4~9 月和华坪的 2~3 月及 9~11 月着衣指数处于 A 等级，适宜穿着衬衫和常用便服，最适宜旅游。

丽江和永胜的综合气候舒适度全年为舒适、较舒适等级，其中 4~10 月为舒适期，其余月份为较舒适期，具有较好的旅游气候条件。华坪 2~3 月和 10~11 月为舒适期，其余月份为较舒适期。宁蒍 4~10 月为舒适期、2~3 月和 11 月为较舒适期、1 月和 12 月为较不舒适期，旅游气候舒适度相对较差。丽江、永胜和华坪适宜旅游时间较长，宁蒍较短，总体而言，丽江市各县区的气候条件对发展旅游业是得天独厚。

气候舒适度 CCI 与温度、日照、风速和相对湿度有一定的相关性。温度作为游客考虑外出旅游的主要因素，较其它 3 个气象要素与 CCI 相关关系最为密切，基本都通过了 $\alpha = 0.05$ 显著性检验，而风速与 CCI 相关性较差，基本没有通过显著性检验。温度、日照时数与 CCI 的正负相关性较为一致，两者与相对湿度和 CCI 的正负相关性相反。

参考文献

- [1] 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(4): 17-24.
- [2] 党冰, 张博凯, 李佳耘, 等. 平凉市崆峒山旅游气候及人体舒适度特征分析[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2012, 48(2): 75-79.
- [3] 黄东林. 桂林市旅游气候舒适度评价[J]. 气象研究与应用, 2010, 31(3): 27-29.
- [4] 陈洪升, 许玉凤. 1961-2017 年荔波县旅游气候舒适度分析[J]. 绿色科技, 2022, 24(14): 186-189+262.
- [5] 胡桂萍, 李正泉, 邓霞君. 丽水市旅游气候舒适度分析[J]. 气象科技, 2015, 43(4): 769-774.
- [6] 党冰, 王式功, 尚可政. 甘肃平凉市的旅游气候舒适度评价[J]. 干旱气象, 2013, 31(4): 684-689.
- [7] 李秋, 仲桂清. 环渤海地区旅游气候资源评价[J]. 干旱区资源与环境, 2005(2): 149-153.
- [8] 李佳恩, 刘永吉, 刘园园. 四川省攀枝花市气候舒适度时空特征分析[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2022, 47(9): 91-98.
- [9] 黎景锐, 罗怀良, 严椰篱, 等. 近 60 年庐山旅游气候舒适度变化特征分析[J]. 四川师范大学学报(自然科学版), 2022, 45(2): 262-269.
- [10] 黄海智, 黄萍. 三亚市旅游气候舒适度评价[J]. 气象研究与应用, 2010, 31(4): 70-73+78.
- [11] 陈永涛. 云南省旅游气候舒适度评价[J]. 生态经济: 学术版, 2013(2): 305-310+324.
- [12] 卢山, 郭勇, 郑江平, 等. 云贵高原 3 个旅游城市气候舒适度及其康养效应研究[J]. 干旱气象, 2021(2): 317-325.
- [13] 孙根年, 马丽君. 西安旅游气候舒适度与客流量年内变化相关性分析[J]. 旅游学刊, 2007(7): 34-39.
- [14] 陈冬冬, 章锦河, 刘法建. 黄山旅游气候舒适度与客流量变化相关性分析[J]. 资源开发与市场, 2008(7): 607-609+617.
- [15] 马丽君, 孙根年, 康国栋, 等. 北京旅游气候舒适度与客流量年内变化相关分析[J]. 干旱区资源与环境, 2009, 23(2): 95-100.
- [16] 马丽君, 孙根年, 李馥丽, 等. 陕西省旅游气候舒适度评价[J]. 资源科学, 2007, 29(6): 40-44.
- [17] 马丽君, 孙根年. 中国热点城市旅游气候舒适度评价[J]. 陕西师范大学学报(自然科学版), 2009, 37(2): 96-102.

- [18] 沈莹华. 丽江老君山黎明片区气候舒适度分析与评价[J]. 山西农经, 2019(12): 71-74.
- [19] 曹伟宏, 何元庆, 李宗省, 等. 丽江旅游气候舒适度与年内客流量变化相关性分析[J]. 地理科学, 2012, 32(12): 1459-1464.
- [20] 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[J]. 气象, 2013, 39(9): 1221-1226.
- [21] Terjung, W.H. (1996) 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>
- [22] De Freitas, C.R. (1979) Human Climates of Northern China. *Atmospheric Environment*, **13**, 71-77.
[https://doi.org/10.1016/0004-6981\(79\)90246-4](https://doi.org/10.1016/0004-6981(79)90246-4)
- [23] 刘凤梅, 胡生江, 李利平, 等. 吕梁市旅游气候舒适度研究[J]. 农业灾害研究, 2022, 12(1): 78-80.
- [24] 严霜, 董廷旭, 杜华明, 等. 四川省旅游气候舒适度评价[J]. 高原山地气象研究, 2019, 39(1): 74-80+86.
- [25] 刘清春, 王铮, 许世远. 中国城市旅游气候舒适性分析[J]. 资源科学, 2007(1): 133-141.
- [26] 黎大美, 何珊. 贺州市人居环境气候舒适度特征分析[J]. 气象研究与应用, 2017, 38(1): 117-121.