

孙银川,王素艳,李浩,等.宁夏六盘山区夏季避暑旅游气候舒适度分析[J].干旱气象,2018,36(6):1035-1042.[SUN Yinchuan, WANG Suyan, LI Hao, et al. Effect Analysis of Climate Change on Summer Tourism Climate Comfortableness in Liupan Mountain Areas of Ningxia[J]. Journal of Arid Meteorology, 2018, 36(6):1035-1042], DOI:10.11755/j.issn.1006-7639(2018)-06-1035

## 宁夏六盘山区夏季避暑旅游 气候舒适度分析

孙银川<sup>1,2</sup>,王素艳<sup>1,2</sup>,李浩<sup>3</sup>,郑广芬<sup>1</sup>,王璠<sup>2</sup>,官景得<sup>1</sup>

(1. 中国气象局旱区特色农业气象灾害监测预警与风险管理重点实验室,宁夏 银川 750002;

2. 宁夏回族自治区气候中心,宁夏 银川 750002;3. 宁夏回族自治区平罗县气象局,宁夏 平罗 753400)

**摘要:**采用1981年以来宁夏六盘山区各地夏季气象资料,从体感温度角度分析不同舒适度等级日数分布特征及其有直接影响的气温、相对湿度和风速的效应。结果表明:(1)六盘山气候湿凉,不适宜避暑;其他地区年平均适宜避暑日数57.5~68.6 d,其中最适宜日数10.9~17.9 d,均以7月最多。(2)随着气候变暖,避暑旅游舒适度提高,适宜避暑日数显著增加,增加幅度2.8~5.1 d·(10 a)<sup>-1</sup>,除海原外其他地区最适宜日数增加最多,增加幅度为2.0~2.7 d·(10 a)<sup>-1</sup>;6月适宜避暑日数的显著增加对整个夏季适宜避暑日数的增加贡献最大。(3)各地适宜避暑日数在1994—2004年间发生突变,突变后达到64.8~71.6 d,占夏季日数的70.4%~77.8%。(4)总体上,气温升高和风速减小对六盘山区避暑旅游气候舒适度具有正效应,相对湿度减小为负效应,气候由冷凉湿润变得更加温热干爽。

**关键词:**气候变化;六盘山区;避暑旅游气候舒适度;效应

**文章编号:**1006-7639(2018)06-1035-08 DOI:10.11755/j.issn.1006-7639(2018)-06-1035

**中图分类号:**P467

**文献标志码:**A

### 引言

宁夏六盘山区位于宁夏南部的黄土高原之上,北齐海原,南至泾源,海拔在1700 m以上,为近南北走向的狭长地带,南高北低,山脊海拔超过2500 m,最高峰米缸山达2942 m。由于六盘山区气候属温带半湿润向半干旱过渡带,具有大陆性和海洋季风边缘气候特点,光热资源较少,冬少严寒,夏无酷暑,有“春去秋来无盛夏”之说。由于其得天独厚的气候资源,特别是夏天,凉爽宜人,自古以来便是避暑游览的胜地。六盘山区优越的自然地理环境,丰富的自然植被资源,被誉为“沙漠中的绿洲”,其独特的自然风光,传奇的民俗文化和长征文化,为旅游开发奠定了良好的基础。但同时六盘山区也是全国11个连片特困地区扶贫攻坚主战场。近年来,宁夏固原市委、市政府坚持“生态立市”战略,依托生态六盘、古秦长城、丝路文化、红色长征和回乡风情等

特色资源,形成“一心两翼”的旅游发展格局,树立“红色六盘、绿色固原、避暑胜地”形象,力争把六盘山生态旅游区打造成为半干旱地区生态旅游示范基地,旅游开发已成为宁夏六盘山区重要的扶贫手段之一<sup>[1]</sup>。

气候舒适度是指无需借助任何消寒、避暑措施就能保证生理过程正常进行的气候条件,是影响游客户外活动最重要的环境因素之一<sup>[2]</sup>。国外有关气候舒适度的评价研究已有近50 a历史,早在1966年TERJUNG就提出了舒适指数和风效指数的概念<sup>[3]</sup>;1973年OLIVER建立了温湿指数和风寒指数<sup>[4]</sup>;1985年HOUGHTON提出了气候舒适度模型<sup>[5]</sup>。这些指标及模型被广泛应用到人体舒适度预报、旅游气候舒适度评价和城市规划等方面。GIS技术在旅游气候舒适度方面的应用也取得了很好的效果<sup>[6-7]</sup>。国内对旅游气候的研究始于1980年

收稿日期:2018-04-24;改回日期:2018-06-06

基金项目:中国气象局气候变化专项“气候变化及生态移民对六盘山自然保护区气候旅游资源的影响评估”(CCSF201724)资助

作者简介:孙银川(1968—),男,宁夏银川人,硕士,高级工程师,主要从事应用气候业务与研究。E-mail:sunyc@126.com。

通信作者:王素艳(1974—),女,宁夏中宁人,硕士,正高级工程师,主要从事气候、气候资源及气候灾害评估方面的工作。E-mail:nxwscy\_cn@sina.com。

代<sup>[8-9]</sup>,陆林<sup>[10]</sup>指出旅游客流季节变化的主导因素是自然季节性因素,特别是气象气候因素。随着旅游业的发展及气候变暖的影响,气候与旅游需求研究越来越受到重视,针对不同地区的旅游气候模型的构建研究不断增多,很多学者从温湿指数、风效指数和着衣指数等单指数或对三者确定不同权重建立综合指数对不同地域的旅游气候舒适度进行评价<sup>[11-13]</sup>,也有研究综合气温、日照、降水、雾日、风速、相对湿度和大气污染物浓度等气候指标建立评价指标<sup>[14-22]</sup>。张玉兰等<sup>[23]</sup>根据温湿指数、风效指数对1970—2000年平均气候条件下宁夏各地逐月旅游适宜度进行了评价,由于其资料到2000年截止,距今已过去17a,而且仅评价了月资源,在气候变暖的背景下,已远不能满足当前发展需求。

随着气候变暖,夏季极端高温事件增多增强<sup>[24]</sup>,避暑已成为夏季出游的主要动机和需求。而气候变化对宁夏六盘山区避暑旅游气候舒适度的影响研究较少,因此本文基于人体体感温度,综合考虑对体感温度有直接影响的气温、相对湿度和风速,分析其变化对六盘山区夏季避暑旅游气候舒适度的效应,为打造“避暑胜地”和“气候公园”形象、生态旅游资源合理开发利用提供技术支持,助力精准扶贫。

## 1 资料和方法

### 1.1 资料来源

采用宁夏六盘山区的海原、固原、西吉、隆德、泾源和六盘山6个气象站1981—2016年夏季(6—8月)逐日平均气温、平均风速、最高气温、最低气温、相对湿度,及同期逐日14:00(北京时,下同)风速、气温、相对湿度,气象站分布见图1。

### 1.2 旅游气候舒适度评价方法

人体对冷热的感觉(即体感温度)受许多气象因子综合影响,其中气温的影响最大,其次还受大气湿度、风等气象因子影响。研究指出<sup>[25]</sup>,当温度在23~25℃、相对湿度70%、风速 $2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 时,人体最舒适;旅游时,人体产生热量后,最舒适的体感温度约为22~24℃,舒适的体感温度为20~22℃或

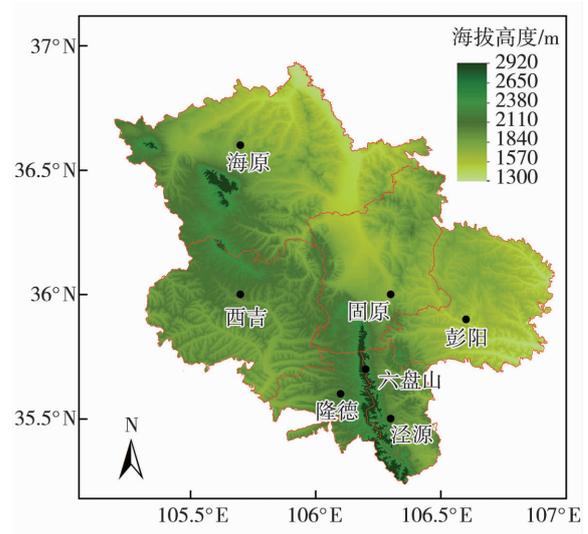


图1 宁夏六盘山区气象站分布

Fig. 1 The distribution of meteorological stations in Liupan Mountain areas of Ningxia

24~25℃,较舒适为18~20℃或25~28℃。湿度影响人的热代谢和水盐代谢。气温适中时,湿度的变化对人体作用较小,当气温偏高或偏低时,才会对人体的冷热感觉产生影响,“躁热”、“闷热”、“干冷”、“湿冷”等感觉实际上就是不同湿度作用的效果。当气温超过28℃时,人体通过出汗散发热量保持体温恒定,当气温低于17℃时,人体通过产生热和减少热保持体温恒定。环境湿度对人体的影响与气温紧密相关,高温高湿对人体的热平衡不利,高温时,人体依赖蒸发散热维持热平衡,湿度过高,妨碍汗液的挥发,加剧热感,导致热平衡失调,体温增高,心跳加快,脉搏明显增高;气温较低时,湿度过大,身体的热辐射被空气中水汽吸收,导热增大,加快身体散热,人体感觉更冷。人体对风的感觉和气温有关,静风或风速过小,人体热量和汗液难以向大气输送,风力增加1级,体感温度降低1℃,气温低时,风加强热传导和对流,增快散热,降低体感温度。由于气温对人体体感温度影响最大,李菁等<sup>[16]</sup>综合考虑了不同情况下气温、相对湿度和风速对体感温度的共同作用,因此,本文采用其中的研究方法计算六盘山区各地体感温度,其公式如下:

$$T_s = \begin{cases} T + \frac{15}{T_{\max} - T_{\min}} + \frac{\text{RH} - 70}{15} - \frac{V - 2}{2} & T \geq 28 \\ T + \frac{\text{RH} - 70}{15} - \frac{V - 2}{2} & 17 < T < 28 \\ T - \frac{\text{RH} - 70}{15} - \frac{V - 2}{2} & T \leq 17 \end{cases} \quad (1)$$

式中: $T_s$ 、 $T_{\max}$ 、 $T_{\min}$ 、 $T$ ( $^{\circ}\text{C}$ )分别为体感温度、日最高气温、日最低气温、14:00气温;RH(%)为14:00相对湿度; $V$ ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )为14:00风速。基于体感温度的舒适度等级划分标准见表1。

表1 基于体感温度的舒适度等级划分标准  
Tab.1 The comfortableness levels standard based on apparent temperature

舒适度等级	体感温度取值
最舒适	$22\text{ }^{\circ}\text{C} \leq T_s \leq 24\text{ }^{\circ}\text{C}$
舒适	$20\text{ }^{\circ}\text{C} \leq T_s < 22\text{ }^{\circ}\text{C}$ 或 $24\text{ }^{\circ}\text{C} < T_s \leq 25\text{ }^{\circ}\text{C}$
较舒适	$18\text{ }^{\circ}\text{C} \leq T_s < 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 或 $25\text{ }^{\circ}\text{C} < T_s \leq 28\text{ }^{\circ}\text{C}$
热不舒适	$T_s > 28\text{ }^{\circ}\text{C}$
冷不舒适	$T_s < 18\text{ }^{\circ}\text{C}$

## 2 结果与分析

### 2.1 不同舒适度等级日数

表2为1981—2016年六盘山区不同等级舒适度多年平均日数。可以看出,夏季六盘山区的六盘山无最舒适日数,舒适、较舒适日数有6.2 d,占夏季的6.8%,其中舒适日数1998年后有12 a为1~4 d,其他年份无舒适日数,1998年之前仅3 a有1 d,较舒适日数为2~19 d,多年平均5.6 d,其他时间均为偏凉气候,舒适度较差,不适宜避暑。六盘山区的其他地区舒适度较高,最舒适日数为10.9~17.9 d,占夏季的11.8%~19.5%,隆德最少,海原、固原和西吉均在19.1%以上;较舒适及以上日数为57.5~68.6 d,占夏季的62.5%~74.6%;各地舒适日数占夏季的24.5%~30.7%;海原、固原和西吉热不舒适日数仅有0.4~1.9 d,隆德和泾源无热不舒适日数;各地冷不舒适日数为21.9~34.5 d,占夏季23.8%~37.5%。其中各地最热月7月较舒适及以上日数最多,高达23~26 d;其次为8月,为20~24 d;6月最少,为13~19 d(表略)。

### 2.2 气候变化对夏季旅游气候舒适度的效应

表3列出1981—2016年宁夏六盘山区不同等级舒适日数变化趋势。可以看出,六盘山不同地区最舒适日数均呈增加趋势,增幅为1.0~2.7 d·(10 a)<sup>-1</sup>,除海原外其他地区最舒适日数增加最多,且均通过 $\alpha=0.05$ 的显著性检验;舒适日数除固原外其他地区均增加明显,增幅为1.2~2.4 d·(10 a)<sup>-1</sup>;较舒适日数仅固原明显增加,增幅为1.3 d·(10 a)<sup>-1</sup>,海原和西吉略有减少,隆德和泾源趋势不明显。由于

最舒适和舒适日数的增加,各地较舒适及以上日数(以下简称“适宜避暑日数”)显著增加,增加幅度为2.8~5.1 d·(10 a)<sup>-1</sup>;不舒适主要为冷不舒适,各地均显著减少,减少幅度为-5.1~-3.4 d·(10 a)<sup>-1</sup>,海原、固原和西吉热不舒适日数以0.2~1.0 d·(10 a)<sup>-1</sup>的趋势增加,其中海原和固原通过 $\alpha=0.05$ 的显著性检验。分析各月变化(表略)表明,6月适宜避暑日数增加最显著,对整个夏季日数的增加贡献最大,各地增幅1.6~2.1 d·(10 a)<sup>-1</sup>,其中隆德最多;8月增幅1.0~2.3 d·(10 a)<sup>-1</sup>,仍然为隆德最大,且其增加幅度高于6月,其他各地增加幅度次于6月;7月增加幅度最小,为0.3~0.8 d·(10 a)<sup>-1</sup>。

表4列出1981—2016年宁夏六盘山区各地适宜避暑日数突变前后差异。根据累积距平和滑动 $t$ 检验(图略),各地适宜避暑日数突变年份在1994—2004年间,突变前年平均日数为53.8~64.8 d,突变后为64.8~71.6 d,突变后较之前增加9.8%~20.4%,尤其隆德增加最多,从53.8 d增加至64.8 d。在气候变暖背景下,各地适宜避暑天数达到夏季的70.4%~77.8%。突变后海原、固原和西吉大部分年份在70 d以上,隆德和泾源在60 d以上;隆德、泾源基本无闷热不舒适的日数,西吉个别年份有1~3 d,海原、固原年平均分别有1.9 d和2.0 d。可见,气候变化对六盘山区夏季避暑旅游舒适度具有正效应。

### 2.3 气候要素相互匹配及其变化的影响

#### 2.3.1 气候资源配置对夏季避暑旅游气候舒适度的影响

由前面分析可知,人体舒适度受气温、风速和相对湿度的综合影响,分析构成体感温度的气温、风速和相对湿度的特点。表5为1981—2016年六盘山各地夏季极端气温及14:00气温、风速、相对湿度等多年平均状态。可以看出,夏季六盘山相对湿度为72.6%,但气温较低,平均仅13.9 $^{\circ}\text{C}$ ,17~28 $^{\circ}\text{C}$ 的日数仅有18.9 d,极端最高气温仅为25.3 $^{\circ}\text{C}$ ,气温低于17 $^{\circ}\text{C}$ 的日数高达73.1 d,而风速平均达4.1  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,因此由于风速大、相对湿度高、气温低,适宜避暑日数极少,大部分时间为湿冷天气。

其他地区夏季极端最高气温为32.4~35.6 $^{\circ}\text{C}$ ,且仅有海原2000年出现过1 d最高气温高于35 $^{\circ}\text{C}$ 的高温天气。14:00气温平均为20.2~23.0 $^{\circ}\text{C}$ ,气温在17~28 $^{\circ}\text{C}$ 的日数高达70.4~76.4 d,高于28 $^{\circ}\text{C}$ 的日数在北部的海原、固原和西吉平均分别有10.8 d、7.6 d和3.4 d,南部隆德和泾源不足2 d;气温低于17 $^{\circ}\text{C}$ 的日数有10.8~19.1 d(表略)。相

表2 1981—2016年宁夏六盘山区不同等级舒适日数年平均值  
Tab.2 The annual average days of each comfortableness level in Liupan Mountain areas of Ningxia during 1981 - 2016

地区	最舒适	舒适	较舒适	较舒适及以上	热不舒适	冷不舒适
海原	17.6	25.5	25.1	68.2	1.9	21.9
固原	17.6	27.5	23.3	68.4	1.2	22.4
西吉	17.9	28.2	22.5	68.6	0.4	23.0
六盘山	0.0	0.6	5.6	6.2	0.0	85.8
隆德	10.9	22.6	24.0	57.5	0.0	34.5
泾源	12.5	23.7	23.8	60.0	0.0	32.0

表3 1981—2016年宁夏六盘山区夏季不同等级舒适日数变化趋势  
Tab.3 Change trend of each comfortableness level days in summer in Liupan Mountain areas of Ningxia during 1981 - 2016

地区	最舒适	舒适	较舒适	较舒适及以上	热不舒适	冷不舒适
海原	1.0	2.1*	-0.3	2.8*	1.0*	-3.8*
固原	2.0*	0.1	1.3	3.4*	0.7*	-4.0*
西吉	2.6*	1.2	-0.6	3.2*	0.2	-3.4*
隆德	2.7*	2.4*	0.0	5.1*	—	-5.1*
泾源	2.2*	1.5*	0.0	3.7*	—	-3.7*

注：\*表示通过 $\alpha=0.05$ 的显著性检验

表4 1981—2016年宁夏六盘山区适宜避暑日数突变前后差异  
Tab.4 The difference between the suitable summer days before and after the abrupt change in Liupan Mountain areas of Ningxia during 1981 - 2016

地区	突变年	突变前平均日数/d	突变后平均日数/d	突变后增加幅度/%	突变后日数占夏季比重/%
海原	1995	64.4	70.7	9.8	76.8
固原	1997	64.8	71.6	10.5	77.8
西吉	1994	64.5	71.0	10.1	77.2
隆德	2004	53.8	64.8	20.4	70.4
泾源	2004	57.2	65.4	14.3	71.1

表5 1981—2016年宁夏六盘山区夏季气候要素平均值  
Tab.5 Average value of climate elements in summer in Liupan Mountain areas of Ningxia during 1981 - 2016

地区	极端最高气温/ $^{\circ}\text{C}$	气温 $\geq 28^{\circ}\text{C}$ 时的相对湿度/%	平均气温/ $^{\circ}\text{C}$	相对湿度/%	气温 $< 17^{\circ}\text{C}$ 时的相对湿度/%	17 $^{\circ}\text{C}$ < 气温 $\leq 28^{\circ}\text{C}$ 时的相对湿度/%	风速/ $(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$
海原	35.6	26.9	23.0	44.2	81.8	41.1	3.6
固原	34.1	28.6	22.6	50.4	83.0	47.5	3.8
西吉	33.9	29.7	21.9	50.8	77.9	47.4	3.1
六盘山	25.3	—	13.9	72.6	77.2	54.6	4.1
隆德	32.4	32.9	20.2	56.1	76.2	51.0	3.1
泾源	32.6	29.5	20.6	58.4	83.6	52.1	3.5

对湿度海原最小,平均为44.2%,其他地区在50.4%~58.4%之间;由于相对湿度和气温显著负相关(相关系数在-0.69以下,通过 $\alpha=0.001$ 的显著性检验),而风速和相对湿度及气温并无显著关系,但各地平均风速为 $3.1\sim 3.8\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,基本都在 $2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上,静风很少。因此,气温较高时风速较大,有利于散热,所以风速是夏季气温高时避暑的有利因子。当气温 $\geq 28\text{ }^\circ\text{C}$ 时,相对湿度在26.9%~32.9%之间,大部分时间仍然适宜避暑;当气温 $\leq 17\text{ }^\circ\text{C}$ 时,风速大则为不利因子,此时相对湿度高,大部分时间高于70%,平均达76.2%~83.6%,气温 $\leq 17\text{ }^\circ\text{C}$ 时为冷不舒适的湿冷天气,不适宜避暑旅游;当气温在 $17\sim 28\text{ }^\circ\text{C}$ 时,相对湿度平均为41.1%~52.1%,由于相对湿度较小,风速较大,各地有10.9~16.0 d不适宜避暑,其他日数均适宜避暑旅游。

2.3.2 气候要素相互匹配的变化造成的影响

表6列出1981—2016年宁夏六盘山区夏季各地气候要素变化趋势。可以看出,各地各月及

整个夏季平均气温、最低气温及14:00气温基本都呈显著升高趋势,均通过 $\alpha=0.05$ 的显著性检验;6月各地及8月大部分地区最高气温显著升高,7月只有隆德的最高气温显著升高,通过 $\alpha=0.05$ 的显著性检验;大部分地区14:00相对湿度和风速呈减小趋势。6月气温升高幅度最大,相对湿度减小最多(通过 $\alpha=0.05$ 的显著性检验),其次为8月,7月气温升高幅度及相对湿度减小幅度均为最小,8月风速减小最显著,因此6月适宜避暑日数增加最为显著,其次为8月,7月变化最小。

图2为1981—2016年六盘山区夏季平均气温年际变化、累积距平和滑动 $t$ 检验,根据累积距平和滑动 $t$ 检验,表明其在1997年前后发生突变,因此以1997年作为分界点,根据公式(1)分析不同气温情况下的日数及气温、风速、相对湿度的变化特点及其对避暑旅游气候舒适度的效应。

表6 1981—2016年宁夏六盘山区气候要素变化趋势

Tab.6 Variation trend of climate elements in Liupan Mountain areas of Ningxia

月份	地区	平均气温/ [ $^\circ\text{C}\cdot(10\text{ a})^{-1}$ ]	最高气温/ [ $^\circ\text{C}\cdot(10\text{ a})^{-1}$ ]	最低气温/ [ $^\circ\text{C}\cdot(10\text{ a})^{-1}$ ]	14:00气温/ [ $^\circ\text{C}\cdot(10\text{ a})^{-1}$ ]	14:00相对湿度/ [% $\cdot(10\text{ a})^{-1}$ ]	14:00风速/ [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}\cdot(10\text{ a})^{-1}$ ]
6月	海原	0.7*	0.8*	0.6*	0.8*	-2.7*	-0.02
	固原	0.9*	0.9*	1.1*	0.9*	-3.9*	-0.08
	西吉	0.7*	0.8*	0.4*	0.9*	-3.6*	-0.05
	隆德	0.6*	0.8*	0.6*	0.8*	-3.4*	-0.15
	泾源	0.6*	0.7*	0.7*	0.7*	-3.1*	-0.42*
7月	海原	0.4	0.3	0.5*	0.3*	0.2	-0.16*
	固原	0.6*	0.3	1.2*	0.4*	-1.2	-0.11
	西吉	0.4*	0.3	0.6*	0.3*	-0.3	0.0
	隆德	0.5*	0.4*	0.6*	0.4*	-0.9	-0.15
	泾源	0.3*	0.2	0.6*	0.2*	-0.4	-0.25*
8月	海原	0.4*	0.3*	0.4*	0.5*	-0.9	-0.31*
	固原	0.5*	0.3*	0.9*	0.4*	-1.3	-0.16*
	西吉	0.5*	0.5*	0.5*	0.6*	-1.8	-0.14*
	隆德	0.4*	0.4*	0.6*	0.5*	-1.4	-0.25*
	泾源	0.2	0.2	0.4*	0.2*	-0.6	-0.48*
夏季	海原	0.5*	0.5*	0.5*	0.5*	-1.1	-0.16*
	固原	0.7*	0.5*	1.1*	0.6*	-2.1*	-0.12*
	西吉	0.5*	0.6*	0.5*	0.6*	-1.9*	-0.06
	隆德	0.5*	0.5*	0.6*	0.5*	-1.9*	-0.19
	泾源	0.4*	0.4*	0.6*	0.4*	-1.4	-0.38*

注: \*表示通过 $\alpha=0.05$ 的显著性检验

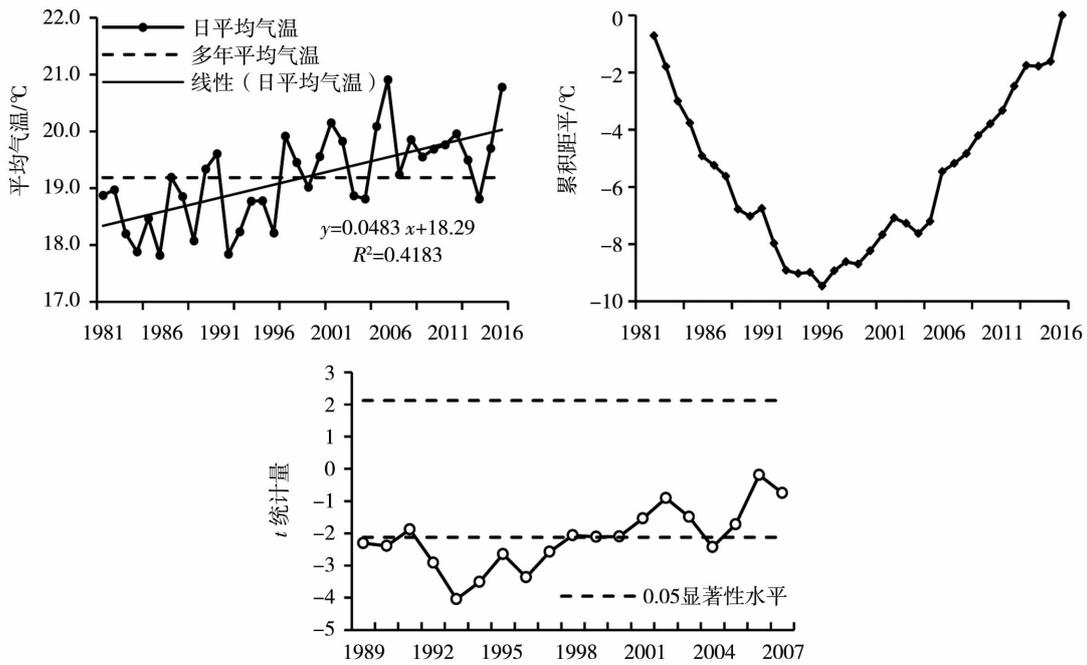


图2 1981—2016年宁夏六盘山区夏季平均气温年际变化、累积距平及滑动 *t* 检验  
 Fig. 2 The annual variation, accumulative anomaly and moving *t* - test of mean temperature in summer in Liupan Mountain areas of Ningxia during 1981 - 2016

表7列出宁夏六盘山区夏季气温1997年突变前后气候要素变化,可以看出,1997年以后,气温 $\geq 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、介于 $17\sim 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以及 $\leq 17\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,大部分地区风速都有减小,各地气温都升高。北部海原、固原、西吉气温在 $28\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上日数明显增多,增长趋势分别为 $2.8, 2.6$ 和 $2.1\text{ d}\cdot(10\text{ a})^{-1}$ ,都通过 $\alpha=0.05$ 的显著性检验,1997年前年平均分别有 $7.0, 4.4$ 和 $0.5\text{ d}$ ,之后增加到 $13.8, 10.2$ 和 $5.7\text{ d}$ ,增加了97%以上。热不舒适日数海原和固原分别由年平均 $0.8, 0.5\text{ d}$ 增加到 $2.8, 1.8\text{ d}$ ,西吉1997年之前仅在1991年出现过 $1\text{ d}$ ,而1997年之后增加到年平均 $0.8\text{ d}$ ,三地增加幅度都在200%以上,增加比例远大于 $28\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上日数增加的比例。造成此结果的主要原因有以下几方面,一是气温升高,各地在1997年之后较之前平均升高 $0.2\sim 0.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,二是日较差减小,海原和固原减小达 $0.9$ 和 $2.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,西吉减小 $0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,同时,海原和固原风速减小也是原因之一;虽然相对湿度减小具有正效应,但不抵气温升高、日较差减小及风速减小共同作用的负效应。南部隆德和泾源在1997年前很少出现 $28\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上天气,之后有所增多,尤其泾源最多年有 $6\text{ d}$ ,但仍然无因热而不舒适的天气。

气温 $\leq 17\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,1997年后气温平均较之前升高 $0.1\sim 0.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,日数以 $1.5\sim 3.0\text{ d}\cdot(10\text{ a})^{-1}$ 的速率显著减少,并通过 $\alpha=0.05$ 的显著性检验,由1997年

前的年平均 $12.9\sim 22.2\text{ d}$ 减少至 $9.2\sim 17.2\text{ d}$ ,减少 $20.7\%\sim 34.1\%$ ;大部分地区相对湿度略有增加;风速由 $2.9\sim 3.9\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 减小至 $2.4\sim 3.3\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,减少 $0.4\sim 0.6\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ;从体感温度看,此时风速减小和气温升高具有正效应,但由于相对湿度仍然较高,气温 $\leq 17\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时仍然为体感温度 $< 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的湿冷天气,有利的是风速减小和气温升高的正效应使得体感温度有所升高,各地升高 $0.3\sim 0.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ (表略),湿冷程度降低。

海原气温介于 $17\sim 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的日数以 $-1.4\text{ d}\cdot(10\text{ a})^{-1}$ 的不显著趋势减少,而固原和西吉以小幅度趋势减少,隆德和泾源分别以 $2.8, 2.0\text{ d}\cdot(10\text{ a})^{-1}$ 的趋势增加,并通过 $\alpha=0.05$ 的显著性检验。1997年之前气温在 $17\sim 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的日数年平均为 $69.9\sim 76.6\text{ d}$ ,之后海原、固原和西吉略有减少,分别为 $69.1, 72.5$ 和 $76.3\text{ d}$ ,减少 $0\%\sim 4.2\%$ ,隆德和泾源分别增加到 $75.1$ 和 $73.2\text{ d}$ ,增加 $4.8\%\sim 7.5\%$ ;气温升高 $0.4\sim 0.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。此时相对湿度 $\geq 70\%$ 的高湿天气日数变化不明显(表略),但相对湿度减小,其中海原和固原高湿天气日数1997年后较之前年减少 $0.4\text{ d}$ 以内,其他三地增加不足 $1\text{ d}$ ,相对湿度海原减小 $0.4\%$ ,其他各地减小 $1.3\%\sim 3.0\%$ ;风速除西吉略有增加外,其他各地均减小,其中海原和泾源减小 $0.3\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。因此,此时气温升高、风速减小也具有正效应,相对

湿度减小具有负效应,但气温升高和风速减小的正效应大于相对湿度减小的负效应,使得各地适宜避暑日数增加(表略),海原、固原和西吉1997年后较之前年平均增加1.7~2.7 d,隆德和泾源分别增加8.7和5.3 d,增加了2.7%~16.6%,隆德增加最多;因此,体感温度 $<18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的湿冷天气减少。

由于宁夏六盘山区气温 $<28\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的日数多达81.3~91.2 d,占夏季的88.4%~99.1%,因此,气温升高和风速减小对其避暑旅游气候舒适度具有正效应,而相对湿度的减小具有负效应。综上所述,宁夏六盘山区在气候变暖背景下,气候由冷凉湿润变得更加温热干爽,气候舒适度增强,大部分日数适宜避暑。宁夏西、海、固地区位于六盘山区北部,为

宁夏生态移民的主战场,近年来通过退耕还林(草)、生态移民迁出区生态修复等工程,生态得到很大改善,其自然优势在于地势较为平缓,气温较高;而南部的六盘山、隆德和泾源,海拔较高,其自然优势为气候湿润,自然景观更加丰富,荟萃了宁夏生态旅游资源的精华。气候变暖使得各地夏季适宜避暑日数显著增加,尤其海拔相对较高的地区气温升高,相对湿度减小,湿冷日数减少,其优势更加突出,因此各地应根据当地自然气候特点,合理利用优势资源,打造丰富多样的旅游品牌,强化生态旅游,充分发挥产业扶贫作用,使旅游业真正成为带动地方经济社会发展的新兴主导产业。

表7 宁夏六盘山区夏季气温1997年突变前后气候要素变化  
Tab.7 Climate elements variation before and after the mutation in 1997  
of summer temperature in Liupan Mountain areas of Ningxia

气温/ $^{\circ}\text{C}$	地区	日数变化 趋势/ [ $\text{d} \cdot (10\text{ a})^{-1}$ ]	突变前 日数/d	突变后 日数/d	气温 变化/ $^{\circ}\text{C}$	风速 变化/ ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )	相对湿 度变化/ %	气温日 较差变 化/ $^{\circ}\text{C}$	热不舒 适日数 变化/d
$\geq 28$	海原	2.8*	7.0	13.8	0.4	-0.2	-1.0	-0.9	2.0
	固原	2.6*	4.4	10.2	0.3	-0.3	-4.0	-2.1	1.3
	西吉	2.1*	0.5	5.7	0.2	0.4	-3.9	-0.2	0.8
$\leq 17$	海原	-1.5*	12.9	9.2	0.1	-0.6	0.9	—	—
	固原	-2.2*	14.2	9.4	0.1	-0.6	-0.3	—	—
	西吉	-2.0*	14.9	10.1	0.3	-0.5	0.9	—	—
	隆德	-3.0*	22.2	16.2	0.4	-0.4	0.5	—	—
17~28	泾源	-2.3*	21.6	17.2	0.4	-0.5	0.4	—	—
	海原	-1.4	72.1	69.1	0.5	-0.3	-0.4	—	—
	固原	-0.3	73.4	72.5	0.5	-0.1	-2.1	—	—
	西吉	-0.2	76.6	76.3	0.7	0.1	-2.2	—	—
	隆德	2.8*	69.8	75.1	0.7	-0.1	-3.0	—	—
	泾源	2.0*	69.9	73.2	0.4	-0.3	-1.3	—	—

注: \* 表示通过 $\alpha=0.05$ 的显著性检验

### 3 结 论

(1)六盘山夏季大部分年份无最舒适日数,舒适、较舒适日数年平均仅有6.2 d,占夏季的6.8%,其他时间均为偏凉气候,舒适度较差,不适宜避暑。六盘山区的其他地区舒适度较高,适宜避暑日数57.5~68.6 d,占夏季的62.5%~74.6%,其中最舒适日数10.9~17.9 d,占11.2%~19.5%,7月最多;仅海原、固原和西吉年平均有0.4~2 d因热而不适宜避暑,因冷凉而不适宜避暑日数23.4~34.5 d,占25.4%~34.9%。

(2)随着气候变暖,避暑旅游气候舒适度提高,适宜避暑日数以 $2.8\sim 5.1\text{ d} \cdot (10\text{ a})^{-1}$ 的趋势显著增加,除海原外其他地区最适宜日数增加最多,增加幅度为 $2.0\sim 2.7\text{ d} \cdot (10\text{ a})^{-1}$ ;各地适宜避暑日数在1994—2004年间发生突变,突变后达64.8~71.6 d,占夏季的70.4%~77.8%,隆德增加最多;6月适宜避暑日数的显著增加对整个夏季适宜避暑日数的增加贡献最大,其次是8月,7月最少。海原、固原和西吉热而不适宜避暑的日数增多;各地冷不适宜避暑日数显著减少,幅度为 $-5.1\sim -3.4\text{ d} \cdot (10\text{ a})^{-1}$ 。

(3)总体上,气温升高和风速减小对避暑旅游

气候舒适度具有正效应,而相对湿度的减小具有负效应,气候由冷凉湿润变得更加温热干爽。

#### 参考文献:

- [1] 汪廷美. 宁夏六盘山区可持续旅游扶贫分析[J]. 智富时代, 2015(8):19.
- [2] 马丽君,孙根年,马彦如,等. 30年来西安市气候舒适度变化对旅游客流量的影响[J]. 干旱区资源与环境,2011,25(9):191-196.
- [3] TERJUNG W H. Physiologic climates of the contentious United States:a bioclimatic classification based on man[J]. Annal Association of Applied Geochemistry, 1966,5(1):141-179.
- [4] OLIVER J E. Climate and man's Environment: An introduction to applied climatology[M]. New York: John Wiley & sons incorporated, 1973:195-206.
- [5] HOUGHTON D D. Handbook of Applied Meteorology[M]. New York:John Wiley & sons incorporated, 1985:778-811.
- [6] EUGENIO - MARTIN J L, CAMPOS - SORIA J A. Climate in the region of origin and destination choice in outbound tourism demand[J]. Tourism Management, 2010,31(6):744-753.
- [7] HARRISON S J, WINTERBOTTOM S J, SHEPHARD C. The potential effects of climate change on the Scottish tourist industry[J]. Tourism Management, 1999,20(4):203-211.
- [8] 林之光. 气候风光集[M]. 北京:气象出版社,1984.
- [9] 姚启润. 旅游与气候[M]. 北京:中国旅游出版社,1986:1-10.
- [10] 陆林. 山岳风景区旅游季节性研究—以安徽黄山为例[J]. 地理研究,1994,13(4):50-58.
- [11] 吴普,周志斌,慕建利. 避暑旅游指数概念模型及评价指标体系构建[J]. 人文地理,2014,137(3):128-135.
- [12] 马丽君,孙根年,谢越法,等. 50年来东部典型城市旅游气候舒适度变化分析[J]. 资源科学,2010,32(10):1963-1970.
- [13] 刘峰贵,李春花,陈蓉,等. 避暑型旅游城市的“凉爽”气候条件对比分析——以西宁市为例[J]. 青海师范大学学报(自然科学版),2015(1):56-74.
- [14] 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.
- [15] 钱妙芬,叶梅. 旅游气候宜人度评价方法研究[J]. 成都气象学院学报,1996,11(3):128-134.
- [16] 李菁,慕建利. 避暑旅游适宜度评价模型的建立和应用[C]//中国气象学会. 第32届中国气象学会年会 S13 气候环境变化与人体健康, 2015.
- [17] 孟丽霞. 兰州市旅游气候舒适度与客流量关系分析[J]. 沙漠与绿洲气象,2017,11(5):89-94.
- [18] 陶生才,潘婕,张磊,等. 1971—2013年敦煌旅游气候舒适度分析与评价[J]. 沙漠与绿洲气象,2016,10(1):27-33.
- [19] 吾米提·居马太,瓦力江·瓦黑提. 近52年新疆主要旅游城市舒适度分析[J]. 沙漠与绿洲气象,2013,7(4):70-74.
- [20] 张新庆,李青松,周鸿奎,等. 吐鲁番地区旅游气候指数及评价[J]. 沙漠与绿洲气象,2008,2(1):29-31.
- [21] 韩蓓蓓,陈兴全,李东,等. 华山旅游气候舒适度时空变化分析[J]. 气象与环境科学,2014,37(2):80-84.
- [22] 朱宝文,哈承智,时盛博,等. 青海海北地区旅游气候舒适度与客流量关系[J]. 气象与环境科学,2014,37(1):83-87.
- [23] 张玉兰,高红贤,马慧萍. 宁夏旅游气候资源及舒适度评价[J]. 陕西气象,2007(5):36-37.
- [24] 齐月,陈海燕,房世波,等. 1961—2010年西北地区极端气候事件变化特征[J]. 干旱气象,2015,33(6):963-969.
- [25] 孙楠,高温天. 反其道而行—揭秘年度最佳避暑城市[EB/OL]. (2017-07-16). <http://www.qxkp.net/qxfw/lyqx/711294.shtml>

## Effect Analysis of Climate Change on Summer Tourism Climate Comfortableness in Liupan Mountain Areas of Ningxia

SUN Yinchuan<sup>1,2</sup>, WANG Suyan<sup>1,2</sup>, LI Hao<sup>3</sup>, ZHENG Guangfen<sup>2</sup>, WANG Fan<sup>2</sup>, GUAN Jingde<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory for Meteorological Disaster Monitoring and Early Warning and Risk Management of Characteristic Agriculture in Arid Regions, Yinchuan 750002, China;

2. Ningxia Hui Autonomous Region Climate Center, Yinchuan 750002, China;

3. Pingluo County Meteorological Bureau of Ningxia Hui Autonomous Region, Pingluo 753400, Ningxia, China )

**Abstract:** Using the meteorological data in summer of Liupan Mountain area in Ningxia during 1981-2016, and focusing on the apparent temperature, we analyzed the days distribution characteristic of different comfortableness level and the direct influences of temperature, relative humidity and wind speed. The results are as follows: (1) The climate in Liupan Mountain was cooler and wetter, it was not suitable for summering most of the time. The suitable summer days in other areas were 57.5-68.6 d, the most comfortable days were 10.9-17.9 d, and both the suitable summer days and the most comfortable days were maximum in July. (2) With climate warming, the summer tourism climate comfortableness improved and the suitable summer days increased significantly with the range of 2.8-5.1 d · (10 a)<sup>-1</sup>, and the largest increase of the most comfortable days occurred in areas except Haiyuan. The increase of the suitable summer days in June was the biggest contributor. (3) The suitable summer days had an abrupt change in these areas between 1994 and 2004, there was about 64.8-71.6 d and the percentage reached 70.4%-77.8% after abrupt change. (4) As a whole, the rise of temperature and decrease of wind speed had positive effect on the summer tourism climate comfortableness, and the decrease of relative humidity had a negative effect, the climate became warmer and drier.

**Key words:** climate change; Liupan Mountain areas; summer tourism climate comfortableness; effect