

# 近 50 年安徽省气候舒适度变化特征及区划研究

王 胜, 田 红, 谢五三, 唐为安, 丁 霞

(安徽省气候中心, 合肥 230031)

**摘 要:**利用安徽省 70 个台站 1961-2010 年逐日平均气温、风速和相对湿度, 根据气候舒适度评价模型, 计算得到安徽省气候舒适度时空分布特征, 在此基础上通过 GIS 空间插值对气候舒适度进行综合区划和评价。结果表明: 安徽省气候舒适度有明显的季节变化和区域分布特征, 季节上每年 4-10 月气候总体舒适, 而 11 月-次年 3 月气候相对不舒适; 空间上南部地区气候较为舒适, 而北部气候相对不舒适。在气候变暖的背景下, 年气候舒适天数逐年增多, 且在 1986 年左右存在一次显著性增多的突变; 年不舒适日数明显减少, 并且在 1997 年左右也发生一次显著性减少的突变。综合区划显示, 全省气候最舒适区主要位于沿江地区和江南南部, 而气候最不舒适区位于淮北东北部、大别山区和皖南山区。

**关 键 词:**舒适度指数; 时空分布; 综合区划; 安徽省

## 1 引言

安徽省地处暖温带与亚热带过渡带, 主要气候特点是: 季风明显、四季分明, 气候温和、雨量适中, 春温多变、秋高气爽, 梅雨显著、夏雨集中<sup>[1-2]</sup>。全省地势西南高、东北低, 长江、淮河横贯省境, 将全省划分为淮北平原、江淮丘陵和皖南山区三大自然区域, 全省平均海拔高度为 125 m, 其中大别山区和皖南山区地形起伏较大。安徽旅游资源得天独厚, 旅游开发潜力巨大。举世闻名的黄山荣膺联合国世界自然与文化双遗产和世界地质公园三顶桂冠, 山下的古村落西递、宏村被列为世界文化遗产名录。2010 年全省旅游经济已超千亿, 约占 GDP 的 10%, 旅游业也成为重要的发展产业。

适宜的气候条件不仅具有特殊的景观功能, 还可增添和开发富有特色的旅游内容, 扩展旅游活动的时空分布。气候舒适度作为评判旅游气候资源的重要标准, 它以人类机体与近地大气之间的热交换原理为基础, 从气象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, 其影响因子主要考虑气温、湿度和风速等<sup>[3-6]</sup>。气温直接影响人体通过对流及辐射的显热交换, 利用机体冷热感受器可以对冷热环境作出判断。风速能为人体提供新鲜空气, 加快人体对流散热和蒸发散热。环境湿度影响人体皮肤到环境的蒸发热损失方面。当相对湿

度在 70% 附近时, 可以保证人体蒸发过程稳定。在静风情况下, 靠近皮肤的空气层水蒸发压力较大, 易造成人体不适; 另一方面, 相对湿度超过 70% 且湿度越大也容易造成人体不适。此外, 当人们对环境冷热程度有心理准备时, 对该环境的期望就会降低, 而更容易得到满足。由此可见, 任一因素都不能单独衡量人体的舒适与否, 这就需要建立一组综合的生物气候指标<sup>[7-8]</sup>。

国外有关气候舒适度研究始于 1960 年<sup>[4-5, 7-10]</sup>, 而国内则相对较晚, 目前由定性研究逐渐过渡到定量研究, 但理论和实践研究尚待深入。之前中国学者对旅游舒适度研究多集中在某一城市或旅游景区<sup>[11-16]</sup>, 对区域性差异以及年际变化研究较少。在全球气候变暖的背景下, 影响人居环境气候因子势必也发生变化<sup>[17]</sup>。鉴于此, 本文利用安徽省 1961-2010 年逐日气象要素, 分析气候舒适度空间分布、差异及多年变化特征; 在此基础上, 利用 DEM 数据对安徽省气候舒适度进行区划评价。利用本文研究成果, 不仅可以掌握安徽省各地旅游气候资源优劣以及旅游季节长短, 还可为旅游区建设以及旅游资源开发提供信息支撑。

## 2 资料来源与指标体系构建

### 2.1 资料来源

本文选用安徽省 70 个气象台站 1961-2010 年

收稿日期: 2011-03; 修订日期: 2011-06。

基金项目: 国家自然科学基金项目(41105080); 淮河流域开放研究基金项目(HRM200805)。

作者简介: 王胜(1978-), 男, 硕士, 工程师, 主要从事气候影响评估、气候变化方面的业务和科研工作。

E-mail: ws7810@163.com

逐日平均气温、平均风速和平均相对湿度资料,部分缺测数据由周边台站代替。资料由安徽省气象档案馆提供,由于气象站点空间分布均匀,且兼顾不同地形状况,具有较好代表性,能满足研究需要。安徽省数字地面高程(DEM)来源于为国家气象信息中心下发的安徽省 1:5 万地理信息数据。

2.2 指标体系构建

2.2.1 气候舒适度计算

中国地域辽阔,气候类型多样,加之居民生活习惯和经济承受能力的不同,对环境生理适应和心理期望必然存在差异。此外,安徽地处华东腹地,海拔总体不高,且江北大部地区起伏小,因此暂不考虑气压和太阳辐射对人体舒适的影响。根据环境卫生学指标以及相关研究结论<sup>[17-21]</sup>,结合安徽省气候特征及人文习俗,以平均气温 24℃、相对湿度 70%和平均风速 2 m/s 作为人体最舒适的小气候条件,构建气候舒适度指数模型:

$$SI=0.68\times|T_m-24.0|+0.07\times|Hu-70|+0.5\times|V-2.0|$$
 (1)

式中:  $SI$  为人体舒适度指数;  $T_m$  为平均气温(℃);  $Hu$  为平均相对湿度(%);  $V$  为平均风速(m/s)。计算出的  $SI$  值越大,表明气候越不舒适。根据气候舒适度序列概率分布以及安徽省气候特点,采用 WMO(世界气象组织)极端气候事件计算推荐的百分位数法,将 1961-2010 年全省 70 个台站逐日  $SI$  值序列(从小到大)按前 10%、前 30%、前 70%和 90%分位值划分阈值,由此划分安徽省不同气候舒适度指数等级范围(表 1)。

2.2.2 气候舒适度区划与评价

本研究在气候舒适度综合区划过程中,充分考虑地形因子对气象要素的影响,把气温、相对湿度和风速和 GIS 空间分析技术结合起来,使舒适度区划栅格化,提高了精度。

(1) 气温网格化:由于气象站点分布点状,需要考虑气温水平方向内插;同时考虑气温垂直递减率(-0.65℃/100m),因而利用 DEM 数据在垂直方向上进行拟合。通过 ArcGIS 水平和垂直方差插值即可得到全省气温空间分布图层。

(2) 相对湿度网格化:空气的相对湿度受温度和海拔高度的综合影响,因此插值过程中要考虑温度和高程因素的影响。某一高程的空气相对湿度由以下公式求得<sup>[22]</sup>:

$$r=r_0\times 10^{\frac{7.5t_0}{237.3+t_0}-\frac{7.5t_z}{237.3+t_z}-\beta_z}$$
 (2)

式中:  $r_0$  为地标相对湿度;  $t_0$  为地表温度(℃);  $t_z$  为高温  $z$  处的温度(℃);  $\beta_z$  为常数,  $\beta_z=1/5000m^{-1}$ 。因此,在水平方向上进行内插,然后在垂直方向上代入以上公式进行拟合,即可得到全省相对湿度空间分布图层。

(3) 风速网格化:丘陵和山区风向和风速常因山脉阻挡而改变,关系比较复杂,暂不考虑高程对风速的影响,通过 ArcGIS 直接进行内插即可得到全省平均风速空间分布图层。加权综合评价法的计算公式为:

$$V_j=\sum_{i=1}^nW_i\cdot D_{ij}$$
 (3)

式中:  $V_j$  是评价因子的总值;  $W_i$  是指标  $i$  的权重;  $D_{ij}$  是对于因子  $j$  的指标  $i$  的归一化值;  $n$  是评价指标个数。

3 结果分析

3.1 气候舒适度基本分布特征

3.1.1 月分布特征

图 1 是 1961-2010 年安徽省月平均适度指数和不同等级月平均舒适度日数的分布。由图 1a 可见,全省月平均舒适度指数 4-10 月较小,表明气候相对舒适,其中 6 月最小(2.71);其他各月平均舒适度指数较大,即气候相对不舒适,其中 1 月最大(14.38)。由图 1b 可见,月平均舒适(1~2 级,下同)日数年内分布不均,4-10 月相对较多,其中 6 月最多(24.2 天),而 1-2 月以及 12 月无最舒适(1 级,下同)记录出现;月平均正常气候(3 级,下同)日数呈双峰型分布,峰值分别出现在 4 月(23.6 天)和 10 月(24.1 天),而 1-2 月和 12 月较少;月平均不舒适(4~5 级)日数以 1-3 月及 11-12 月较多,而 5-9 月无气候最不

表 1 气候舒适度指数等级划分表

Tab.1 Grade standards of climate comfort degree index

级别	1 级	2 级	3 级	4 级	5 级
$SI$	$SI\leq 2.08$	$2.08 < SI\leq 3.71$	$3.71 < SI\leq 10.40$	$10.40 < SI\leq 14.34$	$SI > 14.34$
人体感觉	最舒适	较舒适	正常	较不舒适	最不舒适

舒适(5级)记录出现。总体来看,安徽省4-10月气候总体舒适,为安徽省旅游最佳季节,而冬半年(11月-次年3月)气候总体不舒适,不适宜外出旅行。

3.1.2 空间分布特征

图2是1961-2010年安徽省年均气候舒适日数、正常日数和不舒适日数空间分布。年均气候舒适日数沿淮至沿江中东部97(广德)~108天,江南南部116~128天(绩溪),其他地区108~116天;年均气候舒适度正常日数淮北129(砀山)~140天,江淮之间南部至沿江地区150~165天(望江),其他地区140~150天;年均气候不舒适日数淮北114~126天(砀山和萧县),江淮之间沿江西部和江南大部93(歙县)~102天。年平均舒适度指数空间分布表明,沿淮北、大别山区和皖南山区5.80~6.39(岳西),沿江大部 and 江南南部5.08(太湖)~5.60,其他地区5.60~5.80。总体来看,安徽省南部地区气候较为舒适,气候环境相对较好,而北部气候不舒适较多,气候环境相对较差。

3.2 气候舒适度指数年际变化趋势

图3是1961-2010年安徽省气候舒适日数、正常日数和不舒适日数线性倾向率空间分布。由图可见,年舒适日数全省各地线性趋势均为正值,表明舒适度日数均有增多趋势,线性倾向率淮北至江淮之间东部8.0~11.4 d/10a(明光),大别山区和江南大部0.7(岳西)~5.0 d/10a,其他地区5.0~7.0 d/10a;趋势系数除太平、黟县、祁门和岳西外,全省绝大部分地区均超过0.35,即增多趋势通过99%的极显著性检验。年气候正常日数除江南西南部有线性增多趋势外,其他绝大部分地区呈减少趋势,其中淮北和江淮之间中东部减幅最大,线性倾向率达-3.0~-5.5 d/10a(涡阳);趋势系数绝对值淮北、江淮之间大部和沿江东部超过0.27,即减少趋势通过95%的显著性检验。年不舒适日数全省各地均有线性减少趋势,倾向率江淮之间至沿江东部-5.0~-6.1 d/10a(明光),大别山区和江南南部-1.5~-3.5 d/10a(太平),其他地区-3.5~-5.0 d/10a;趋势系数绝

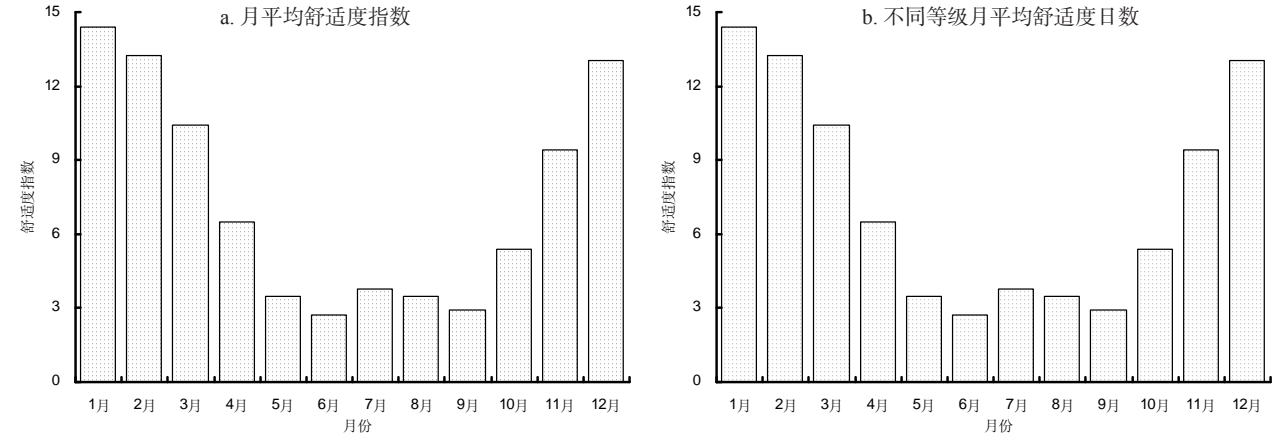


图1 1961-2010年安徽省月平均舒适度指数(a)和不同等级月平均舒适度日数(b)

Fig.1 The monthly mean index (a) and days of different classified degrees (b) of climate comfort during 1961-2010

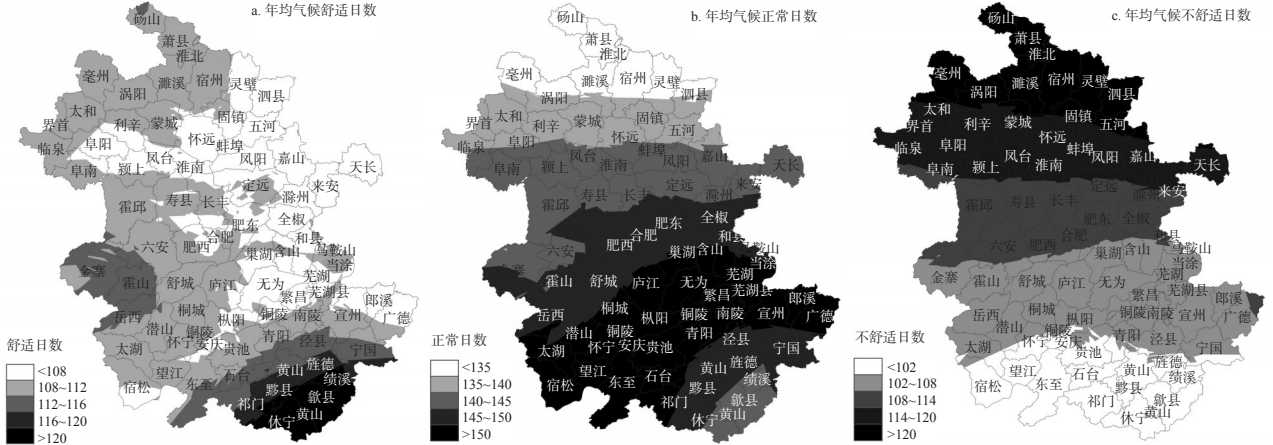


图2 1961-2010年安徽省年均气候舒适日数(a)、正常日数(b)和不舒适日数(c)空间分布

Fig.2 Distribution of the average number of days with comfortable (a), normal (b) and uncomfortable (c) climate during 1961-2010



对值除太平、黟县、桐城、岳西和霍山外,全省绝大部分地区均超过 0.35,即减少趋势通过 99%的极显著性检验。

图 4 是安徽省不同级别舒适度平均日数 Mann-Kendall 突变检验。由图 4a 可见,UF(正序列)总体呈上升趋势,表明 1961 年以来全省年均气候舒适日数一直呈增多趋势,并且在 1986 年左右出现突变,由 UF 线可知,这种增多趋势通过 95%的显著性检验。年均气候正常日数总体上呈减少趋势,并且在 1969 年存在一次突变,突变后减少趋势显著(图 4b)。年均气候不舒适日数 1961-1976 年变化趋势不明显,1976 年之后一直呈减少趋势,特别是在 1997 年左右出现突变,由 UF 线及 -1.96 线可知,这种减少趋势通过 95%的显著性检验(图 4c)。

3.3 气候舒适度综合区划

利用 1961-2010 年安徽省逐日平均气温、日平均风速和日相对湿度资料,分别计算冬季(上年 12 月-当年 2 月)、春季(3-5 月)、夏季(6-8 月)和秋季(9-11 月)平均气温、平均相对湿度和平均风速。利用安徽省 DEM 数据将上述气象要素水平和垂直方面插值成为连续的空间网格数据,根据气候舒适度

模型进行栅格运算,得到四季气候舒适度指数图。对四季指数图层等权重综合加权平均,得到安徽省气候舒适度综合区划图(图 5)。

由图 5 可见:①气候最舒适区位于沿江地区和江南南部。因为上述地区四季平均气温高,尤其是夏秋季气温最接近 24℃的最佳体感温度;四季平均风速均较小,且接近 2 m/s 的最佳体感风;虽然平均相对湿度总体大于 70%的最佳体感湿度,但气候仍最舒适,是安徽省内最佳旅游气候区。②气候舒适区主要位于江淮之间和江南中部。上述区域四季平均气温相对较高,日平均风速较小,且接近 2.0 m/s 的最佳体感风速频次较多;平均相对湿度接近体感湿度,故气候舒适。③气候一般区主要位于淮南部和沿淮地区。这些区域四季平均气温中等,平均风速总体略大于 2.0 m/s,平均相对湿度接近 70%的体感湿度,因此气候舒适条件一般。④气候不舒适区主要位于淮北北部。由于淮北北部四季平均气温均较低,尤其是冬季气温最低,远低于 24℃的最佳体感温度;平均风速总体大于 2 m/s 的最佳体感风速;尽管平均相对湿度接近 70%体感湿度,但气候仍不舒适。⑤气候最不舒适区主要位于淮北

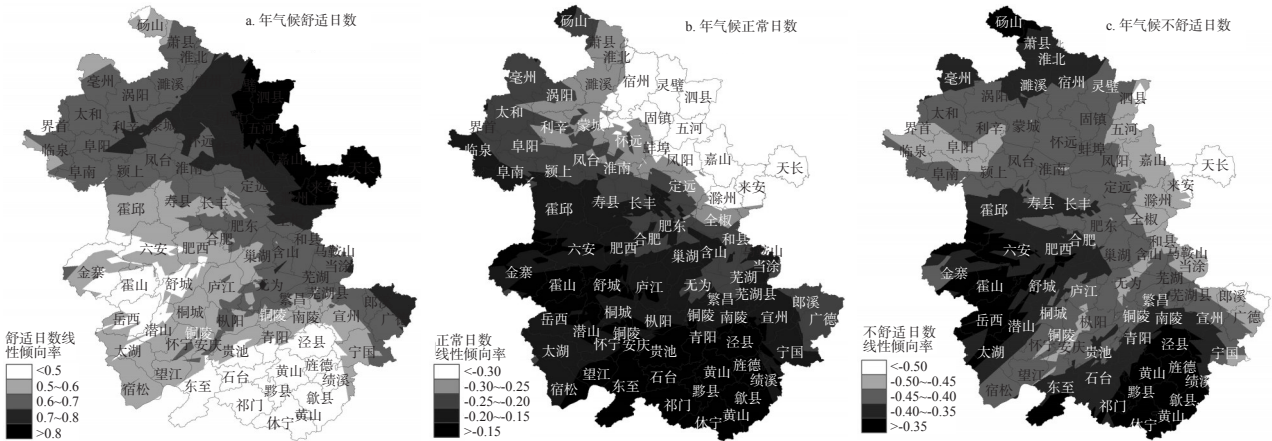


图 3 1961-2010 年安徽省年气候舒适日数(a)、正常日数(b)和不舒适日数(c)线性倾向率空间分布  
Fig.3 Linear trend rate of comfortable climate days (a), normal climate days (b), uncomfortable climate days (c) during 1961-2010

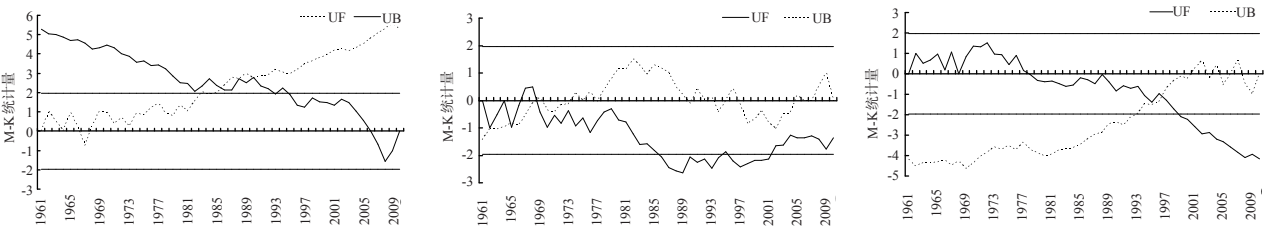


图 4 安徽省年均气候舒适日数(a)、正常日数(b)和不舒适日数(c) M-K 检验  
Fig.4 M-K test results of comfortable climate days (a), normal climate days (b) and uncomfortable climate days within a year

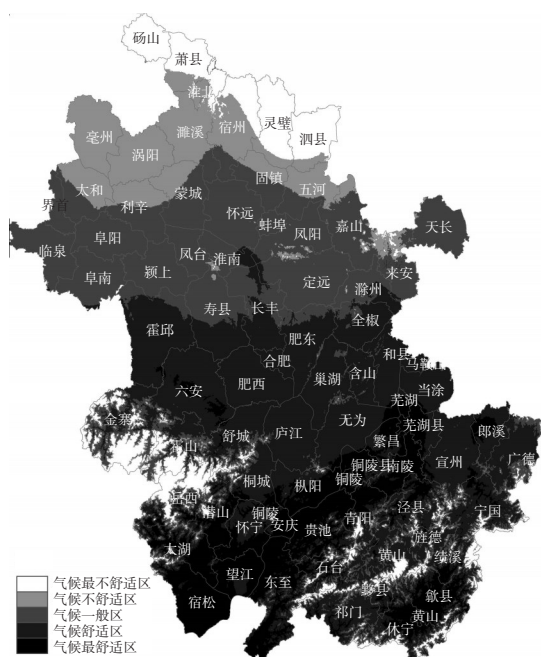


图5 安徽省气候舒适度综合区划

Fig.5 Comprehensive zoning of climate comfort degree in Anhui

东北部、大别山和皖南山区。由于上述地区四季平均气温均为全省最低,平均风速总体也大于 $2.0\text{ m/s}$ ,此外大别山区和皖南山区相对湿度也远大于70%最佳体感湿度,因此气候最不舒适。

## 4 结论与讨论

本文利用安徽省近50年逐日气象要素资料,计算得到气候舒适度指数并进行分级,分析其时空分布特征及变化规律。在此基础上,对全省气候舒适度进行综合区划。

(1) 从各月分布来看,安徽省气候舒适度指数4-10月较小,表明气候总体舒适,其中6月全省平均舒适日数达24.2天,为全年最舒适的月份;冬半年(11月-次年3月)舒适度指数相对较大,表明气候相对不舒适,其中1月平均不舒适日数达30天,为全年最不舒适的月份。总体来看,安徽省4-10月气候条件较为舒适,适宜各项旅游活动的开展;而冬半年气候主要以冷不舒适为主,不宜各类户外活动。

(2) 从空间分布来看,大别山区和江南大部地区气候舒适日数较多,其他地区相对较少;气候正常日数以江淮之间南部和沿江地区较多,淮北最少;气候不舒适日数北多南少。总体来看,安徽省南部地区气候较舒适,北部地区气候相对不舒适。

(3) 从线性变化趋势看,年气候舒适日数全省各地均有一致性增多趋势,其中淮北至江淮之间东

部线性倾向率最大,为 $8.0 \sim 11.4\text{ d/10a}$ ,趋势系数分析表明,全省绝大部分地区增多趋势均通过99%的极显著检验;年气候正常日数和年不舒适日数全省各地总体都呈减少趋势,其中年不舒适日数江淮之间至沿江东部减少趋势最大,为 $-5.0 \sim -6.1\text{ d/10a}$ ,并且绝大部地区减少趋势通过99%的极显著性检验。

(4) 从M-K突变检验来看,1961以来全省年均气候舒适日数一直呈增多趋势,并且在1986年左右出现突变,突变后增多趋势更加显著;年均气候正常日数在1969年左右发生突变,突变后减少趋势显著。年均气候不舒适日数1976年之后一直有减少趋势,在1997年左右存在突变,突变后减少趋势显著。

(5) 从气候舒适度综合区划结果来看,全省气候最舒适区主要位于沿江地区和江南南部;气候舒适区主要位于江淮之间和江南中部;气候一般区主要位于淮北南部和沿淮地区;气候不舒适区主要位于淮西北部;气候最不舒适区位于淮北东北部、大别山区和皖南山区。

上述研究表明,受地理位置、纬度和地形因子等综合因素的影响,安徽省南部和北部、山区和平原气候舒适度有明显异常。本文采用GIS网格化插值,体现了各个地区间舒适程度的自然过渡,使得评价结果更加精细。气候因子是旅游环境评价的基本因子之一。气候舒适感除受气温、湿度、风影响外,还受气压和太阳辐射的影响。气压主要是通过氧分压影响人体,当氧分压降低到一定程度后人体就会因缺氧而感到不适;此外,随着海拔的升高,大气厚度降低,对太阳紫外线的削弱小,皮肤受紫外线辐射容易灼伤。因此,在山脉较多、海拔较高的大别山区和皖南山区地区,下一步有必要根据具体的地形情况把气压和太阳辐射作为气候舒适度评价因子加以考虑。

## 参考文献

- [1] 刘凤舞. 安徽省防汛抗旱气象手册. 北京: 气象出版社, 1998: 1-20.
- [2] 翟武全. 中国气象灾害大典安徽卷. 北京: 气象出版社, 2007: 1-2.
- [3] 张书余. 城市环境气象预报技术. 北京: 气象出版社, 2002: 124-130.
- [4] Terjung W H. Physiologic climates of the contentious United States: A bioclimatic classification based on man. *Annals of the Association of American Geographers*, 1966, 5(1): 141-179.
- [5] Oliver J E. Climate and man's environment: An intro-

- duction to applied climatology. New York: John Wiley & Sons, Inc, 1973: 195-206.
- [6] 吴普, 席建超, 葛全胜. 中国旅游气候学研究综述. 地理科学进展, 2010, 29(2): 131-137.
- [7] Toftum J, Jorgensen A S, Fanger P O. Upper limits of air humidity for preventing warm respiratory discomfort. Energy and building, 1998, 28: 15-23.
- [8] Berglund L, Cain W S. Perceived air quality and the thermal environment. In: Proceedings of IAQ '89: The Human Equation: Health and Comfort. Atlanta, GA, American Society of Heating, Ventilating and Air-Conditioning Engineers, 1989: 93-99.
- [9] Brag A L F, Zanobetti A, Schwartz J. The effect of weather on respiratory and cardiovascular deaths in 12 U. S. cities. Environ Health Perspec, 2002, 110(9): 859-863.
- [10] Thom E C. A new concept for cooling degree days. Air-Condition: Heat & Ventilation, 1957(54): 73-80.
- [11] 徐大海, 朱蓉. 人对温度、湿度、风速的感觉与着衣指数的分析研究. 应用气象学报, 2000, 11(4): 432-441.
- [12] 刘梅, 于波, 姚克敏. 以热量平衡为基础的体感温度模型及气候要素的效应分析. 南京气象学院学报, 2001, 24(3): 527-536.
- [13] 任健美, 牛俊杰, 胡彩虹, 等. 五台山旅游气候及其舒适度评价. 地理研究, 2004, 23(6): 856-862.
- [14] 王明娜, 孙彦坤. 哈尔滨地区冬季旅游气候舒适度模糊综合评判. 东北农业大学学报, 2008, 39(2): 200-203.
- [15] 赵小艳, 申双和, 孙虎声. 南京旅游气候舒适度的探讨. 南京气象学院学报, 2008, 31(2): 250-2256.
- [16] 马丽君, 孙根年, 王洁洁. 中国东部沿海沿边城市旅游气候舒适度评价. 地理科学进展, 2009, 28(5): 713-722.
- [17] 杨建明. 全球气候变化对旅游业发展影响研究综述. 地理科学研究进展, 2010, 29(8): 997-1004.
- [18] 孔邦杰, 李军, 黄敬峰. 山地旅游区气候舒适度的时空特征分析. 气象科学, 2007, 27(3): 342-348.
- [19] 陆鼎煌. 颐和园夏季小气候. 见: 宋兆民主编. 中国林业气象文集. 北京: 气象出版社, 1989: 221-228.
- [20] 王汶, 鲁旭. 基于GIS的人居环境气候舒适度评价: 以河南省为例. 遥感信息, 2009(2): 104-109.
- [21] 吴兑, 邓雪娇. 环境气象学与特种气象预报. 北京: 气象出版社, 2001: 264-277.
- [22] 王汶, 鲁旭. 基于GIS的人居环境气候舒适度评价: 以河南省为例. 遥感信息, 2009(2): 104-109.

## A Study on Variations and Comprehensive Zoning of Climate Comfort Degree in Anhui Province in the Past 50 Years

WANG Sheng, TIAN Hong, XIE Wusan, TANG Weian, DING Xia  
(Anhui Climate Center, Hefei 230031, China)

**Abstract:** Based on data of daily average temperature, average wind velocity and average relative humidity in 70 observatories in Anhui Province from 1961 to 2010, the spatial-temporal distribution of climate comfort degree was calculated by the model of climate comfort degree index. The comprehensive zoning and evaluation was done by using of spatial interpolation techniques of Geographic Information System. The results show that the temporal and spatial distribution of climate comfort degree is significantly different in Anhui. The climatic condition is relatively comfortable from April to October in general, yet uncomfortable in wintertime mainly from November to next March; the climate comfort degree in the southern part of the region is better than in the northern part. Since the 1960s, the annual climate comfortable days have obviously increased in general under global warming, and the linear increasing trend once mutated around 1986 at 95% level; however, the annual climate uncomfortable days have obviously decreased, and the linear decreasing trend mutated around 1997 at 95% level. Comprehensive zoning shows that the best comfortable climate regions are mainly located in the southern part of Jiangnan and areas along the Yangtze River; while the northeast of HuaiBei Region, Dabie Mountains and mountainous areas of South Anhui are the most uncomfortable areas in terms climate.

**Key words:** climate comfort degree; spatial-temporal distribution; comprehensive zoning; Anhui Province

本文引用格式:

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. 地理科学进展, 2012, 31(1): 40-45.