

文章编号: 2096-1618(2018)03-0318-08

# 基于 ArcGIS 的四川地区城市气候舒适度评价

姜继兰, 韩琳

(成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都 610225)

**摘要:**城市气候舒适度的研究对城市区域气候变化及旅游业发展具有重要意义。根据气候舒适度评价模型, 通过插值法对四川省城市气候舒适度和舒适期进行综合区划和评价以及通过熵值法和百分位法利用海拔差异对气候舒适度进行有效订正。研究表明:气候舒适度具有显著时空分布差异, 舒适期空间分布差异大。经海拔订正后舒适度分布:平均海拔低于500 m地区春秋较舒适, 冬夏较不舒适;500~1000 m地区冬夏较舒适, 春秋舒适;1000~2000 m地区四季均为舒适;高于2000 m地区均较差。

**关键词:**应用气象;舒适度;海拔;地理信息系统;时空分析;熵值法

**中图分类号:**P463.3

**文献标志码:**A

**doi:**10.16836/j.cnki.jcuit.2018.03.015

## 0 引言

随着生活质量的提高,人们对旅游生活的需求日渐增多,因此,城市气候舒适度评价的研究对旅游业的发展有着十分重要的意义。国外学者从20世纪20年代开始展开气候舒适度的研究,先后提出了较多适合于热环境或冷环境的人体舒适度模型,如Siple等<sup>[1]</sup>提出的风寒指数等。20世纪70-90年代,各国学者先后提出了热舒适方程、新有效温度ET和标准有效温度等。20世纪80年代中国才逐步展开对生物气候舒适度的研究。根据以上指数模型分别对山东、甘肃、陕西等地的舒适度指数展开了研究<sup>[2-7]</sup>。随着气候舒适度研究的发展,单一的指数不能满足研究要求,陆鼎煌等<sup>[8-10]</sup>分别利用环境卫生学标准、舒适和清洁的准则和实验数据等进一步完善了舒适度的研究。吕伟林等<sup>[11]</sup>根据实验研究出了体感温度统计模型。王汶等<sup>[12]</sup>以河南省为例,利用ArcGIS建立可为人居环境的综合评价提供基础依据的气候舒适度评价方法。

中国气候舒适度的研究大多仅考虑温度、风速、相对湿度等对某一个地区生物气候舒适度的影响,对一些特殊地形的影响并未作进一步讨论。本文对四川地区气候舒适度展开研究时,考虑四川复杂地形的影响,采用熵值法对综合气候舒适度进行海拔订正,采用百分位法进行分级,得到仅适合于四川复杂地形的综合气候舒适度评价体系,为应对区域气候变化、生态环境保护规划以及旅游业的发展提供科学参考和理论支

撑。

## 1 材料与研究方法

### 1.1 研究区概况

四川省介于青藏高原和长江中下游平原,高差悬殊较大,海拔分布从西部4000 m及以上的高原到东部1000 m及以下的盆地和丘陵。根据Vernikos J等<sup>[13]</sup>研究表明,最适合人类生存的海拔是500~2000 m,次之为2000~2500 m,500 m以下和2500 m以上分别由于气压大且湿热、空气稀薄会给人体机能带来不同程度的不适。结合以上研究结果以及四川地区的海拔分布,给出了图1所示的海拔分布图。四川地区特有的地形分布以及冬暖夏热,春秋温暖湿润的气候打造了四川多种多样的自然环境,使四川拥有优越的可开发旅游的空间环境,研究四川城市气候舒适度对当地旅游产业发展具有一定现实意义。

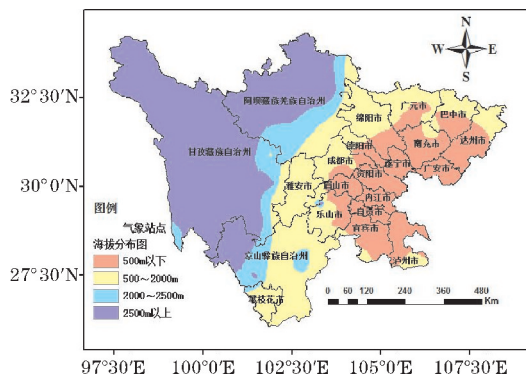


图1 研究区概况图

收稿日期:2017-11-30

基金项目:国家青年自然科学基金资助项目(41105101);四川省教育厅科研基金资助项目(2017Z048)

1.2 数据选取

气象数据来源于中国气象数据网,中国地面气候资料的日值数据集。主要利用四川省 17 个代表性台站 1986–2015 年逐日平均气温、平均风速、平均相对湿度和平均日照时数作为研究资料,为便于分析将数据资料处理为月平均数据。四川省1:400万的地理信息数据来源于国家气象信息中心。

1.3 研究方法

1.3.1 温湿指数

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

式中: $THI$  表示温湿指数; $t$  表示摄氏温度; $f$  表示相对湿度。

1.3.2 风效指数

$k = -(10\sqrt{V} + 10.45 - v)(33 - t) + 8.55s$  (2)

式中: $K$  表示风效指数; $t$  表示摄氏温度; $v$  表示风速; $s$  表示日照时数。

1.3.3 着衣指数

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

式中: $ICL$  表示着衣指数; $t$  表示摄氏温度; $H$  表示人体代谢率的75%; $a$  表示人体对太阳辐射的吸收情况,多数情况下取  $a = 0.06$ ;  $R$  表示垂直于太阳光的单位面积所接受的太阳辐射; $b$  表示太阳高度角。

1.3.4 综合舒适度指数

$C = 0.6X_{THI} + 0.3X_K + 0.1X_{ICL}$  (4)

式中: $C$  表示综合舒适度指数; $X_{THI}$ 、 $X_K$ 、 $X_{ICL}$  分别表示温湿指数、风效指数和着衣指数的分级赋值。表 1 给出了温湿指数、风效指数和着衣指数的分级标准及赋值<sup>[7]</sup>。

表 1 温湿指数、风效指数和着衣指数的分级标准及赋值

温湿指数(THI)		风效指数(K)		着衣指数(ICL)		赋值
分级	人体感觉	分级值	感觉程度	分级值	适宜着衣	
<40	极冷、极不舒适	<-1200	酷冷	>2.5	羽绒或毛皮衣	1
40~45	寒冷、不舒适	-1200~-1000	冷	1.8~2.5	便服加坚实外套	3
45~55	偏冷、较不舒适	-1000~-800	冷凉	1.5~1.8	冬季常用服装	5
55~60	清凉、舒适	-800~-600	凉	1.3~1.5	春秋常用便服	7
60~65	凉、非常舒适	-600~-300	舒适	0.7~1.3	衬衫和常用便服	9
65~70	暖、舒适	-300~-200	暖	0.5~0.7	轻便夏服	7
70~75	偏热、较不舒适	-200~-50	暖热	0.3~0.5	短袖开领衫	5
75~80	闷热、不舒适	-50~80	热	0.1~0.3	热带单衣	3
>80	极闷热、很不舒适	≥80	炎热	<0.1	超短裙	1

1.3.5 海拔订正综合舒适度

采用熵值法对综合舒适指数进行订正<sup>[14]</sup>,熵值法计算步骤如下:

首先,将综合舒适指数和海拔进行标准化(公式 5)与规范化(公式 6)处理:

$X'_{ij} = \frac{X_{ij} - X_j^{\min}}{X_j^{\max} - X_j^{\min}}$ , 其中  $X_j^{\max} = \max\{X_{ij}\}$ ,  $X_j^{\min} = \min\{X_{ij}\}$  (5)

$Y_{ij} = \frac{X'_{ij} + 0.5}{\sum_{i=1}^m (X'_{ij} + 0.5)} \times 1000$  (6)

其次,采用熵值法,确定海拔与综合舒适度的影响权重,根据公式(7)计算两者权重分别为0.688和

0.312:

$E_j = \frac{-1}{\ln m} \sum_{i=1}^m Y_{ij} \ln Y_{ij}$ ,  $d_j = 1 - e_j$ , 第  $j$  项指标权重为:  $W_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j}$  (7)

然后,经过标准化、规范化处理后得到海拔和综合舒适指数的最佳点为(65.64, 19.55),以固定权重下各气象观测点离最佳海拔和综合舒适点的距离表示气候舒适度:

$SI = \sqrt{0.688 \times (H - 65.64)^2 + 0.312 \times (C - 19.55)^2}$  (8)

式中, $H$  表示海拔, $C$  表示综合舒适度。

2 结果与分析

2.1 气候舒适度的分布特征

根据表1 温湿指数、风效指数和着衣指数的分级标准及赋值图,图2~5 给出四川省不同季节的气候舒适度分布情况。

在冬季(图2),温湿指数的最大值为56.86,攀枝花及附近地区的气候舒适度为清凉、舒适,其余地区均为偏冷以下情况;川西北高原的风效指数值分布在-600~-800,从气候舒适度的角度来看为凉,其余地区的风效指数值均在-600~-300,为舒适区;东部盆地着衣指数大多分布在1.8~2.5,川西北高原着衣指数大于2.5,日照充足的攀枝花着衣指数在1.3~1.5。综合分析冬季四川最适宜旅游的城市为攀枝花。

在春季(图3),温湿指数的最小值为47.52,最大值为69.61,东部盆地的温湿指数分布在60~65,气候舒适度为凉、非常舒适;攀西地区的温湿指数分布在65~70,气候舒适度为暖、舒适;川西北高原地区的温

湿指数范围在45~55,气候舒适度为偏冷、较不舒适;四川大部分地区的风效指数分布在-600~-200,气候舒适度为舒适和暖;攀枝花及其附近地区的风效指数分布在-200~-50,气候舒适度为暖热;东部盆地和西南山地地区的着衣指数值分布在0.7~1.3,属于最舒适区;西北高原地区的着衣指数值分布在1.5~2.5,适宜着冬季常用服装和便服加坚实外套。综合分析四川春季气候舒适度最舒适区位于东部盆地。

在夏季(图4),温湿指数分布在57.83~78.76,东部盆地气候舒适度为闷热、不舒适,攀枝花、西昌、雅安等部分地区的气候舒适度为偏热、较舒适,甘孜州和阿坝州的气候舒适度为舒适;川西北高原风效指数分布在-600~-200,气候舒适度为舒适和暖,东部盆地和西南山地地区的风效指数分布在-200~-50,气候舒适度为暖热;着衣指数的分布规律呈带状分布,最东部泸州市至达州市一带的着衣指数在0.3~0.5,攀枝花-成都-巴中市一带着衣指数在0.5~0.7,川西北高原地区着衣指数分布在1.3~1.5。综合分析夏季四川气候舒适度最舒适区为川西北高原地区。

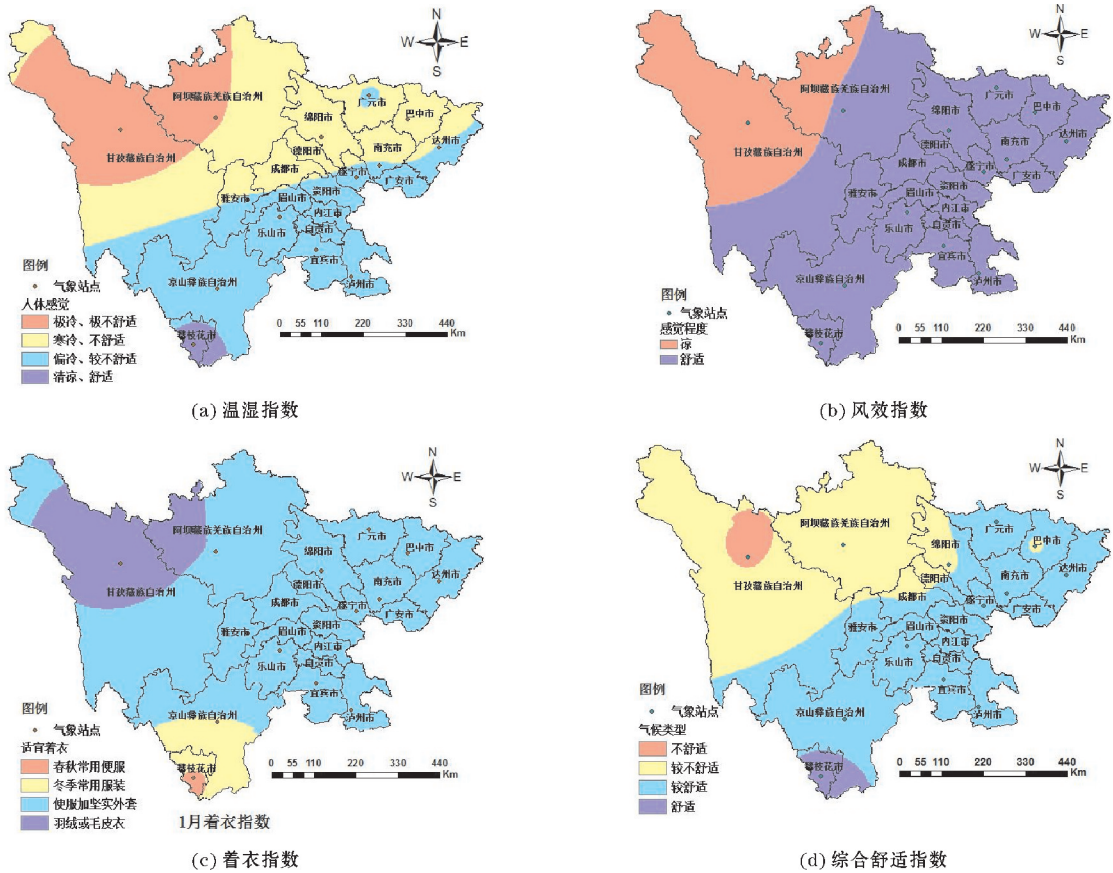


图2 1月温湿指数、风效指数、着衣指数和综合舒适指数



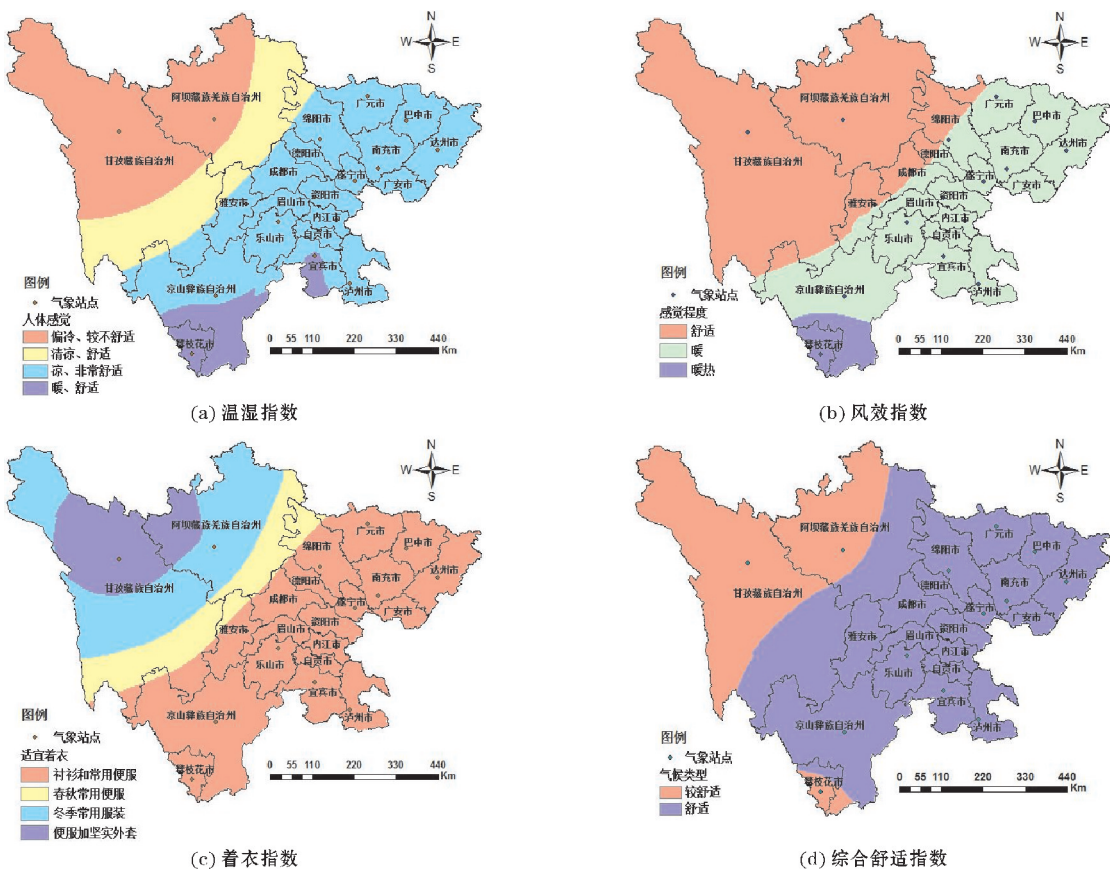


图 3 4 月温湿指数、风效指数、着衣指数和综合舒适指数

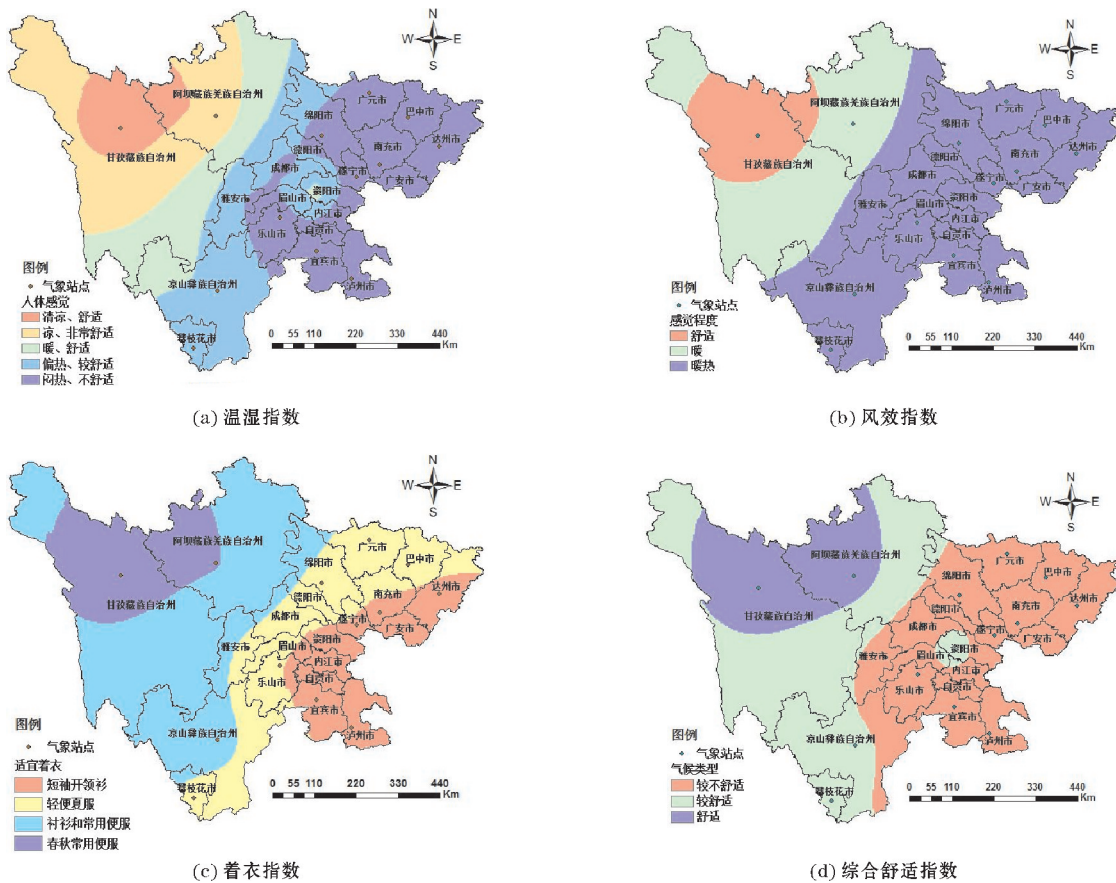


图 4 7 月温湿指数、风效指数、着衣指数和综合舒适指数

在秋季(图5),不同地区的舒适度值差异较大,东部盆地及凉山彝族自治州大部分地区的温湿指数分布在60~65,气候舒适度为凉、非常舒适,攀枝花及附近地区分布在65~70,气候舒适度为暖、舒适,甘孜州和阿坝州分布在45~60气候舒适度为清凉舒适和偏冷、较不舒适;东部盆地和西南山地地区的风效指数分布在-300~-200,气候舒适度为暖,西北高原地区分布在-600~-300,气候舒适度为舒适;东部盆地及西南山地大部分地区的着衣指数分布在0.7~1.3,适宜着衬衫和常用服装,其他地区适宜着冬季服装。综合分析秋季四川舒适区为盆地地区和西南山地地区。

2.2 气候舒适期的分布

四川地区的温湿舒适期为3~8个月(图6),风效舒适期为5~12个月,衣着舒适期为1~10个月,综合舒适期为7~12个月。综合舒适期为12个月的地区

分布在海拔1000~2000 m的西南山地地区,该地区一年四季日照充足,气候舒适度好,适合开展户外旅游活动,综合舒适期为10~11个月的地区分布在海拔1000 m以下的东部盆地地区,综合舒适期为7~9个月的地区主要分布在海拔2000 m以上的高海拔地区。综上可知四川一年中舒适期最长的地区为攀枝花和凉山彝族自治州。

2.3 海拔订正综合舒适度

根据气候舒适度序列的概率分布及四川省气候特点,采用WMO(世界气象组织)极端气候事件计算推荐的百分位法<sup>[6]</sup>,将1986~2015年四川17个代表性站点逐月SI值序列按照从小到大的前10%,30%,70%和90%分位值阈值,由此划分四川省经海拔订正后的综合舒适指数等级范围,如表2所示。

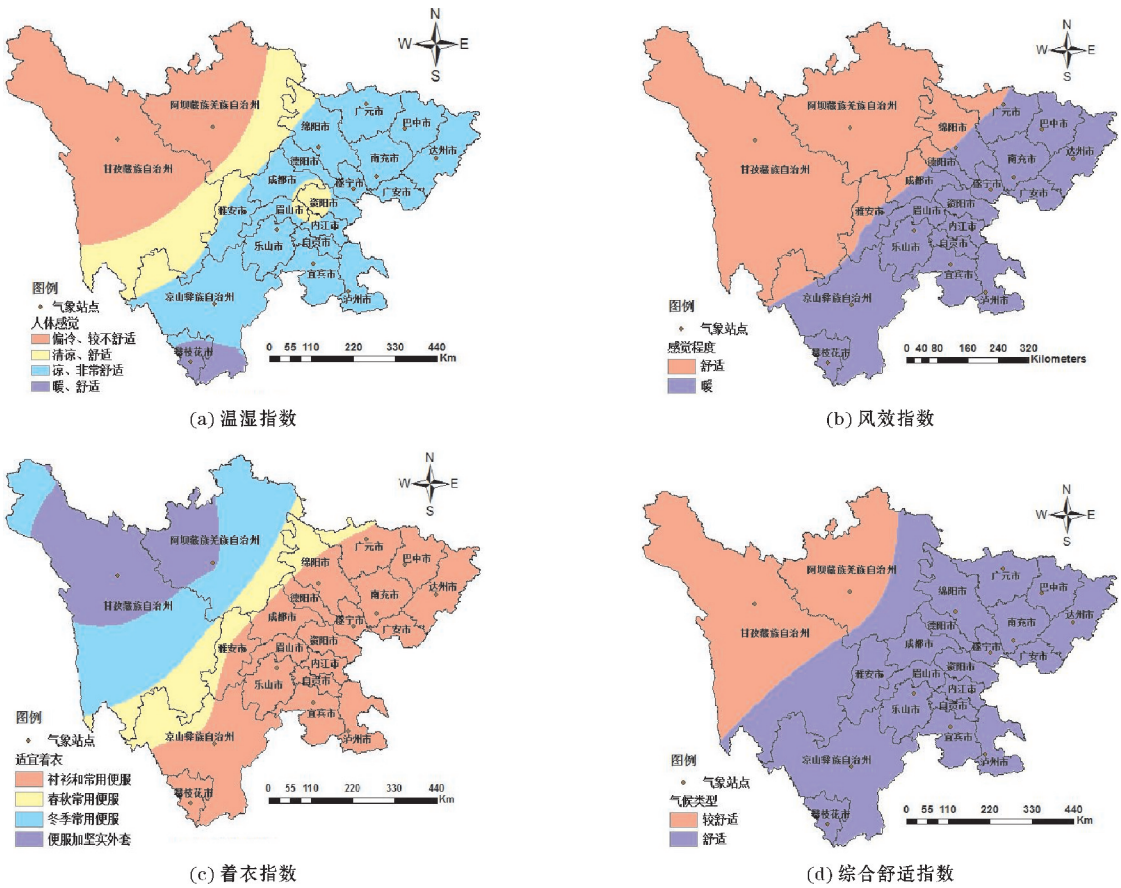


图5 10月温湿指数、风效指数、着衣指数和综合舒适指数

表2 经海拔订正综合舒适指数等级划分

SI	<8.17	8.17~16.48	16.48~20.05	20.05~31.04	>31.04
人体感觉	最舒适	舒适	较舒适	较不舒适	不舒适



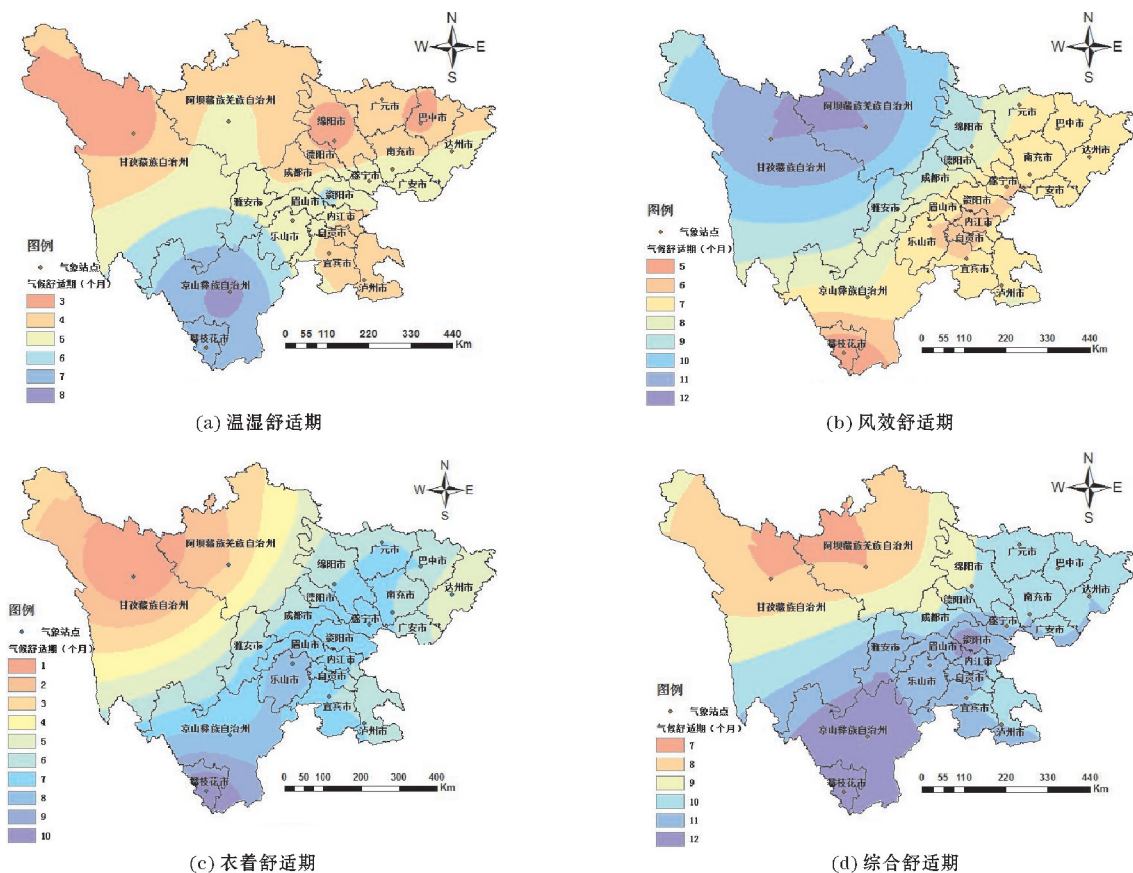


图 6 气候舒适期空间分布图

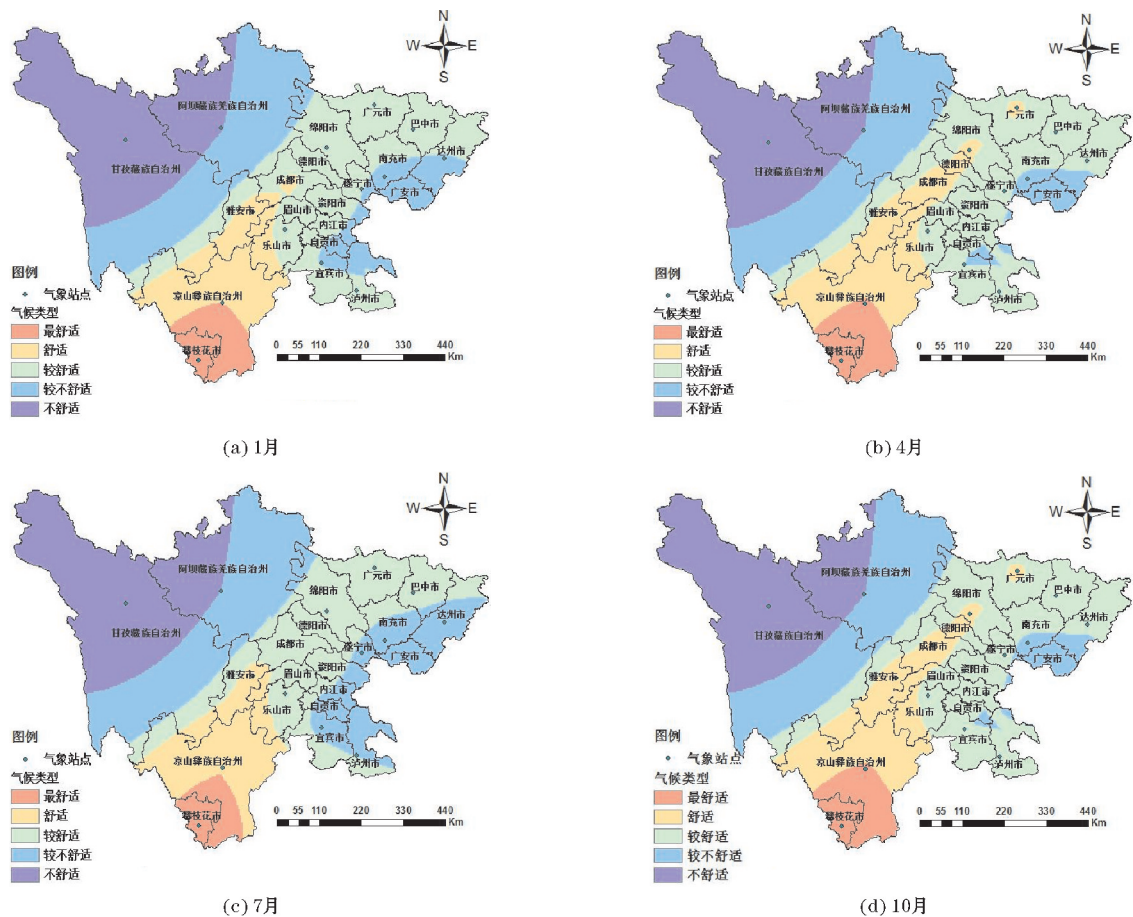


图 7 经海拔订正的综合舒适指数分布图

由图7可知,四川平均海拔在500 m及以下城市,1月和7月大部分地区气候舒适度表现为较不舒适,少部分区域表现为较舒适,4月和10月大部分地区表现为较舒适,广安等少部分地区表现为较不舒适;平均海拔在500~1000 m的成都、雅安等地区1月和7月的气候舒适度多表现为较舒适,4月和10月大部分地区表现为舒适;平均海拔在1000~2000 m地区的气候舒适度较其他地区好,凉山州彝族自治州的大部分地区一年四季都为舒适,攀枝花及其附近地区四季都为最舒适;平均海拔约在2000 m以上的西北高原地区,由于海拔太高,含氧量少,四季气候舒适度都表现为不舒适和较不舒适。

### 3 结论与讨论

通过温湿指数、风效指数、着衣指数和综合舒适指数的逐月栅格图,根据分级标准及赋值研究了四川整个地区的气候舒适度分布情况,同时将符合赋值条件为9和7的月份作为舒适期<sup>[7]</sup>,作了舒适期空间分布图,对四川省的舒适指数作了较为全面的分析。研究表明:(1)综合分析气候舒适度指数的时空分布特征,可知最适宜旅游的城市为攀枝花。(2)从舒适期的空间分布可知,温湿舒适期为3~8个月;风效舒适期为5~12个月;衣着舒适期为1~10个月;综合舒适期为7~12个月,舒适期最长地区为攀西地区。(3)从经海拔订正后综合舒适度分布可知,低于500 m的地区,冬夏季表现为较不舒适,春秋季节较舒适;500~1000 m地区,冬夏季表现为较舒适,春秋季节表现为舒适;1000~2000 m的地区四季均表现为舒适,部分地区表现为最舒适;高于2000 m的地区如西部高原,气候舒适度四季均较差。

目前对四川地区城市气候舒适度的研究主要集中在对某一个地区或者某一个季节进行研究,比如郭成香等<sup>[15]</sup>对四川夏季气候舒适度研究表明除川东和川西小部分地区的气候舒适度受地形影响较差以外,其他地区的气候舒适度分布均为最舒适—舒适—较舒适;钱妙芬等<sup>[16]</sup>对金堂县气候舒适度研究表明,金堂县适宜旅游的季节是春季和秋季,而文中基于ArcGIS对整个四川地区气候舒适度展开研究,得出不同区域在每一个季节舒适度以及舒适期的空间分布情况,并结合四川复杂地形,采取熵值法和百分位法,力求利用海拔差异对四川省气候评价体系进行有效订正。经订正后的舒适度分布情况与仅简单考虑气象要素的舒适度分布情况存在明显差异。

### 参考文献:

- [1] Siple MPA, Passel CF. Excerpts from: Measurements of dry atmospheric cooling in subfreezing temperatures [J]. Wilderness & Environmental Medicine, 1999, 10(3): 176.
- [2] 邱桀, 曹洁, 林隆超, 等. 基于GIS的山东省旅游气候舒适度精细化评估[J]. 资源科学, 2013, 35(12): 2501–2506.
- [3] 刘丽珺, 梁友嘉, 陈学君. 基于GIS的兰州及其周边河谷型地区气候舒适度评价[J]. 干旱气象, 2015, 33(3): 427–433.
- [4] 田志会, 郑大玮, 郭文利, 等. 北京山区旅游气候舒适度的定量评价[J]. 资源科学, 2008, 30(12): 1846–1851.
- [5] 王雁, 吴宜进, 朱江. 湖北省旅游气候舒适度分析[J]. 华中师范大学学报(自然科学版), 2009, 43(1): 171–175.
- [6] 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[J]. 地理科学进展, 2012(1): 40–45.
- [7] 曹开军, 杨兆萍, 孟现勇, 等. 基于栅格尺度的阿勒泰地区旅游气候舒适度评价[J]. 冰川冻土, 2015, 37(5): 1420–1427.
- [8] 陆鼎煌, 崔森, 李重和. 北京城市绿化夏季小气候条件对人体的适宜度[A]. 中国农学会林业气象研究会. 林业气象论文集[C]. 北京: 气象出版社, 1984: 144–152.
- [9] 钱妙芬, 叶梅. 旅游气候宜人度评价方法研究[J]. 成都信息工程学院学报, 1996(3): 128–134.
- [10] 李万珍, 谭传凤. 人体的气候适宜度研究[J]. 华中师范大学学报(自然科学版), 1994(2): 255–259.
- [11] 吕伟林. 体感温度及其计算方法[J]. 北京气象, 1997(4): 23–25.
- [12] 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[J]. 遥感信息, 2009(2): 104–109.
- [13] Vernikos J. Human physiology in space [J]. Bioessays, 1996, 18(12): 1029–1037.
- [14] 王国新, 钱莉莉, 陈韬, 等. 旅游环境舒适度评价及其时空分异——以杭州西湖为例[J]. 生态学报, 2015, 35(7): 2206–2216.
- [15] 郭成香, 石凤云. 四川省夏季气候舒适度的探

讨[J]. 成都气象学院学报,1997,12(3):234-240.

气候资源评价[J]. 资源开发与市场,2005,21(2):174-176.

[16] 钱妙芬,袁东升,杜远林. 四川金堂县生态旅游

## The Urban Climatic Comfort Degree Evaluation in Sichuan based on GIS

Jiang Ji-lan, Han Lin

(College of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China)

**Abstract:** It is greatly important to research the urban climate comfort for regional climate change and tourism development. According to the climate comfort evaluation model, the comprehensive zoning and evaluation for climate comfort and comfort period is made through the use of interpolation method in this paper. The altitude difference is used to effectively revise the Sichuan climate comfort by the entropy method and percentile method in the paper. The results can be concluded as follows: Firstly, the climate comfort in Sichuan has obvious difference in spatial and temporal distribution; Secondly, comfort period has obvious difference in spatial distribution; Thirdly, the spatial distribution of the comfort after being corrected by the elevation is: the climate comfort of spring and autumn is a bit comfortable and the climate comfort in summer and winter is a bit uncomfortable in the region under 500m, the climate comfort in spring and autumn is comfortable and the climate comfort of summer and winter is a bit comfortable in the region between 500 m and 1000 m. The climate is comfortable in the whole year in the region between 1000 m and 2000 m, and the climate comfort is terrible in the whole year in the region above 2000 m.

**Keywords:** applied meteorology; climate comfort; elevation; ArcGIS; space-time analysis; entropy method