

# 我国主要旅游城市环境舒适度的评价研究

张少朋, 韩琳\*

成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都  
Email: 2411262350@qq.com, \*hanlin@cuit.edu.cn

收稿日期: 2020年10月9日; 录用日期: 2020年10月28日; 发布日期: 2020年11月4日

## 摘要

旅游环境舒适度是将气候和环境污染(包括噪音污染、空气污染)共同作用于人体感官形成的感知进行评价, 进而影响旅游者对目的地的选择及其消费行为。本文利用中国气象台站地面气象资料日值数据集(V3.0)、生态环境部PM<sub>2.5</sub> 2017年逐日数据依据熵值法以及距离法计算了我国12个主要旅游城市的舒适度指数, 结果表明: 1) 综合舒适度指数变化呈“U”或“W”型, 指数为“U”型变化时, 最佳旅游时间为7月; 指数为“W”型变化时, 最佳旅游时间为8月与5~6月; 2) 舒适期由长至短分别为三亚、昆明、广州、拉萨、哈尔滨、武汉、大连、成都、南京、杭州、北京、吉林; 3) 温湿指数位于2.87~3.47, PM<sub>2.5</sub>浓度位于1.94~2.54时, 人体感觉舒适; 温湿指数位于2.57~2.87及3.47~3.77, PM<sub>2.5</sub>浓度位于1.64~1.94或2.54~2.84时, 人体感觉较舒适(数值为处理后的无量纲量)。

## 关键词

旅游环境舒适度, 温湿指数, PM<sub>2.5</sub>, 熵值法

# Evaluation Research on the Environmental Comfort of Chinese Major Tourism Cities

Shaopeng Zhang, Lin Han\*

School of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu Sichuan  
Email: 2411262350@qq.com, \*hanlin@cuit.edu.cn

Received: Oct. 9<sup>th</sup>, 2020; accepted: Oct. 28<sup>th</sup>, 2020; published: Nov. 4<sup>th</sup>, 2020

## Abstract

Tourism environment comfort is a perception evaluation that combines the climate and environ-

\*通讯作者。

文章引用: 张少朋, 韩琳. 我国主要旅游城市环境舒适度的评价研究[J]. 地理科学研究, 2020, 9(4): 215-222.  
DOI: 10.12677/gser.2020.94024

mental pollution (including noise pollution and air pollution) of the scenic area with the human senses to affect the destination choice and consumption behavior of tourists. This paper uses the daily value data set (V3.0) of China's surface climate data and the PM<sub>2.5</sub> 2017 daily data of the Environmental Protection Bureau to calculate the comprehensive comfort index of 12 major tourist cities in China according to the entropy method and distance method. Major results are as follows. 1) The change of comprehensive comfort index is "U" or "W" type, when the index is "U" type change, the best travel time is July; when the index is "W" type change, the best travel time is August, May to June. 2) The comfort periods from long to short are Sanya, Kunming, Guangzhou, Lhasa, Harbin, Wuhan, Dalian, Chengdu, Nanjing, Hangzhou, Beijing, Jilin. 3) When the THI index is between 2.87 - 3.47 and the pollutant concentration is between 1.94 - 2.54, the human body feels comfortable; when the THI is between 2.57 - 2.87 and 3.47 - 3.77, when the pollutant concentration is between 1.64 - 1.94 or 2.54 - 2.84, the human body feels more comfortable.

## Keywords

Environmental Comfort Index, THI, PM<sub>2.5</sub>, Entropy Method

Copyright © 2020 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

气候状况对旅游业的经济增长和旅游满意度有重要的影响[1]。气候舒适度是描述 人体在一定气候条件下自身生理状况舒适感的变量。近年来气候舒适度指数不仅考虑到了与人体感触直接相关的相对湿度, 温度, 风速等变量, 还考虑到了各种环境变量, 例如噪音, 污染物浓度等。受温度, 相对湿度, 风速等变量影响的气候舒适度指数在国内经历了“起步 - 发展 - 快速发展”3 个阶段, 该领域的主要研究热点为气候舒适度评价方法与模型, 气候舒适度的时空分布特征等[2]。当前, 国内在研究气候舒适度方面主要包括温湿指数、风寒指数以及综合舒适度指数, 并根据三类热舒适指数确定研究地区适宜性气候区域范围以及适宜气候时间[3] [4] [5] [6]。

在研究过程中, 有学者基于地形, 降水以及体感温度等对三类经验公式得出的舒适度指数进行订正[7] [8]。为了进一步探究影响舒适度指数的环境变量, 本文将污染物浓度作为舒适度指数的订正因子。PM<sub>2.5</sub>是污染物的重要组成部分, 对能见度以及人体健康损害有重要影响, 因此本文利用 PM<sub>2.5</sub>对气候舒适度指数进行订正。

## 2. 资料与方法

### 2.1. 样点选择

为了研究我国主要旅游城市旅游舒适度分布特征, 本文以我国南北地理分界线——秦岭淮河分界线为标准划分我国南北区域, 在我国北方选取北京、吉林、大连、哈尔滨, 南方选取南京、广州、武汉、成都、三亚、拉萨、昆明、杭州。

根据我国东西中部和东北地区划分方法[9], 将选取的城市站点进行东中西分类, 我国东部地区包括北京、南京、杭州、广州、三亚, 中部地区为武汉、西部地区包括成都、拉萨、昆明, 东北地区包括吉林、大连、哈尔滨。

## 2.2. 资料概括

1) 中国气象站地面气象资料日值数据集(V3.0), 包含北京、南京、广州、武汉、成都、吉林、三亚、大连、哈尔滨、拉萨、昆明、杭州, 选取时段自 2017 年 1 月至 2017 年 12 月为期一年的逐日数据, 使用的气象要素包括温度, 相对湿度, 平均风速。

2) 北京、南京、广州等省份的环保局  $PM_{2.5}$  逐日数据(2017 年 1 月~12 月)。

## 2.3. 研究方法

### 2.3.1. 指标选取

本文通过温湿指数 THI 以及污染物浓度  $PM_{2.5}$  研究综合舒适度指数, 温湿指数主要通过温度与相对湿度两个气象变量反应人体对环境的感知程度, 而污染物  $PM_{2.5}$  通过影响空气质量从而进一步影响旅游满意度。

**Table 1.** Impact factors of comprehensive comfort index

**表 1.** 综合舒适度指数影响因子

影响因子选择原因
温度温度是表示人体冷热程度的物理量, Denstadi J M [10] (2011)确定人体最舒适的范围为 $18^{\circ}\text{C}\sim 25^{\circ}\text{C}$
相对湿度相对湿度通过影响大气热容量协同大气温度一起对人体作用, Leitte A M [11] (2001)确定人体较适宜范围 45%~65%, 确定人体健康范围为 60%~70%。
污染物浓度根据 GB3095-2012 [12], 空气质量分指数 IAQI 为 0 时, $PM_{2.5}$ 浓度为 $0\text{ ug}/\text{m}^3$ ; IAQI 为 50 时, $PM_{2.5}$ 浓度小于等于 $35\text{ ug}/\text{m}^3$ ; IAQI 为 100 时, $PM_{2.5}$ 浓度小于等于 $75\text{ ug}/\text{m}^3$ ; IAQI 为 150 时, $PM_{2.5}$ 浓度小于等于 $115\text{ ug}/\text{m}^3$ ;

### 2.3.2. 温湿指数

$$THI = t - 0.55(1 - f)(t - 14) \quad (1)$$

式中, THI 为温湿指数,  $t$  为摄氏温度,  $f$  为相对湿度(%). 古明媚等(2015)确定了温湿指数等级划分, 如表 2:

**Table 2.** Classification of temperature and humidity index

**表 2.** 温湿指数分类等级

极不舒适程度 d	<40 或 >80
不舒适程度 c	75~80 或 40~45
较舒适程度 b	70~75 或 45~55
舒适 A	55~70

取舒适状态下 55~70 之间的平均值 62.5 为最舒适点。

### 2.3.3. 熵值法

熵值法是用来判断某项指标离散程度的物理量, 离散程度越大, 该指标对综合评价的影响越大, 在综合评价评估中的权重越大。

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij} - x_j^{\min}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}}, x_j^{\max} = \max\{x_{ij}\}, x_j^{\min} = \min\{x_{ij}\} \quad (2)$$

$$y_{ij} = \frac{x'_{ij} + 0.5}{\sum_{i=1}^m (x'_{ij} + 0.5)} \times 1000 \quad (3)$$

$$e_j = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m y_{ij} \ln y_{ij}, d_j = 1 - e_j, W_j = \frac{d_j}{\sum_1^n d_j} \quad (4)$$

利用公式(2)将温湿指数以及  $PM_{2.5}$  数据进行标准化( $i$  为时间序列,  $j$  为站点序列), 公式(3)将标准化后的矩阵转为比重矩阵, 利用公式(4)得到  $PM_{2.5}$  以及 THI 指数的效应值  $d$  矩阵( $1 \times 2$ ), 根据效应值矩阵计算得出权重矩阵  $W$ 。

气象数据代入后, 得出  $PM_{2.5}$  权重系数  $\sigma_1 = 0.496966$ , THI 权重系数  $\sigma_2 = 0.503034$ 。最佳舒适点 THI = 62.5,  $PM_{2.5} = 0 \text{ ug/m}^3$  代入公式(2) (3)后, 得出标准化, 规范化后的点(2.241469, 3.173425), 其中 THI 为纵坐标,  $PM_{2.5}$  为横坐标。

2.3.4. 距离法

将距最佳点距离表示为综合舒适度指数, 见公式(5):

$$S = \sqrt{\sigma_1 (Pm_{2.5} - m)^2 + \sigma_2 (THI - n)^2} \quad (5)$$

$S$  表示综合舒适度指数;  $m, n$  表示人体舒适最佳点;  $\sigma_1, \sigma_2$  表示各项指标的权重。 $PM_{2.5}$  与 THI 表示经过(2) (3)处理后的数据。

将表 2 温湿指数分类等级以及表 1  $PM_{2.5}$  分类等级边界值代入公式(2) (3)后得出综合舒适度指数边界值, 等级划分见表 3:

Table 3. Classification of comprehensive comfort index  
表 3. 综合舒适度指数分类等级

综合舒适度指数			
舒适	较舒适	不舒适	极不舒适
$S \leq 0.21$	$0.21 < S \leq 0.43$	$0.43 < S \leq 0.64$	$S > 0.64$

3. 我国主要旅游城市气候舒适度的时空变化特征分析

根据公式(5)以及表 3,  $S \leq 0.21$  舒适,  $0.21 < S \leq 0.43$  时较舒适,  $0.43 < S \leq 0.64$  时不舒适,  $S > 0.64$  极不舒适。由于我国主要旅游城市经纬度跨度大, 不同地区气候特征不同, 气候舒适度总体特征分析主要基于地理分型的季节讨论以及年差异讨论。

我国主要旅游城市综合舒适度指数由低到高分别为三亚、昆明、广州、拉萨、吉林、北京、哈尔滨、大连、武汉、成都、南京、杭州, 可见综合舒适度指数与纬度并非呈现简单的线性关系。综合舒适度指数季节曲线呈“W”或“U”型变化, “W”变化如图 1, “U”型变化如图 2。

分析结果如下:

- 1) 东北地区从 4 月进入人体较舒适时期, 9 月中旬到 10 月退出较舒适时期。东北地区综合舒适度指数变化呈现出“W”型, 7 月综合舒适度指数为极大值点, 处于人体较舒适范围内, 4 月~5 月与 7 月~9 月综合舒适度指数降低, 其中 5 月与 9 月为综合舒适度指数极小值点。9 月~10 月温度降低, 低于人体温度舒适下限, 相对湿度降低, 处于舒适范围内, 但由于冬季污染浓度升高, 故综合舒适度指数降低, 人体舒适感下降。
- 2) 东南地区的人体较舒适时期为 4 月中旬~10 月, 与东北地区相比, 进入舒适期节点滞后, 综合舒适度指数变化趋势与东北地区相似, 呈“W”型(广州地区除外), 4 月中旬~5 月以及 7 月~9 月综合舒适度指数降低, 7 月为综合舒适度指数极大值, 9 月以后综合舒适度指数升高, 9 月中旬到 10 月上旬退出

较舒适期。广州地区综合舒适度指数变化呈“U”字形，6月综合舒适度指数最低，进入舒适期，4月中旬前及9月中旬后退出较舒适期。

3) 西南地区人体较舒适区域为5月~9月下旬，其中成都地区进入较舒适期最早，为3月下旬，拉萨地区退出较舒适期的时间最晚，为10月上旬。成都与拉萨地区综合舒适度指数变化呈“W”型，7月综合舒适度指数为极大值点，成都地区5月与9月综合舒适度指数为极小值点，拉萨地区位相大于成都地区，第1个极小值位于6月，第2个极值与成都地区一致，为9月份。昆明地区综合舒适度指数呈“U”型变化，极小值点位于9月份，较舒适期为5月~10月。

4) 武汉地区指数呈“W”型变化，6月与9月为极小值点，7月为极大值点，较舒适期为4月~9月上旬。三亚地区指数变化为“U”字型，4月进入较舒适期，5月进入舒适期，7月综合舒适度指数最小，

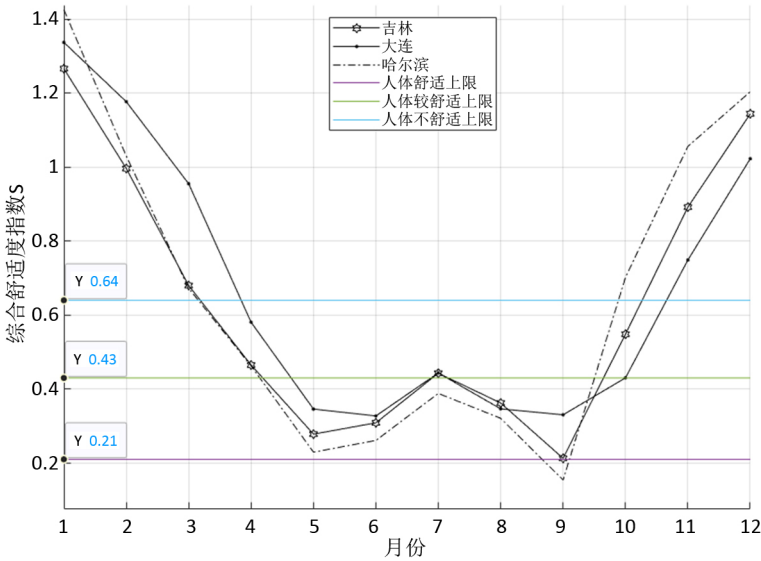


Figure 1. Comprehensive comfort index “W” type change chart  
图 1. 综合舒适度指数 “W” 型变化图

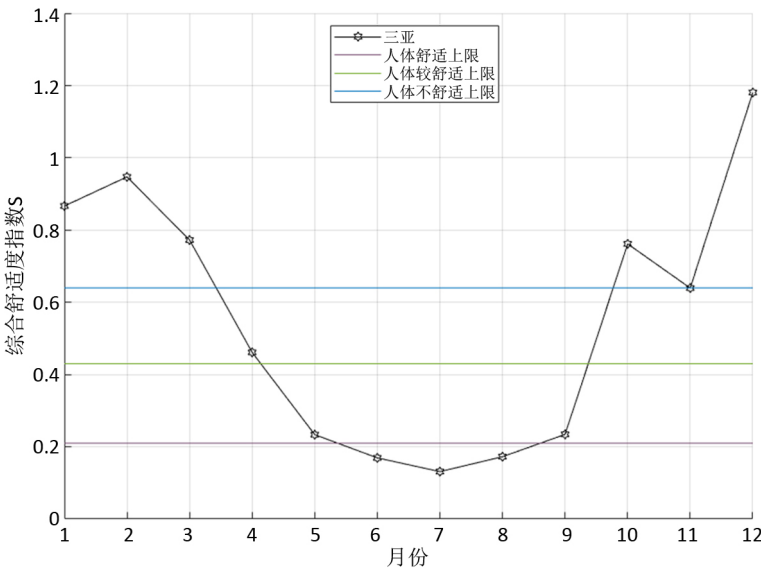


Figure 2. Comprehensive comfort index “U” type change chart  
图 2. 综合舒适度指数 “U” 型变化图

8月下旬退出舒适期, 9月上旬退出较舒适期。北京地区综合舒适度指数变化为“W”型, 4月进入较舒适期, 6月8月为极小值点, 7月为极大值点, 9月上旬退出较舒适期。

综上所述, 我国主要旅游城市综合舒适度指数变化为“U”或“W”型, 当指数为“U”型变化时, 最佳旅游时间通常为盛夏7月, 例如三亚与广州; 当指数变化趋势为“W”型时, 最佳旅游时间通常为春末夏初以及秋季, “W”型变化时, 气候舒适度第二极小值点秋季时间稳定, 为8月份, 第一极小值点在5月~6月之间波动, 北京, 中南, 东南地区为5月左右, 东北地区与成都地区为4月左右。

4. 我国主要旅游城市环境舒适度的时空变化特征分析

PM<sub>2.5</sub> 是污染物的主要组成部分, 本文将 PM<sub>2.5</sub> 作为舒适度指数的订正因子, 因此有必要探究 PM<sub>2.5</sub> 在我国旅游区内的时空分布, 以公式(2)(3)处理(标准化, 规范化处理)后的 PM<sub>2.5</sub> 为横坐标, 以处理后的温湿指数 THI 为纵坐标表示旅游区内气候舒适度的分布特征。

根据空间分布图, 如图 3。其中圆心为最佳舒适点, 紫色表示舒适, 橙色表示较舒适, 粉色表示不舒适, 蓝色表示极不舒适, 可以看出:

- 1) 污染物浓度与综合舒适度指数在一定程度上存在反协同作用, 污染物浓度值越高, 舒适状况越低, 人体越不舒适。
- 2) 当人体处于舒适范围时, 温湿指数位于 2.87~3.47 之间; 温湿指数位于 2.57~2.87 及 3.47~3.77 之间时, 人体感觉较舒适; 温湿指数位于 3.77~4.08 以及 2.26~2.57 之间时, 人体感觉不舒适; 温湿指数大于 4.08 或小于 2.26 时, 人体感觉极不舒适。
- 3) 污染物 PM<sub>2.5</sub> 浓度位于 1.94~2.54 时, 人体感觉舒适; 位于 1.64~1.94 或 2.54~2.84 时, 人体感觉较舒适; 位于 1.33~1.64 以及 2.84~3.15 时, 人体感觉不适; 当污染物 PM<sub>2.5</sub> 浓度大于 3.15 小于 1.33 时, 人体极不舒适。

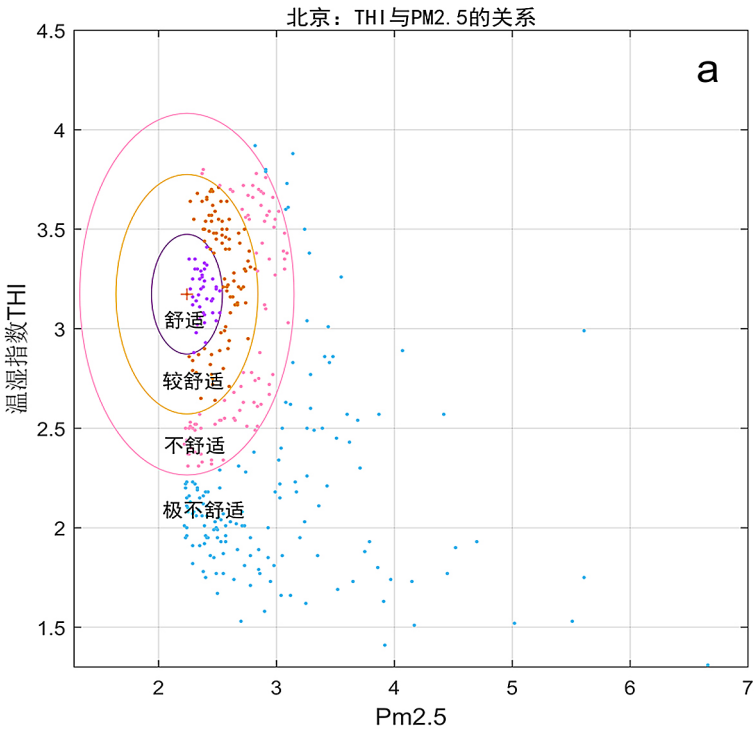


Figure 3. Spatial distribution map of tourism environment comfort  
图 3. 旅游环境舒适度空间分布图



4) 当污染物浓度或温湿指数处于极端值时，人体感受为极不舒适程度。此外，北京、哈尔滨、吉林地区散点图分布均匀，都位于最佳舒适点的右侧。

5) 根据空间角度，舒适期由长至短分别为三亚、昆明、广州、拉萨、哈尔滨、武汉、大连、成都、南京、杭州、北京、吉林。

根据表 3 舒适度等级划分得出各个城市各级标准的天数，见表 4:

**Table 4.** Number of occurrences of comfort level of major tourist cities  
**表 4.** 主要旅游城市舒适度等级出现次数

	舒适	较舒适	不舒适	极不舒适程
三亚	107	81	45	132
昆明	86	73	49	157
广州	79	76	53	157
拉萨	76	86	51	152
哈尔滨	66	96	58	145
武汉	52	83	75	155
大连	48	86	65	166
成都	45	93	83	144
南京	44	82	78	161
杭州	42	76	86	161
北京	40	86	88	151
吉林	39	102	78	146

我国主要旅游城市舒适期由大到小分别为：三亚、昆明、广州、拉萨、哈尔滨、武汉、大连、成都、南京、杭州、北京、吉林。其中三亚地区舒适期最长，为 86 天，吉林地区舒适期最短，为 39 天。不舒适期由长至短依次为北京、杭州、成都、吉林、南京、武汉、大连、哈尔滨、广州、拉萨、昆明、三亚，其中三亚地区不舒适期最短，为 45 天，北京地区不舒适期最长，为 88 天。极不舒适期比率各个城市基本一致，长度为 150 天左右，结合舒适度指数月季变化图可知，极不舒适期一般为 1 月到 3 月以及 10 月中下旬之 12 月，不舒适期跨度为 5 个月左右。

5. 结论与分析

根据分析，得出结论如下：1) 综合舒适度指数时空分布特征：舒适期由大至小分别为三亚、昆明、广州、拉萨、哈尔滨、武汉、大连、成都、南京、杭州、北京、吉林。指数变化呈“U”或“W”型，指数为“U”型变化时，最佳旅游时间为 7 月；指数为“W”型变化时，最佳旅游时间为 8 月与 5~6 月。2) 温湿指数位于 2.87~3.47 之间人体感觉舒适；温湿指数位于 2.57~2.87 及 3.47~3.77 之间时，人体感觉较舒适；温湿指数位于 3.77~4.08 以及 2.26~2.57 之间时，人体感觉不舒适；温湿指数大于 4.08 或小于 2.26 时，人体感觉极不舒适；污染物 PM<sub>2.5</sub> 位于 1.94~2.54 时，人体感觉舒适；位于 1.64~1.94 或 2.54~2.84 时，人体感觉较舒适；位于 1.33~1.64 以及 2.84~3.15 时，人体感觉不适；当污染物浓度大于 3.15 小于 1.33 时，人体极不舒适。当 PM<sub>2.5</sub> 浓度或温湿指数处于极端值时，人体感受为极不舒适程度。与前人研究结论相比大致相同，例如目前国内基于舒适度计算得出我国大陆北方以冷不舒适域为主，南方主要以热不舒适域为主，我国广义舒适域集中在云南、四川盆地以及西北部分区域，酷热中心稳定处于长江中下游地

区[12]。但其中也有稍许差异, 差异来源主要为污染物浓度作为订正因子。

## 基金项目

2018~2020 年校级重点高等教育人才培养质量和教学改革项目(JY2018069); 《大气探测学》精品在线开放课程建设项目(BKJX2019062)。

## 参考文献

- [1] 陈力, 苑全治. 基于熵值法的洛阳旅游气候舒适度研究[J]. 洛阳师范学院学报, 2018, 37(6).
- [2] 王亚敏, 彭蝶飞, 胡大盛, 等. 基于 CiteSpace 的国内外旅游气候舒适度研究现状分析[J]. 安徽农学通报, 2019, 25(8).
- [3] 古明媚, 张涛. 电白区旅游气候舒适度分析[J]. 广东气象, 2015, 37(2): 55-58.
- [4] 崔乔, 何彤慧, 等. 1960-2015 年西藏气候舒适度时空分布特征[J]. 宁夏工程技术, 2019, 18(3).
- [5] 李晓洋, 张亚丽, 等. 基于 1987-2016 年气象数据的河南省气候舒适度时空变化特征研究[J]. 河南科学, 2019, 37(2).
- [6] 张小泉, 傅帅, 等. 武义县气候舒适度变化及未来趋势分析[J]. 科技通报, 2019, 35(10).
- [7] 张狄, 史岚, 等. 华东地区气候舒适度精细化估算以及分布特征研究[J]. 云南大学学报, 2015, 37(5): 695-704.
- [8] 孔邦杰, 李军, 等. 山地旅游区气候舒适度的时空特征分析[J]. 气象科学, 2007, 27(3).
- [9] 我国东西中部和东北地区划分方法[J]. 统计与咨询, 2012(6).
- [10] Denstadi, J.M., Jacobsen, J.K.S. and Lohmann, M. (2011) Tourist Perceptions of Summer Weather in Scandinavia. *Annals of Tourism Research*, **38**, 920-940. <https://doi.org/10.1016/j.annals.2011.01.005>
- [11] Leitte, A.M., Petrescu, C., Franck, U., *et al.* (2009) Respiratory Health, Effects of Ambient Air Pollution and Its Modification by Air Humidity in Drobeta-Turnu Severin, Romania. *Science of the Total Environment*, 2009, **407**, 4004-4011. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.02.042>
- [12] 环保局. GB3095-2012 环境空气质量标准[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2012.