

# 中国大陆不同空间尺度下的气候舒适与不舒适期数据集 (1981–2010) ——改进算法的模拟结果

蔚丹丹<sup>1,2</sup>, 李 山<sup>1,2,3\*</sup>

1. 华东师范大学地理科学学院, 上海 200241; 2. 地理信息科学教育部重点实验室, 上海 200241; 3. 崇明生态研究院, 上海 200062

**摘 要:** 气候舒适度研究已有半个多世纪的历史, 气候舒适度评价模型(指数)已成为人居环境和旅游资源评价的重要内容。本数据集是基于中国信息中心发布的 1981–2010 年的 814 个基本和基本气象站点的日值数据, 采用“季节锚点法”体感分级思路优化改进后的温湿指数(Temperature Humidity Index, THI)和风效指数(Wind Effect Index, WEI)分别对中国开展了实证研究。数据集包括:(1) 中国分省区年均气候舒适期/不舒适期(1981–2010年); (2) 中国地级市年均气候舒适期/不舒适期(1981–2010年); (3) 中国年均气候舒适期/不舒适期的历年变化(1981–2010年); (4) 中国 814 个基本基准气象站点年均气候舒适期/不舒适期的变化(1981–2010年)。数据集存储为.xlsx 格式, 数据量为 152 KB。

**关键词:** 热舒适指数; 气候舒适度; 气候舒适期; 温湿指数; 风效指数; 城市尺度

**DOI:** 10.3974/geodp.2020.02.05

## 数据可用性声明:

本文关联数据已出版, 可获取: 蔚丹丹, 李山. 改进的气候舒适度模型计算中国大陆气候舒适与不舒适期数据集(1981–2010) [J/DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志, 2020. DOI: 10.3974/geodb.2020.01.02.V1.

## 1 前言

气候舒适度是指在气温、湿度、风速和日照等气象因子的影响下, 人们感觉的适宜程度及其舒适状态<sup>[1]</sup>。作为在人类机体与大气环境的热交换基础上产生的生物气象指标, 有效地反应了人体对环境冷热程度的感知, 是人类活动和人居环境的重要影响因子<sup>[2–3]</sup>。其相关的评价模型/指数在诸如建筑设计<sup>[4–5]</sup>、城市规划<sup>[6–7]</sup>、人体健康<sup>[8–9]</sup>和旅游发展<sup>[10–12]</sup>等领域具有广泛应用。体感分级标准对气候舒适度评价模型效果有着重要的影响, 是实践应用中最终的“度量衡”工具。但以往针对中国气候舒适度评价的研究中, 现有体感分级标准研究和应用中异地套用和局地实测的传统做法, 面临着一些客观存在的问题和局限。因此,

收稿日期: 2020-01-06; 修订日期: 2020-06-01; 出版日期: 2020-06-25

基金项目: 中华人民共和国科学技术部(2012CB955803)

\*通讯作者: 李山 M-6399-2017, 华东师范大学地理科学学院, sli@geo.ecnu.edu.cn

数据引用方式: [1] 蔚丹丹, 李山. 中国大陆不同空间尺度下的气候舒适与不舒适期数据集(1981–2010) ——改进算法的模拟结果[J]. 全球变化数据学报, 2020, 4(2): 131–136. DOI: 10.3974/geodp.2020.02.05.

[2] 蔚丹丹, 李山. 改进的气候舒适度模型计算中国大陆气候舒适与不舒适期数据集(1981–2010) [J/DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志, 2020. DOI: 10.3974/geodb.2020.01.02.V1.

《改进的气候舒适度模型计算中国大陆气候舒适与不舒适期数据集（1981–2010）》以中国 814 个（不包括港澳台地区）基准和基本气象站点 1981–2010 年的气温、相对湿度、风速以及日照时数等气象要素的日值数据为主要数据源，基于“季节锚点法”提出的针对中国区域的 7 体感划分标准“暑—热—暖—温—凉—冷—寒”，具体给出了温湿指数 (Temperature Humidity Index, THI) 和风效指数 (Wind Effect Index, WEI) 在各体感等级上的阈值区间，进而在此基础上计算评价了中国气候舒适期和冷/热不舒适期的时间长短、空间格局及其历时变化，开发了 1981–2010 年间城市尺度的气候舒适期/不舒适期的空间分布数据集<sup>[13]</sup>。

## 2 数据集元数据简介

《改进的气候舒适度模型计算中国大陆气候舒适与不舒适期数据集（1981–2010）》<sup>[14]</sup> 的名称、短名称、作者信息、地理区域、数据年代、数据空间分辨率、数据集组成、出版与共享服务平台、数据共享政策等信息见表 1。

表 1 《改进的气候舒适度模型计算中国大陆气候舒适与不舒适期数据集（1981–2010）》元数据简表

条 目	描 述
数据集名称	改进的气候舒适度模型计算中国大陆气候舒适与不舒适期数据集（1981–2010）
数据集短名	CCP and CUCP_China's urban scale_1981-2010
作者信息	蔚丹丹 AAA-3856-2020, 华东师范大学地理科学学院地理信息科学教育部重点实验室, Yudd0713@outlook.com 李山 M-6399-2017, 华东师范大学地理科学学院地理信息科学教育部重点实验室/崇明生态研究院, sli@geo.ecnu.edu.cn
地理区域	中国大陆（港澳台无数据）
数据年代	1981–2010
空间分辨率	1 km
数据格式	.xlsx 数据量 152 KB
数据集组成	一个数据文件，包括 4 个工作表
基金项目	中华人民共和国科学技术部（2012CB955803）
出版与共享服务平台	全球变化科学研究数据出版系统 <a href="http://www.geodoi.ac.cn">http://www.geodoi.ac.cn</a>
地址	北京市朝阳区大屯路甲 11 号 100101，中国科学院地理科学与资源研究所
数据共享政策	全球变化科学研究数据出版系统的“数据”包括元数据（中英文）、通过《全球变化数据仓储电子杂志（中英文）》发表的实体数据和通过《全球变化数据学报（中英文）》发表的数据论文。其共享政策如下：（1）“数据”以最便利的方式通过互联网系统免费向全社会开放，用户免费浏览、免费下载；（2）最终用户使用“数据”需要按照引用格式在参考文献或适当的位置标注数据来源；（3）增值服务用户或以任何形式散发和传播（包括通过计算机服务器）“数据”的用户需要与《全球变化数据学报》（中英文）编辑部签署书面协议，获得许可；（4）摘取“数据”中的部分记录创作新数据的作者需要遵循 10% 引用原则，即从本数据集中摘取的数据记录少于新数据集总记录量的 10%，同时需要对摘取的数据记录标注数据来源 <sup>[15]</sup>
数据和论文检索系统	DOI, DCI, CSCD, WDS/ISC, GEOSS, China GEOSS, Crossref

### 3 数据研发方法

#### 3.1 数据源

本研究采用国家信息中心<sup>[16]</sup>提供的“中国地面气候资料日值数据集”,包含了中国 824 个基准和基本气象站 1951 年 1 月以来的气温、相对湿度、风速以及日照时数等气象要素的日值数据。基于数据的可得性和稳定性,选取了在 1981-2010 年这 30 年完整气候周期长度的时间范围内均存在的 814 个站点进行计算分析。

#### 3.2 数据集研发算法原理

以中国为例,采用包含“定级—定名—定点—定宽”等基本环节的“季节锚点法”这一体感分级思路对温湿指数<sup>[17]</sup>和风效指数<sup>[18]</sup>进行了改进与优化<sup>[13]</sup>。研究给出了“暑—热—暖—温—凉—冷—寒”这一针对中国区域的 7 级体感划分标准,并具体给出了温湿指数和风效指数在各体感等级上的阈值区间。在此标准下判定某地某日的舒适性状态归属,并通过某个时间段内天气舒适日数(/不舒适日数)的累加来计算其舒适期(/不舒适期)。

$$THI = t - 0.55(1 - 0.01RH)(t - 14.5) \quad (1)$$

$$WEI = -10\sqrt{v} + 10.45 - v33 - t + \frac{200 \cdot S}{D} \quad (2)$$

式(1)、(2)中,  $t$  为气温( $^{\circ}\text{C}$ ),  $v$  为风速( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ),  $RH$  为相对湿度(%),  $S$  为日照时数(h),  $D$  为昼长(h)。

### 4 数据结果与验证

#### 4.1 数据结果

数据结果包括:(1) 1981-2010 年中国分省区年均气候舒适期/不舒适期(Tab. 1); (2) 1981-2010 年中国地级市年均气候舒适期/不舒适期(Tab. 2); (3) 1981-2010 年中国年均气候舒适期/不舒适期的历年变化(Tab. 3); (4) 1981-2010 年中国 814 个基本基准气象站点年均气候舒适期/不舒适期的变化值(Tab. 4)。在计算中,通过 ArcGIS 对全国 814 个基本(基准)气象站点进行泰森多边形划分,并以泰森多边形面积为权重对相应气象站点的舒适期(/不舒适期)进行加权求和,从而得到全国的舒适期(/不舒适期)状况。

#### 4.2 数据结果分析

在气候舒适度评价的实践中,基于 THI 开展“暑—热—暖—温—凉—冷—寒”等 7 级体感划分,WEI 开展“暑—热—舒适—冷—寒”等 5 级划分标准。本研究合并“暖—温”等级,将 THI 中 $[17.5, 23.5]$   $^{\circ}\text{C}$ 和 WEI 中 $[-240, -80]$   $\text{kcal}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ 的阈值区间分别定义为 THI 和 WEI 的“舒适”;将“暑”(THI  $\geq 27$   $^{\circ}\text{C}$ , WEI  $\geq 20$   $\text{kcal}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ )定义为“热不舒适”,将“寒”(THI  $< 7$   $^{\circ}\text{C}$ , WEI  $< -540$   $\text{kcal}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ )定义为“冷不舒适”。计算后得到全国的舒适期、冷/热不舒适期状况(表 2)。

在 THI 和 WEI 两种指标下,全国评价结果具有较好的一致性。就舒适期而言,南方长,北方短。其中云南省是全国舒适期最长的省份,为“昆明天天是春天”提供了坚实基础。毗

邻的西藏自治区却成为舒适期最短的地区（图1）。海南省、广东省和广西省成为热不舒适期的高值中心。高海拔地区如青海省和西藏自治区成为冷不舒适期的极值中心。同时对1981-2010年全国年平均舒适期和不舒适期历年变化进行分析，在THI和WEI两种标尺下结果具有较高的一致性。其中舒适期增幅较大，而冷不舒适期下降态势明显，但总体上中国大陆仍是不舒适期远长于舒适期、冷不舒适期远长于热不舒适期。

表2 中国年均气候舒适期与冷/热不舒适期统计表（1981-2010年）（天）

气候舒适性状态	全年		春（3-5月）		夏（6-8月）		秋（9-11月）		冬（12-2月）	
	THI	WEI	THI	WEI	THI	WEI	THI	WEI	THI	WEI
舒适期（暖与温）	73.2	67.8	16.0	16.3	41.2	31.3	14.8	17.9	1.2	2.4
热不舒适期（暑）	5.6	13.4	0.2	0.8	5.1	11.4	0.3	1.2	0	0
冷不舒适期（寒）	125.6	122.7	24.4	30.0	1.2	3.1	28.2	24.2	71.9	65.4

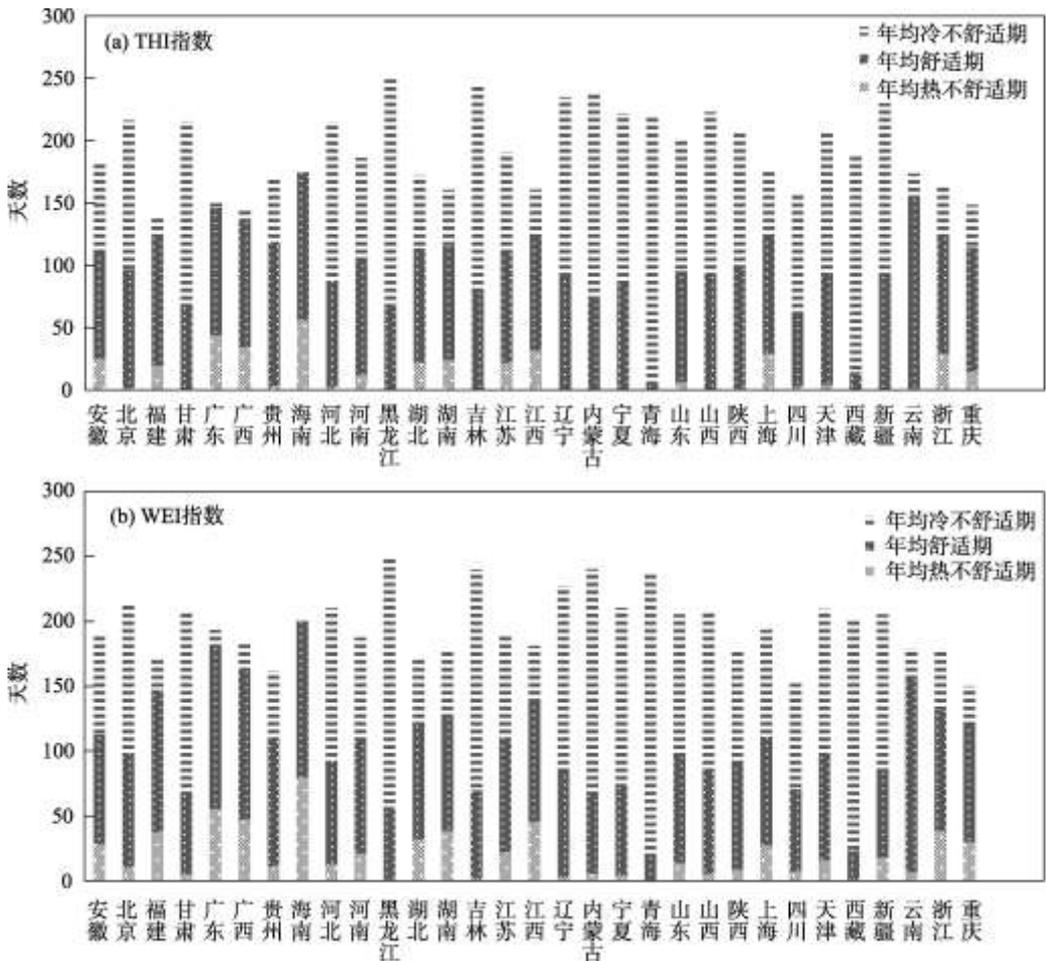


图1 中国分省区年均气候舒适期及不舒适期图（1981-2010年）

中国作为全球气候变化的敏感区之一, 舒适期和不舒适期均对气候变暖有着不同程度的响应。本数据集对 1981–2010 年 814 个气象站点进行了两阶段差值计算 (Tab. 4), 后 15 年 (1996–2010 年) 相对前 15 年 (1981–1995 年) 而言, 其中, 年均舒适期增加的站点个数为 671 个 (82.4%), 热不舒适期增加的站点个数为 343 个 (42.1%), 而冷不舒适期增加站点仅 46 个 (5.7%)。

### 4.3 数据结果验证

根据中国 31 个省会城市 69 个基本 (基准) 气象站点 1981–2010 年间的逐日气象数据, 得到测试样本的 THI 和 WEI 的体感分级归属, 并将其与气温分级归属进行了交集验证。基于 ArcGIS 平台, 应用普通克里金法, 选择 1 km×1 km 的栅格点尺度, 通过 ArcGIS 进行空间化插值, 分别得到 THI 和 WEI 两种标尺下的全国舒适期 (/不舒适期) 状况, 具有较强的一致性。对 1981–2010 年全国年平均舒适期和不舒适期历年变化进行计算, 结果表明 THI 和 WEI 两种标尺下的波动起伏情况同样具有较好的一致性。

## 5 讨论与总结

本数据集基于“季节锚点法”这一新的体感分级思路和中国大陆 1981–2010 年间 814 个基本 (基准) 气象站点的日值气象数据, 以温湿指数和风效指数为例计算评价了中国气候舒适期和不舒适期的时间长度、空间格局及其历时变化, 得到一些有益发现。从全国格局来讲, 不舒适期长于舒适期, 冷不舒适期远长于热不舒适期。其中全国年均舒适期整体上呈现为“南方长、北方短、青藏缺”的空间格局, 年均热不舒适期整体上呈现为“东南长、西北短”的空间格局, 年均整体上呈现为“西北长、东南短”的空间格局。其中就舒适期而言, 共计有 25 个省市的年均舒适期超过全国平均水平 (73.2 天), 其中云南全年舒适期长达 151.9 天, 比排名第 2 的海南省多出约 32 天, 在全国遥遥领先位列全国最后两名的西藏、青海, 年均气候舒适期分别为 14.7、7.3 天, 人居气候环境难言舒适。从历时变化看, 热不舒适期基本保持稳定, 冷不舒适期波动下降而舒适期则波动上升。

本数据集更多地着眼于针对中国区域的整体状况如中国气候舒适期和不舒适期的时间长短、空间格局及其历时变化等方面的刻画, 将“舒适期”测度拓展到“不舒适期”测度, 丰富气候舒适期的实践应用领域。未来的研究可以进一步就细分人群、测试模型和区域差异等方面的体感分级标准开展更多深入探索, 从而丰富气候舒适期的关联研究。

**作者分工:** 李山负责对数据集进行整体设计, 包括但不限于模型选取和算法处理。蔚丹丹负责数据筛选和预处理, 对手稿写作亦有贡献。

### 参考文献

- [1] ANSI/ASHRAE Standard 55-2010. Thermal environmental conditions for human occupancy [S]. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2010: 2–4.
- [2] Shindell, D., Kuylenstierna, J. C. I., Vignati, E., *et al.* Simultaneously mitigating near-term climate change

- and improving human health and food security [J]. *Science*, 2012, 335(6065): 183–189.
- [3] de Freitas, C. R., Grigorieva, E. A. A comprehensive catalogue and classification of human thermal climate indices [J]. *International Journal of Biometeorology*, 2015, 59(1): 109–120.
- [4] Middel, A., Häb, K., Brazeal A. J., *et al.* Impact of urban form and design on mid-afternoon microclimate in Phoenix Local Climate Zones [J]. *Landscape & Urban Planning*, 2014, 122(2): 16–28.
- [5] Chandel, S. S., Sharma, V., Marwah, B. M. Review of energy efficient features in vernacular architecture for improving indoor thermal comfort conditions [J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016, 65: 459–477.
- [6] Rupp, R. F., Vázquez, N. G., Lamberts, R. A review of human thermal comfort in the built environment [J]. *Energy & Buildings*, 2015, 105: 178–205.
- [7] Djukic, A., Vukmirovic, M., Stankovic, S. Principles of climate sensitive urban design analysis in identification of suitable urban design proposals. Case study: Central zone of Leskovac competition [J]. *Energy & Buildings*, 2016, 115: 23–35.
- [8] Parsons, K. Human Thermal Environments: The Effects of Hot, Moderate, and Cold Environments on Human Health, Comfort, and Performance [M]. New York: CRC Press, 2014.
- [9] Song, C., Liu, Y., Zhou, X., *et al.* Temperature field of bed climate and thermal comfort assessment based on local thermal sensations [J]. *Building and Environment*, 2016, 95: 381–390.
- [10] Ridderstaat, J., Oduber, M., Croes, R., *et al.* Impacts of seasonal patterns of climate on recurrent fluctuations in tourism demand: evidence from Aruba [J]. *Tourism Management*, 2014, 41(2): 245–256.
- [11] Nalau, J., Becken, S., Noakes, S., *et al.* Mapping tourism stakeholders' weather and climate information seeking behavior in Fiji [J]. *Weather Climate & Society*, 2017, 9(3): 377–391.
- [12] 余志康, 孙根年, 罗正文等. 40°N 以北城市夏季气候舒适度及消夏旅游潜力分析[J]. 自然资源学报, 2015, 30(2): 327–339.
- [13] 蔚丹丹, 李山. 气候舒适度的体感分级: 季节锚点法与中国案例[J]. 自然资源学报, 2019, 34(8): 1633–1653.
- [14] 蔚丹丹, 李山. 改进的气候舒适度模型计算中国大陆气候舒适与不舒适期数据集 (1981–2010) [J/DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志, 2020. DOI: 10.3974/geodb.2020.01.02.V1.
- [15] 全球变化科学研究数据出版系统. 全球变化科学研究数据共享政策[OL]. DOI: 10.3974/dp.policy.2014.05 (2017年更新).
- [16] 国家气象数据科学中心. 中国地面气候资料日值数据集[DB/OL]. <http://data.cma.cn/data/detail/dataCode/A.0029.0001.html>.
- [17] Thom, E. C. A new concept of cooling degree days [J]. *Air Condition: Heat & Ventilation*. 1957, 54(6): 73–80.
- [18] Terjung, W. H. Physiologic climates of the conterminous United States: a bioclimatic classification based on man [J]. *Annals of the Association of American Geographers*, 1966, 56(1): 141–179.