

中国大陆 1961–2010 年间气候舒适期数据集

张伟佳^{1,2}, 李 山^{2,3,4*}, 谭 蕾^{2,5}, 孙美淑^{2,3}

1. 华东师范大学人口研究所, 上海 200241; 2. 华东师范大学地理信息科学教育部重点实验室, 上海 200241;
3. 华东师范大学地理科学学院, 上海 200241; 4. 崇明生态研究院, 上海 200062;
5. 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008

摘 要: 气候舒适期作为气候与人生活舒适程度评价的一种时间标尺, 对人们生活、人体健康、外出旅游、居民建筑等都有很大关系。基于中国气象数据网发布的 1961–2010 年的 775 个气象站点的气温、风速、相对湿度和日照时数等日值气象资料, 利用温湿指数 (Temperature Humidity Index, THI) 和风效指数 (Wind Effect Index, WEI) 的组合模型并对其“舒适”分级标准做了改进, 将天气舒适日数进行累加, 得到中国大陆 1961–2010 年间气候舒适期数据集。数据集包括: (1) 中国分省市年均气候舒适期 (1961–2010 年); (2) 中国 341 个地级市年均气候舒适期 (1961–2010 年); (3) 中国大陆 775 个气象站点 1961–2010 年均气候舒适期及其变化 (1961–1985 年到 1986–2010 年气候舒适期的变化值)。该数据集存储格式为.xlsx, 数据量为 87.5 KB。

关键词: 气候舒适度; 人体舒适度; 天气舒适日数; 风效指数; 温湿指数; 旅游气候学

DOI: 10.3974/geodp.2018.01.07

1 前言

气候舒适度是为了从气象学角度评价不同天气/气候条件下人体的舒适状态, 根据人类机体与大气环境之间的热交换而制定的生物气象指标, 它反映了人体对热环境满意程度的意识状态^[1], 是人类活动和人居环境的重要影响因子^[2–4]。气候舒适度差异直接导致区域气候舒适期长短及其季节性变化, 这对建筑设计^[5–6]和人体健康^[7–8]产生着重要影响, 特别是对季节性旅游流的形成^[9–10]和度假旅游地的发展^[11–12]更是具有决定性作用。近一个世纪以来, 全球变暖已经成为一个不争的科学共识^[13–16], 并形成了差异性的区域气候响应^[13,17], 这在客观上造成气候舒适度及气候舒适期在不同地区有着不同变化。中国国土辽阔、经纬跨度大且下垫面条件多样, 气候变化的区域差异更为突出, 对不同地区、不同领域所带来的影响程度不一、优劣各异^[18–19]。本数据集从气候舒适期的角度出发, 通过分析其空间分布及演变规律, 能够为全球气候变化的区域响应提供一种有关人-地关系的基础认识, 进而为人居环境建设和人类活动适应提供必要的科学依据。

收稿日期: 2017-12-20; 修订日期: 2018-03-21; 出版日期: 2018-03-25

基金项目: 中华人民共和国科学技术部 (2012CB955803); 国家社会科学基金 (12AJY008)

*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] 张伟佳, 李山, 谭蕾等. 中国大陆 1961–2010 年间气候舒适期数据集[J]. 全球变化数据学报, 2018, 2(1): 35–41. DOI: 10.3974/geodp.2018.01.07.

[2] 李山, 孙美淑, 张伟佳等. 中国大陆 1961–2010 年间气候舒适期数据集[DB/OL]. 全球变化科学研究数据出版系统, 2017. DOI: 10.3974/geodb.2017.03.03.V1.

2 数据集元数据简介

中国大陆 1961–2010 年间气候舒适期数据集^[20]的名称、作者、地理区域、数据年代、空间分辨率、数据集组成、数据出版与共享服务平台、数据共享政策等信息见表 1。

表 1 中国大陆 1961–2010 年间气候舒适期数据集元数据简表

条 目	描 述
数据集名称	中国大陆 1961–2010 年间气候舒适期数据集
数据集短名	ClimateComfortablePeriod_China_1961-2010
作者信息	李山 M-6399-2017, 华东师范大学地理科学学院, sli@geo.ecnu.edu.cn 孙美淑 F-2032-2018, 华东师范大学地理科学学院, meishu00706@163.com 张伟佳 M-7497-2017, 华东师范大学人口研究所, wjzhang2017@hotmail.com 谭蕾 E-9388-2018, 中国科学院南京地理与湖泊研究所, ltan@niglas.ac.cn
地理区域	中国大陆地区
数据年代	1961–2010 年
空间分辨率	1 km×1 km
数据格式	.xlsx
数据量	87.5 KB
数据集组成	由一个表格文件组成, 三个工作表, 分别是: (1) 中国分省市年均气候舒适期 (1961–2010 年) (2) 中国 341 个地级市年均气候舒适期 (1961–2010 年) (3) 中国大陆 775 个气象站点 1961–2010 年均气候舒适期及其变化 (1961–1985 年到 1986–2010 年气候舒适期的变化值)
基金项目	中华人民共和国科学技术部 (2012CB955803); 国家社会科学基金 (12AJY008)
出版与共享服务平台	全球变化科学研究数据出版系统 http://www.geodoi.ac.cn
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)、实体数据 (中英文) 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 ^[21]

3 数据研发方法

3.1 数据源

本研究的气温、风速、相对湿度和日照时数等日值气象资料来源于中国气象数据网 (<http://cdc.nmic.cn/>) 提供的 1951–2010 年 824 个气象基本 (基准) 站点的地面气候资料日值数据集, 剔除掉一个季节性的观测站点和一个没有日照时数观测记录的站点, 为保障站点数据的连续性和完整性, 在这 822 个站点中选取 1961 年及以前就已存在的 775 个站点, 以 1961–2010 年为时间范围进行计算分析。

3.2 数据集研发算法原理

本研究中的气候舒适期是指某段时间内天气舒适日数的累加，而某天是否舒适则需通过气候舒适度评价模型/指数的计算并参照相应分级标准进行界定采用温湿指数（Temperature Humidity Index，THI）^[22]和风效指数（Wind Effect Index，WEI）^[23]的组合模型评价策略，并对其舒适阈值进行优化。

$$THI=t-0.55(1-0.01RH)(t-14.5) \tag{1}$$

$$WEI=-(10\sqrt{v}+10.45-v)(33-t)+(200S)/D \tag{2}$$

式中， THI 为温湿指数（℃）； WEI 为风效指数（kcal/(m² h)） t 为气温（℃）； RH 为相对湿度（%）； v 为风速（m/s）； S 为日照时数（h）； D 为昼长（h）。

根据中国大陆 775 个气象站点 1961–2010 年间的逐日气象数据计算（表 2），优化后的组合舒适“交集”日数在 WEI 单一模型舒适日数中的比重为 70.2%，而在 THI 单一模型舒适日数中的比重为 76.5%，说明在“舒适”等级的界定上两个指数具有较好的一致性。

表 2 气候舒适期计算的温湿指数-风效指数组合模型策略

气候舒适度模型	舒适阈值	舒适样本数（个）		舒适交集占比
		组合模型（交集）	单一模型	
温湿指数（THI，℃）	[16.0，24.0）	3,321,690	4,342,437	76.5%
风效指数（WEI，kcal/(m ² h)）	[-300，-50）		4,731,446	70.2%

注：样本数根据中国大陆 775 个基本（基准）气象站点 1961–2010 年间逐日气象观测数据计算。

同时利用 ArcGIS 划分各气象站点的泰森多边形，分别在全国和省份两种地理尺度下，根据泰森多边形面积大小赋予各气象站点相应权重，从而求得更加稳定合理的全国及分省的气候舒适期面积加权平均值。

3.3 数据分析

本文采用气象气候学中常用的线性倾向估计方法对气候舒适期随时间的变化趋势进行分析^[24]，即对各站点 1961–2010 年共 50 年来年际间（全年）和分季节（四季）的气候舒适期进行 10 年滑动平均，每个站点计算得到 41 个相应的滑动均值（滑动数据无缺失的站点，年度和秋、冬两季均为 773 个，春、夏两季均为 774 个），从而建立舒适期滑动均值与相应时间序列的一元线性回归方程：

$$x_i = at_i + b \quad (i=1,2,\cdots,41) \tag{3}$$

式中， x_i 为某一气象站点在第 i 时段的气候舒适期滑动均值（单位：天）； t_i 表示 x_i 所对应的时间序列； a 为线性倾向率（线性倾向系数），通常取 $a \times 10$ （单位：天/10 年）来开展相应分析。系数 a 可以用最小二乘法进行估计，其正负表示增加或减少趋势，其值的大小反映增加或减少的速率，回归系数 a 的显著性用相关系数 r 来进行检验^[24]。此外，本文还计算了气候舒适期的两阶段差值（即 1986–2010 年平均值减去 1961–1985 年平均值），与线性倾向估计法的计算结果进行交互验证分析。

4 数据结果与验证

4.1 数据结果

数据结果包括：（1）中国大陆各省市 1961-2010 年年均及四季气候舒适期数据（ClimateComfortablePeriod_China_1961-2010_Tab.1）；（2）中国 341 个地级市 1961-2010 年均气候舒适期（ClimateComfortablePeriod_China_1961-2010_Tab.2）；（3）775 个气象站点 1961-2010 年均气候舒适期及其变化（1961-1985 年到 1986-2010 年气候舒适期的变化值）（ClimateComfortablePeriod_China_1961-2010_Tab.3）。对中国大陆 31 个省市分别进行气象站点的泰森多边形划分，采用面积加权模式统计出各省市的平均气候舒适期列于表 3。

表 3 中国大陆各省市全年和四季的气候舒适期及排名（1961-2010 年）

省市	全年		春季		夏季		秋季		冬季	
	舒适期 (天)	排名	舒适期 (天)	排名	舒适期 (天)	排名	舒适期 (天)	排名	舒适期 (天)	排名
云南	159.0	1	44.2	1	65.4	1	41.8	1	7.6	4
贵州	118.9	2	34.5	7	48.9	9	33.7	11	1.8	7
海南	118.1	3	28.5	13	1.2	31	32.6	14	55.9	1
福建	106.5	4	42.5	3	15.6	25	41.3	2	7.1	5
广东	105.2	5	42.6	2	2.9	30	36.6	7	23.0	2
广西	104.1	6	40.2	4	8.2	28	40.0	3	15.8	3
重庆	103.8	7	38.4	5	26.2	18	39.0	4	0.2	10
陕西	93.1	8	21.9	21	53.1	7	18.0	22	0.0	15
北京	93.0	9	25.6	16	44.1	11	23.2	18	0.0	15
辽宁	92.0	10	14.3	25	59.4	3	18.4	21	0.0	15
山西	90.5	11	18.9	23	58.0	5	13.5	24	0.0	15
浙江	90.4	12	33.6	8	17.3	24	38.6	5	0.9	9
湖北	88.9	13	32.2	10	23.3	21	33.2	12	0.1	12
江西	88.0	14	35.2	6	14.8	26	35.6	8	2.3	6
湖南	87.9	15	32.5	9	19.2	23	35.0	9	1.1	8
天津	87.2	16	26.2	14	32.7	15	28.3	17	0.0	15
山东	87.0	17	23.7	18	34.0	14	29.3	16	0.0	15
河南	87.0	18	29.8	11	27.2	17	30.0	15	0.0	15
江苏	86.6	19	25.7	15	26.2	19	34.6	10	0.0	15
上海	86.5	20	24.2	17	23.7	20	38.4	6	0.2	10
河北	85.1	21	22.1	20	42.7	12	20.2	19	0.0	15
安徽	82.9	22	29.1	12	20.5	22	33.1	13	0.1	12
宁夏	81.2	23	14.6	24	56.7	6	9.8	25	0.0	15
吉林	80.3	24	8.6	28	62.8	2	8.9	26	0.0	15
新疆	79.2	25	22.5	19	40.1	13	16.6	23	0.0	15
甘肃	70.5	26	13.0	26	48.6	10	8.9	27	0.0	15
内蒙古	69.9	27	9.8	27	52.8	8	7.3	28	0.0	15
黑龙江	68.9	28	5.4	29	58.3	4	5.2	29	0.0	15
四川	68.6	29	19.3	22	29.9	16	19.2	20	0.1	12
青海	12.6	30	0.3	30	11.9	27	0.4	30	0.0	15
西藏	8.2	31	0.3	31	7.5	29	0.4	31	0.0	15

4.2 数据结果分析

采用组合模型策略，根据温湿指数（式 1）和风效指数（式 2）及相应舒适阈值标准（表 2），计算了两种不同加权模式下中国大陆多年的平均气候舒适期（表 4）。

表 4 中国大陆的年平均气候舒适期（1961–2010 年）

加权模式	气候舒适期（天）				
	年	春	夏	秋	冬
面积加权平均	71.3	18.0	35.2	16.5	1.6
站点简单平均	86.0	23.4	36.3	23.2	3.1

结合图 1 与表 3 分析可得，共计有 25 个省市的年均舒适期超过全国平均水平（71.3 天），其中云南全年舒适期长达 159 天，比排名第 2 的贵州多出约 40 天，在全国遥遥领先，同时也占据了春、夏、秋三季的舒适期头名；贵州年均舒适期排名全国第 2，但其分季节舒适期均在前 6 名以外，季节性优势不明显；海南的年均舒适期排名全国第 3，尤其在冬季，舒适期长达 55.9 天。位列全国最后两名的西藏、青海，年均气候舒适期分别为 8.2 天、12.6 天，人居气候环境难言舒适。

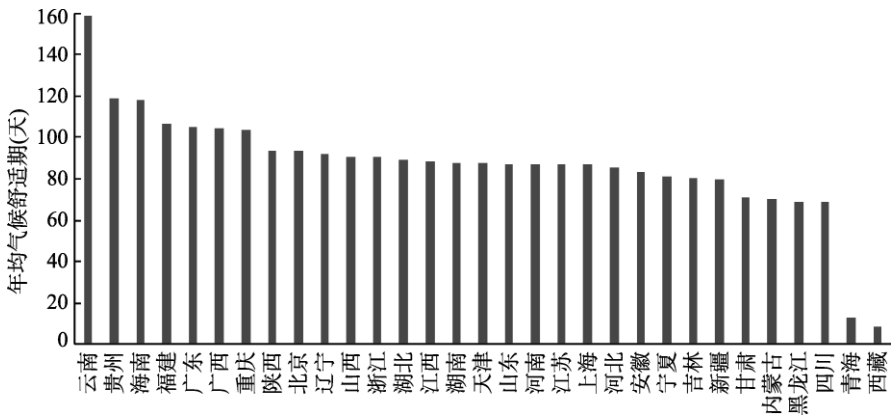


图 1 中国大陆各省市年均气候舒适期（1961–2010 年）

4.3 数据结果验证

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，根据中国大陆 775 个基本（基准）气象站点气候舒适期变化的计算结果，进行空间化插值，暖色调（偏红色）表明其舒适期增加，冷色调（偏蓝色）表明其舒适期减少，线性倾向率分布图（图 2a）和两阶段差值分布图（图 2b）能形成交互验证。两种方法都给出了类似的结果，即全国大部分地区的气候舒适期在 1961–2010 年间呈现为增加态势。

5 讨论和总结

本数据集更多地着眼于气候舒适期的特征刻画，旨在为全球气候变化的区域响应提供一种有关人-地关系的基础认识。基于气候舒适期的这种基础认识，后续研究可以进一步探索其对人口分布、产业扩散、旅游发展等的可能影响，从而丰富气候舒适期的关联研究。

此外，还可进一步将“舒适期”测度拓展到“不舒适期”测度，并将两者结合，开展它们的“人文影响”研究，丰富其实践应用领域。

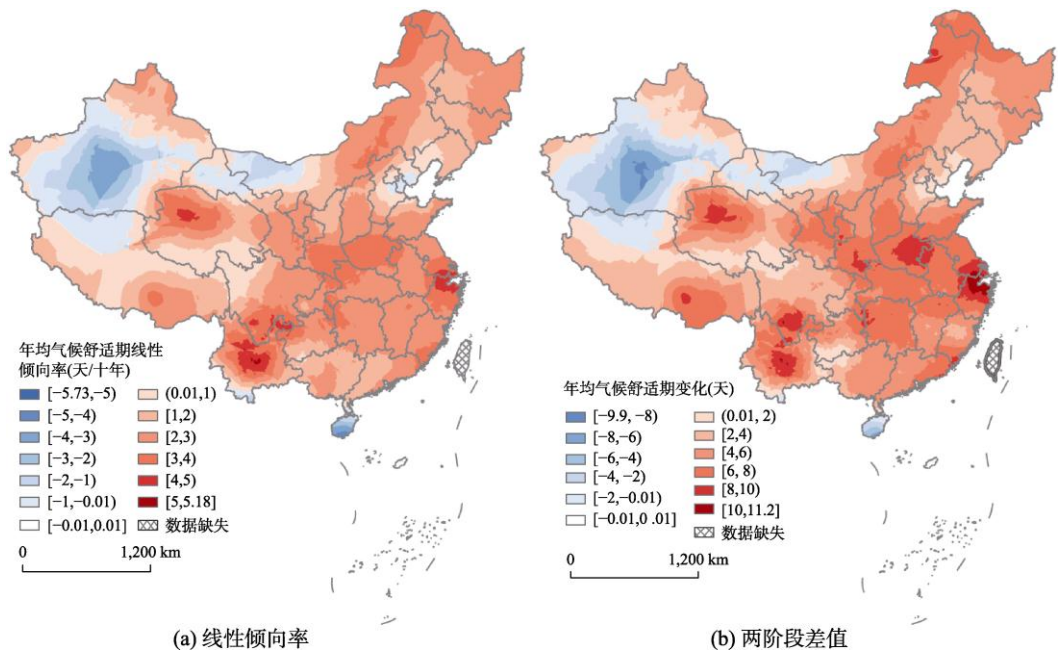


图 2 中国大陆年均气候舒适期历史变化的空间格局（1961-2010 年）^[25]

作者分工：李山对数据集的开发做了总体设计，包括模型和算法的设定；张伟佳对数据进行处理并撰写了数据论文；谭蕾负责采集原始数据；孙美淑负责原始数据的筛选和预处理。

参考文献

[1] ANSI/ASHRAE Standard 55-2010. Thermal environmental conditions for human occupancy [S]. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., 2010.

[2] Büntgen, U., Tegel, W., Nicolussi, K., *et al.* 2500 years of European climate variability and human susceptibility [J]. *Science*, 2011, 331(6017): 578-582.

[3] 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.

[4] Serrao-Neumann, S., Schuch, G., Harman, B., *et al.* One human settlement: a transdisciplinary approach to climate change adaptation research [J]. *Futures*, 2014, 65: 97-109.

[5] Feriadi, H., Wong, N. H. Thermal comfort for naturally ventilated houses in Indonesia [J]. *Energy and Buildings*, 2004, 36(7): 614-626.

[6] Tahbaz, M. Psychrometric chart as a basis for outdoor thermal analysis [J]. *International Journal of Architectural Engineering & Urban Planning*, 2011, 21(2): 95-109.

[7] Laschewski, G., Jendritzky, G. Effects of the thermal environment on human health: an investigation of 30 years of daily mortality data from SW Germany [J]. *Climate Research*, 2002, 21(1): 91-103.

[8] 叶殿秀, 尹继福, 陈正洪等. 1961-2010 年我国夏季高温热浪的时空变化特征[J]. 气候变化研究进展,

- 2013, 9(1): 15–20.
- [9] Scott, D., McBoyle, G., Schwartzentruber, M. Climate change and the distribution of climatic resources for tourism in North America [J]. *Climate Research*, 2004, 27(10): 105–117.
- [10] Amelung, B., Nicholls, S., Viner, D. Implications of global climate change for tourism flows and seasonality [J]. *Journal of Travel Research*, 2007, 45(2): 285–296.
- [11] de Freitas, C. R., Scott, D., McBoyle, G. A second generation climate index for tourism (CIT): specification and verification [J]. *International Journal of Biometeorology*, 2008, 52(5): 399–407.
- [12] 吴普, 席建超, 葛全胜. 中国旅游气候学研究综述[J]. 地理科学进展, 2010, 29(2): 131–137.
- [13] IPCC. Climate Change 2013: The Physical Science Basis [M]. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge & New York: Cambridge University Press, 2013, TS5–TS76.
- [14] Solomon, S., Daniel, J. S., Neely, R. R., *et al.* The persistently variable “background” stratospheric aerosol layer and global climate change [J]. *Science*, 2011, 333(6044): 866–870.
- [15] Poloczanska, E. S., Brown, C. J., Sydeman, W. J., *et al.* Global imprint of climate change on marine life [J]. *Nature Climate Change*, 2013, 3(10): 919–925.
- [16] 秦大河, Stocker, T. IPCC 第五次评估报告第一工作组报告的亮点总结[J]. 气候变化研究进展, 2014, 10(1): 1–6.
- [17] Piao, S. L., Ciais, P., Huang, Y., *et al.* The impacts of climate change on water resources and agriculture in China [J]. *Nature*, 2010, 467(9): 43–51.
- [18] 陈宜瑜, 丁永建, 余之祥等. 中国气候与环境演变评估(Ⅱ): 气候与环境变化的影响与适应、减缓对策[J]. 气候变化研究进展, 2005, 1(2): 51–57.
- [19] 秦大河. 气候变化科学与人类可持续发展[J]. 地理科学进展, 2014, 33(7): 874–883.
- [20] 李山, 孙美淑, 张伟佳等. 中国大陆 1961–2010 年间气候舒适期数据集[DB/OL]. 全球变化科学研究数据出版系统, 2017. DOI: 10.3974/geodb.2017.03.03.V1.
- [21] 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).
- [22] Thom, E. C. The discomfort index [J]. *Weatherwise*, 1959, 12(2): 57–61.
- [23] 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.
- [24] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术(第二版)[M]. 北京: 气象出版社, 2007: 37–41.
- [25] 李山, 孙美淑, 张伟佳等. 中国大陆 1961–2010 年间气候舒适期的空间格局及其演变[J]. 地理研究, 2016, 35(11): 2053–2070.