

文章编号: 1674-7054(2022)04-0410-06



## 海南气候康养指数的构建及评估

张京红<sup>1,2</sup>, 张明洁<sup>1,2</sup>, 张亚杰<sup>1,2</sup>, 杨静<sup>1,2</sup>

(1. 海南省气候中心, 海口 570203; 2. 海南省南海气象防灾减灾重点实验室, 海口 570203)

**摘要:** 为全面定量评估海南省的康养气候条件并明确其在全国的地位, 从气候环境康养角度出发, 综合考虑气候条件、空气质量、生态环境等与气候康养密切相关的自然资源, 采用加权指数求和的方法构建气候康养指数, 并统计分析了2016—2019年海南省18个市县(三沙市除外)及长春、北京、杭州、西双版纳等国内23个城市, 共41个城市的逐月和四季气候康养指数。研究表明: (1) 海南省18个市县1—12月的气候康养指数均排在全国41个城市的前列, 尤其是11月到翌年4月, 康养气候条件优势明显; (2) 春、夏、秋3季: 气候康养条件以中部地区的五指山、白沙和琼中最优; 冬季: 除五指山、白沙外, 南部的保亭和三亚康养气候条件最优; (3) 总体而言, 中部地区的五指山、白沙、琼中康养气候条件最优。

**关键词:** 气候; 康养; 评估; 对比分析

**中图分类号:** P 49      **文献标志码:** A

**引用格式:** 张京红, 张明洁, 张亚杰, 等. 海南气候康养指数的构建及评估 [J]. 热带生物学报, 2022, 13(4): 410-415. DOI: [10.15886/j.cnki.rds wxb.2022.04.013](https://doi.org/10.15886/j.cnki.rds wxb.2022.04.013)

诸多生理疾病和心理疾病的发生都与气候条件密切相关。优越的气候环境, 可以加快病症康复、疗养身心, 还能通过积极刺激性气候训练, 增强自身机能韧性, 提高人体免疫力<sup>[1-2]</sup>。气候康养是指以特定的气候条件为依托, 使人体从有害的气候环境中转移到有益的气候环境, 接受新的气候刺激, 并配套相关产品和服务, 从而使机体功能向好的方向转化, 提高对疾病的抵抗力, 达到治疗的目的<sup>[3]</sup>。中国的气候康养服务起步较晚, 1985年王衍文等<sup>[4]</sup>首次研究了影响心肌梗塞的气象因子, 并根据逐日天气形势图来进行预报, 随后许多机构开展了气象因子对疾病的影响研究, 发现与人体健康密切相关的气候要素主要包括气温、相对湿度、气压、日照及负氧离子等<sup>[5]</sup>, 如气温对体温调节、关节性疾病等有重要影响, 适宜人体康养的气温在18~26℃<sup>[6]</sup>; 相对湿度在气温异常时对人体热平衡和温热感有较大的影响, 适宜康养的相

对湿度在55%~75%之间<sup>[7]</sup>; 气压的变化会引起人体内肺泡氧分压及动脉血氧饱和度的变化, 适度的低氧环境可改善呼吸机能, 辅助治疗高血压、糖尿病、心脏病等慢性病<sup>[8-10]</sup>; 阳光辐射能够起到促进生长和杀菌消毒的作用<sup>[11-12]</sup>; 负氧离子能够改善呼吸功能、心脏功能, 增大肺活量, 被称作“长寿素”和“空气维生素”<sup>[13]</sup>。由此可见, 适宜的气候环境能够调节和改善人体健康状况。卢山等<sup>[14]</sup>基于“黄金分割法”的人体舒适度指数, 在云南省丽江市、贵州省习水市和锦屏县3个旅游城市构建了体感温度计算公式并进行等级划分, 探究其气候康养效应。徐静等<sup>[15]</sup>通过调整计算气候舒适度指数, 分析秦皇岛地区的气候舒适度变化趋势, 为到秦皇岛康养的群体提供生活和出游气象服务指导。朱保美等<sup>[16]</sup>采用温湿指数、风效指数、穿衣指数和综合舒适度指数对比分析了青岛和济南的气候舒适度差异。孔钦钦等<sup>[17]</sup>采用通用热气候指

收稿日期: 2021-09-23

修回日期: 2022-03-25

基金项目: 海南省科技专项(ZDYF2022SHFZ036); 海南省自然科学基金项目(420QN370); 海南省气象局业务技术提升项目(HNQXJS202004、HNQXJS202002)

第一作者: 张京红(1968-), 女, 研究员. 研究方向: 应用气象、气候资源评估等. E-mail: [janezhjh@163.com](mailto:janezhjh@163.com)

通信作者: 张明洁(1987-), 女, 高级工程师. 研究方向: 应用气象、气候资源评估等. E-mail: [zmj\\_0203@163.com](mailto:zmj_0203@163.com)

数 (UTCI) 对我国气候舒适度时空变化进行了分析。综上所述, 以往的研究大多单纯地分析气候条件对人体健康, 而气象要素之外的气候康养影响要素研究相对不足。

海南具有独特的气候、生态、清洁空气等资源优势, 这些优势资源的气候康养作用如何, 如何综合评估各市县气候康养条件, 哪个月份、哪些市县的康养气候条件最佳, 其在全国的地位和优势如何, 是亟需分析的科学问题。本研究在考虑气候条件、空气质量、生态环境等与气候康养密切相关的自然环境资源条件的基础上, 构建气候康养指数, 开展海南省康养气候条件评估及其与国内主要城市康养气候条件的对比分析研究, 得出海南最佳康养地和康养旅居时间, 为来海南进行气候康养的人群提供参考。

## 1 数据与方法

**1.1 数据来源** 海南省 2016—2019 年 18 个国家气象站和北京、太原、长春、哈尔滨、上海、杭州、黄山、福州、青岛、郑州、长沙、广州、深圳、珠海、南宁、北海、重庆、攀枝花、贵阳、昆明、西双版纳、西安、兰州等国内 23 个主要城市国家气象站逐日气象观测数据, 包括平均气温、最低气温、平均风速、相对湿度等要素, 来自海南省气象局和国家气象科学数据中心; 海南省 18 个市县 2016—2019 年逐月环境空气质量综合指数, 来源于海南省环境监测中心站发布的海南省环境空气质量月报; 归一化植被指数 (NDVI) 来源于美国航空航天局 (NASA, <http://reverb.echo.nasa.gov>) 提供的 MOD13Q1 数据, 时间尺度为 2016 年 1 月至 2019 年 12 月, 时间分辨率为 16 d, 空间分辨率为 250 m。通过 Modis Reprojection Tools 软件对 MOD13Q1 数据进行投影和格式转换<sup>[18]</sup>, 然后采用最大合成法 (MVC) 得到月平均 NDVI 数据<sup>[19]</sup>。

## 1.2 研究方法

**1.2.1 气候康养指数的构建** 从气候环境康养角度出发, 综合考虑气候条件、空气质量、生态环境等方面的影响, 选取人体舒适度指数、环境空气质量综合指数、归一化植被指数作为评价指标, 采用加权指数求和的方法构建了气候康养指数 (CRI):

$$CRI = a \times HBI + b \times AQCI + c \times NDVI \quad (1)$$

式中, *HBI* 为人类生物学家提出的城市人体舒适度指数<sup>[20]</sup>, 该指数反映了人体对空气的温度、湿度、风等气象要素的感受, 提示人们根据气象因子来调节生理, 适应环境以及防范冷热突变。本研究利用该指数代表某地的气候条件。*AQCI* 为描述城市环境空气质量综合状况的环境空气质量综合指数, 无量纲, 其值随着污染程度的加重而增大<sup>[21]</sup>。本研究利用该指数评价某地环境空气质量。*NDVI* 为归一化植被指数, 是目前评估植被状况最有效的参数之一<sup>[22]</sup>, 能够反映出植物冠层的背景影响, 范围为 -1 ~ 1。可用 NDVI 判断植物生长状态, 值越大, 表明植物长势越好。植被的状况决定着生态环境的质量, 本研究利用 NDVI 代表某地生态环境质量。*a*、*b*、*c* 为各项指数的权重, 在咨询相关专家的基础上, 采用层次分析法获得, 各项指标权重均为 1/3。

**1.2.2 指标值的归一化处理** 为了消除各个指标量纲不统一给计算带来的不利影响, 在不同指标进行加权之前, 需对各指标进行归一化处理, 采用极差标准化处理方法。

对于正向指标:

$$X_i = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (2)$$

对于负向指标:

$$X_i = \frac{x_{\max} - x_i}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (3)$$

式中,  $X_i$  为无量纲化处理第 *i* 个指标的均一化值,  $x_{\max}$  和  $x_{\min}$  分别为该指标的最大值和最小值。经过上述处理后,  $X_i$  范围为 0 ~ 1。

## 2 结果与分析

### 2.1 全国 41 个城市康养气候条件对比

**2.1.1 月康养气候条件对比分析** 根据 1.2 中气候康养指数的研究方法, 计算 2016—2019 年逐月的 *HBI*、*AQCI*、*NDVI* 和 *CRI*, 得到海南省 (三沙除外) 18 个市县和长春、北京、杭州、福州、广州、西双版纳国内 23 个主要城市逐月的气候康养指数并进行了排名 (图 1)。从图 1 可见, 在 41 个城市的排名中, 海南省 18 个市县的气候康养指数排名在 12 个月中均处于前列。1—3 月和 12 月, 海南省 18 个市县均排在前 20 位, 说明 1 月和 12 月在绝佳的人体舒适度、空气质量和生态环境下, 海南

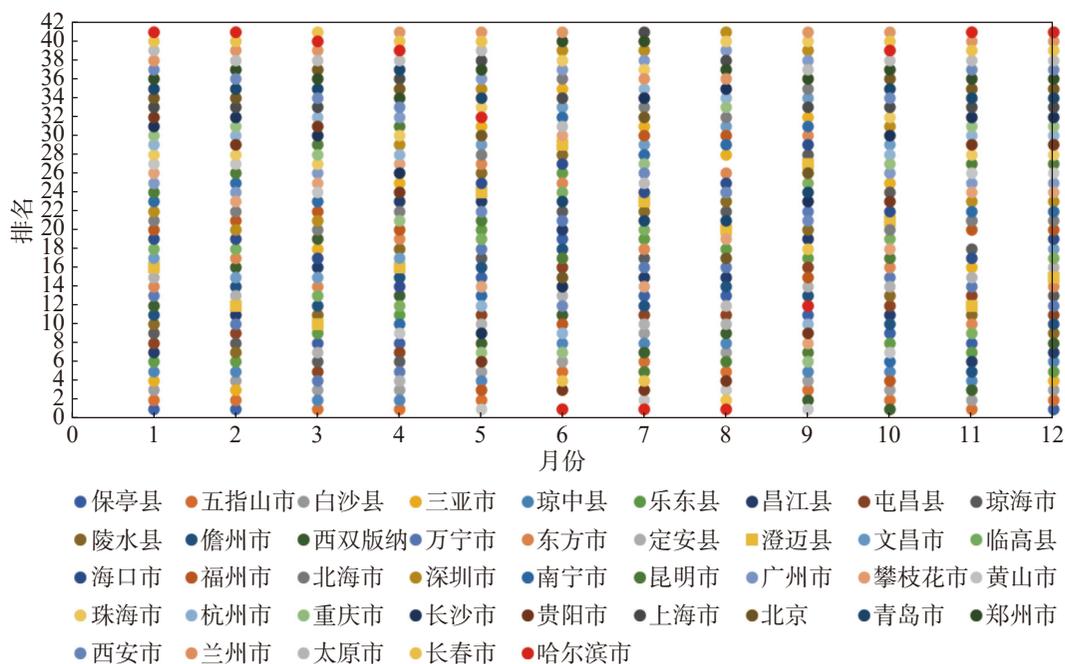


图 1 全国 41 个城市月气候康养指数排名

全省康养气候条件优于全国其他城市,十分适合进行气候康养。4月海南有 16 个市县排在前 20 位。5月海南有 11 个市县排在前 20 位,5月海南中部和北部的大部分市县人体舒适度、空气质量和生态环境质量优越,康养气候条件仍优于全国大部分城市,此时随着气温升高,位于华东、华南和西南地区的部分城市人体舒适度水平提高,也适合进行气候康养。6、7、8月海南有 8、13、11 个市县排在前 20 位,夏季到来,大部分城市人体舒适度水平、空气质量和生态环境质量提高,全国从东北、华北、华东到西南地区,均有城市气候康养指数排在前 20 位,这些城市的康养气候条件

也优于其他城市,适合进行气候康养。9月海南有 10 个市县排在前 20 位,主要为中部及西部沿海的市县,全国从东北、华北、华东到西南地区,仍有部分城市气候康养指数排在前 20 位,这些城市也适合进行气候康养。10月海南有 13 个市县排在前 20 位,随着秋季的到来,东北地区的城市的人体舒适度、生态环境质量下降,气候康养指数排名相对靠后,不再适合开展气候康养活动。11月海南有 17 个市县排在前 20 位,说明随着冬季的到来,海南热带气候条件优越性得到充分体现,人体舒适度、空气质量和生态环境均优于全国其他城市,全省各市县康养气候条件优于其他城市。

表 1 全国 41 个城市四季气候康养指数排名

排名	春季		夏季		秋季		冬季	
	城市	CRI	城市	CRI	城市	CRI	城市	CRI
1	五指山市	0.111	黄山市	0.104	五指山市	0.099	保亭县	0.072
2	琼中县	0.130	哈尔滨市	0.105	西双版纳	0.108	五指山市	0.076
3	白沙县	0.140	长春市	0.138	白沙县	0.122	白沙县	0.090
4	定安县	0.162	贵阳市	0.144	琼中县	0.148	三亚市	0.099
5	屯昌县	0.169	五指山市	0.170	儋州市	0.172	琼中县	0.110
6	万宁市	0.172	白沙县	0.182	保亭县	0.172	乐东县	0.111
7	琼海市	0.176	琼中县	0.182	乐东县	0.174	昌江县	0.132
8	保亭县	0.180	昆明市	0.185	黄山市	0.179	陵水县	0.138
9	乐东县	0.190	西双版纳	0.192	昌江县	0.180	屯昌县	0.141

续表 1

排名	春季		夏季		秋季		冬季	
	城市	CRI	城市	CRI	城市	CRI	城市	CRI
10	临高县	0.194	定安县	0.211	屯昌县	0.189	琼海市	0.143
11	儋州市	0.197	屯昌县	0.214	福州市	0.190	万宁市	0.146
12	澄迈县	0.198	儋州市	0.228	陵水县	0.192	儋州市	0.150
13	西双版纳	0.202	保亭县	0.230	定安县	0.194	西双版纳	0.152
14	陵水县	0.205	昌江县	0.234	临高县	0.196	定安县	0.163
15	黄山市	0.205	万宁市	0.239	万宁市	0.200	澄迈县	0.163
16	海口市	0.211	琼海市	0.246	东方市	0.200	东方市	0.168
17	东方市	0.217	青岛市	0.248	澄迈县	0.204	临高县	0.181
18	昌江县	0.217	北京	0.250	南宁市	0.220	文昌市	0.182
19	文昌市	0.219	攀枝花市	0.250	海口市	0.220	海口市	0.218
20	福州市	0.225	乐东县	0.250	攀枝花市	0.221	福州市	0.276
21	南宁市	0.232	太原市	0.252	琼海市	0.222	北海市	0.295
22	三亚市	0.243	临高县	0.253	三亚市	0.225	深圳市	0.301
23	北海市	0.247	西安市	0.253	昆明市	0.226	南宁市	0.313
24	重庆市	0.255	东方市	0.254	北海市	0.237	攀枝花市	0.325
25	贵阳市	0.264	澄迈县	0.254	贵阳市	0.240	广州市	0.332
26	攀枝花市	0.265	重庆市	0.255	重庆市	0.249	昆明市	0.338
27	长沙市	0.278	陵水县	0.255	文昌市	0.252	黄山市	0.347
28	杭州市	0.289	海口市	0.259	杭州市	0.260	珠海市	0.356
29	深圳市	0.300	福州市	0.260	广州市	0.287	杭州市	0.430
30	昆明市	0.301	杭州市	0.279	长沙市	0.290	贵阳市	0.434
31	广州市	0.317	长沙市	0.282	深圳市	0.296	重庆市	0.440
32	珠海市	0.318	南宁市	0.283	珠海市	0.327	长沙市	0.470
33	西安市	0.351	三亚市	0.285	上海市	0.334	上海市	0.516
34	上海市	0.394	文昌市	0.286	青岛市	0.366	青岛市	0.587
35	郑州市	0.406	北海市	0.302	西安市	0.375	北京	0.597
36	青岛市	0.407	兰州市	0.339	北京	0.400	郑州市	0.653
37	北京	0.411	上海市	0.356	郑州市	0.417	西安市	0.657
38	哈尔滨市	0.470	珠海市	0.361	哈尔滨市	0.450	太原市	0.713
39	太原市	0.476	广州市	0.361	长春市	0.450	兰州市	0.730
40	长春市	0.512	郑州市	0.363	太原市	0.495	长春市	0.760
41	兰州市	0.518	深圳市	0.369	兰州市	0.528	哈尔滨市	0.819

**2.1.2 四季康养气候条件对比分析** 由表 1 可见,冬季海南省 18 个市县全部排在前 20 位,春季和秋季分别有 17 和 15 个市县排在前 20 位。夏

季海南除东北部和西南部的个别市县不适合进行气候康养外,大部分市县康养条件仍然优于其他城市,适合进行气候康养,有 10 个市县排在前 20 位。

**2.2 海南各市县气候康养条件分析** 根据各月气候康养指数,海南省全年各月康养气候条件最优的市县分别为:1月的白沙、五指山、保亭、三亚;2月的五指山和保亭;3月的白沙、五指山和琼中,气候康养指数均小于0.100;4月的五指山和琼中,气候康养指数在0.101~0.150之间;5~7月的五指山、白沙和琼中,气候康养指数在0.151~0.200之间;8月的五指山、白沙、琼中、屯昌和定安,气候康养指数在0.151~0.200之间;9月的五指山,气候康养指数小于0.100;10和11月的五指山、白沙,12月的五指山、白沙、保亭、三亚最优,气候康养指数均小于0.100。根据四季气候康养指数,五指山、琼中和白沙的气候康养指数在春、夏、秋三季均排在全省前三名,保亭、五指山、白沙和三亚冬季的气候康养指数排在全省前三名,琼中冬季气候康养指数排在全省第五。总体上,各市县全年在人体舒适度、空气质量、生态环境等方面均具有良好的条件,气候康养指数均小于0.350,康养气候条件优良,适宜进行气候康养活动。相对而言,中部地区的五指山、白沙、琼中等康养气候条件更优。

### 3 讨论

本研究从气候环境康养角度出发,不仅考虑了气候条件对康养效应的影响,还考虑了生态环境、空气质量等方面对气候康养的影响,在此基础上,采用加权求和的方法构建了气候康养指数,对全国41个城市的气候康养指数进行计算和对比分析。发现海南省18个市县月、季、年的康养气候条件均优于全国其他城市,在夏季,也有其他个别城市适宜进行气候康养。其中,海南各市县气候康养条件以中部五指山、白沙、琼中最好,其次为保亭、三亚。研究结果可为气候康养评估提供技术支撑。然而,在评估生态环境、空气质量时,由于资料获取的限制,选取的指标还相对较为简单。例如,在目前仅选用归一化指标指数来评估生态环境,还可增加水质达标率、氧平衡指标、大气相对含氧量指标等来丰富对生态环境的评价;在评估空气质量时还可增加空气质量优良天数占比、花粉过敏指数、飘絮指数等指标。此外,气候康养指数仅从气候、空气质量、生态等气候康养自然资源出发,未考虑医疗、经济、交通、住宿、文化

等生活经济因素的影响,在今后的研究中需进一步完善。

### 参考文献:

- [1] 李正泉, 贺忠华, 胡中民. 气候与健康及气候康养研究进展[J]. 海洋气象学报, 2020, 40(1): 107-116.
- [2] FUKUOKA Y, KIDA K I, MIYASHITA R. Biometeorological study on the relationship between weather and chronic disease-possibility of weather forecasting for health and disease [J]. Glob Environ Res, 2007, 11: 59-64.
- [3] 刘明华. 气候环境可用于人体康复治疗[J]. 上海环境科学, 2003(S2): 57.
- [4] 王衍文, 仇学淬. 急性心肌梗塞发病气象条件的研究[J]. 气象学报, 1985, 43(4): 491-494.
- [5] 任宣羽, 杨淇钧. 康养气候及其空间分异研究[J]. 绵阳师范学院学报, 2018, 233(7): 47-53.
- [6] 张书余. 医疗气象预报[M]. 北京: 气象出版社, 2010: 79-90.
- [7] 高绍凤, 陈万隆, 朱超群. 应用气候学[M]. 北京: 气象出版社, 2001: 68-120.
- [8] CIULL, CHOU S W, CHO Y M, et al. Effect of Prolonged Intermittent Hypoxia and Exercise Training on Glucose tolerance and Muscle GLUT4 Protein Expression in Rats [J]. J Biomed Sci, 2004, 11(6): 838-846.
- [9] WILLEMS J H. Preconditions for a Stay in High Altitude Areas in the Case of Existing Health Problems [J]. Ned Tijdschr Geneesk, 2004, 148(45): 2216-2220.
- [10] 周燧, 李良鸣, 方彩华. 低氧适应对糖代谢的影响机制研究[J]. 中国组织工程与临床康复研究, 2008, 12(24): 4745-4748.
- [11] 梁爱宣, 梁志芳. 红外辐照对人体局部血液循环的影响[J]. 红外技术, 1993(5): 41-43.
- [12] 祝青林, 于贵瑞, 蔡福, 等. 中国紫外辐射的空间分布特征[J]. 资源科学, 2005(1): 108-113.
- [13] 饶秀俊. 负氧离子研究的现状和现实意义探讨[J]. 企业科技与发展, 2015(16): 27-31.
- [14] 卢山, 郭勇, 郑江平, 等. 云贵高原3个旅游城市气候舒适度及其康养效应研究[J]. 干旱气象, 2021, 39(2): 317-325.
- [15] 徐静, 卢宪梅, 刘志刚, 等. 1966—2018年秦皇岛气候舒适度时空变化特征[J]. 气象与环境学报, 2020(3): 80-86.
- [16] 朱保美, 周清, 代玉田, 等. 山东沿海和内陆城市旅游气候舒适度变化特征对比分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2021, 15(3): 100-109.
- [17] 孔钦钦, 郑景云, 王新歌. 1979-2014年中国气候舒适度空间格局及时空变化[J]. 资源科学, 2016, 38(6): 1129-1139.
- [18] STOW D, PETERSEN A, HOPE A, et al. Greenness trends of Arctic tundra vegetation in the 1990s: comparison of two NDVI data sets from NOAA AVHRR systems [J]. International Journal of Remote Sensing,

- 2007, 28(21): 4807 – 4822.
- [19] HOLBEN, BRENT N. Characteristics of maximum-value composite images from temporal AVHRR data [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1986, 7(11): 1417 – 1434.
- [20] 柏秦凤, 霍治国, 贺楠, 等. 中国 20 座旅游城市人体舒适度指数分析 [J]. *生态学杂志*, 2009, 28(8): 1607 – 1612.
- [21] 环境保护部. 中华人民共和国国家环境保护标准《环境空气质量评价技术规范 (试行)》: HJ663-2013[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2013.
- [22] PARUELO J M, EPSTEIN H E, BURKE L I C. ANPP Estimates from NDVI for the Central Grassland Region of the United States [J]. *Ecology*, 1997, 78(3): 953 – 958.

## Construction and evaluation of an index of climate suitable for health and wellbeing in Hainan

ZHANG Jinghong<sup>1,2</sup>, ZHANG Mingjie<sup>1,2</sup>, ZHANG Yajie<sup>1,2</sup>, YANG Jing<sup>1,2</sup>

(1. Hainan Climate Center, Haikou, Hainan 570203; 2. Hainan Key Laboratory of Meteorological Disaster Prevention and Mitigation in the South China Sea, Haikou, Hainan 570203, China)

**Abstract:** In order to evaluate quantitatively the climate conditions for health and wellbeing and their rank in Hainan, an index of climate suitable for health and wellbeing was constructed by using the weighted sum method. The index takes into account the natural resources closely related to climate suitable for health and wellbeing, such as climate conditions, air quality, ecological environment, etc. A statistical analysis was made of the monthly and seasonal index of climate suitable for health and wellbeing in 41 counties/cities including 18 counties/cities in Hainan province and other 23 major cities such as Beijing, Harbin, Guiyang, Xishuangbanna, Nanning and Kunming, etc. from 2016 to 2019. The results showed that the 18 counties/cities of Hainan ranked the top of the monthly index of climate suitable for health and wellbeing from January to December among the 41 counties/cities, especially from November to April. The climate conditions in the counties/cities of Hainan are better than those in other cities, especially in winter and spring. The climate conditions are the best in Wuzhishan, Qiongzong and Baisha counties/cities, the central part of Hainan Island, in autumn, summer and spring, and the best in Wuzhishan, Baisha, Baoting, Sanya and Qiongzong counties/cities of Hainan Island in descending order in winter. Baoting and Sanya are located in the south part of Hainan Island. In conclusion the climate conditions for health and wellbeing are optimum in Wuzhishan, Baisha and Qiongzong counties/cities, the central part of Hainan Island.

**Keywords:** climate; health and wellbeing; evaluation; comparative analysis.

(责任编辑: 罗启香 责任编辑: 钟云芳)