

# 连山生态气候康养适宜性分析

邓福兴<sup>1\*</sup>, 李媛<sup>2</sup>, 邬南锴<sup>1</sup>

<sup>1</sup>广东省连山壮族瑶族自治县气象局, 广东 清远

<sup>2</sup>广东省连州市气象局, 广东 连州

收稿日期: 2024年2月20日; 录用日期: 2024年3月21日; 发布日期: 2024年3月28日

## 摘要

本文采用连山国家气象观测站1981~2022年常规气象数据、Landsat遥感数据等资料, 选取人体舒适度气象指数(BCMI)、风效指数(K)、温湿指数(THI) 3项气候指数, 负氧离子浓度、大气自净能力、遥感生态指数3项指标, 对连山生态气候康养适宜性进行了分析。结果表明: 连山区域内BCMI 4~6级概率均在60%以上, 全年有256天等级为“最为舒适”或“大部分人感觉舒适”; 年均K值为-245, 为最舒适等级, 舒适期天数为321天, 无温热胁迫; THI值全年有8个月无温湿胁迫, 最佳舒适期天数有弱增加趋势。年均负氧离子浓度达到3168个/cm<sup>3</sup>, 达到了“特别清新”标准; 年均大气自净能力为2.4吨/天/平方千米, 空气质量指数(AQI)年均值为42, 优良率为99.4%; RSEI指数呈增加趋势, 面积优良等级占比由2015年的91.6%提升到2020年的93.9%。综合表明连山生态气候在休闲康养适宜性方面优势突出。

## 关键词

休闲康养, 生态气候适宜性, 气候舒适度, 气候指数, 生态环境

# Analysis of Suitability for Ecological Climate and Health Preservation in Lianshan

Fuxing Deng<sup>1\*</sup>, Yuan Li<sup>2</sup>, Nankai Wu<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Guangdong Meteorological Bureau of Lianshan Zhuang and Yao Autonomous County, Qingyuan Guangdong

<sup>2</sup>Guangdong Meteorological Bureau of Lianzhou City, Lianzhou Guangdong

Received: Feb. 20<sup>th</sup>, 2024; accepted: Mar. 21<sup>st</sup>, 2024; published: Mar. 28<sup>th</sup>, 2024

## Abstract

In this paper, the conventional meteorological data of the Lianshan National Meteorological Obser-  
\*通讯作者。

vatory Station from 1981 to 2022, Landsat remote sensing data, and other data were used to select three climate indices, namely human comfort meteorological index (BCMI), wind efficiency index (K), and temperature humidity index (THI), as well as negative oxygen ion concentration, atmospheric self-purification capacity, and remote sensing ecological index to analyze the suitability for ecological climate and health preservation in Lianshan. The results show that the probability of BCMI levels 4 to 6 in the Lianshan area is above 60%, and there are 256 days throughout the year when the level is “most comfortable” or “most people feel comfortable”; the average annual K value is -245, which is the most comfortable level, with a comfortable period of 321 days and no temperature stress; the THI value has 8 months of no temperature and humidity stress throughout the year, and the optimal comfortable period days have a weak increasing trend. The average annual concentration of negative oxygen ions reaches 3168 per  $\text{cm}^{-3}$ , reaching the “particularly fresh” standard; the annual average atmospheric self-purification capacity is  $2.4 \text{ t}\cdot\text{d}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$ , the annual average air quality index (AQI) is 42, and the excellent rate is 99.4%; the RSEI index is showing an increasing trend, with the proportion of areas with excellent grades increasing from 91.6% in 2015 to 93.9% in 2020. Overall, the ecological climate of Lianshan has outstanding advantages in terms of suitability for leisure and health preservation.

## Keywords

Leisure and Health Preservation, Ecological Climate Suitability, Climate Comfort, Climate Index, Ecological Environment

Copyright © 2024 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

随着经济社会的发展和人们生活水平的提高,生态康养成为人们追求的生活条件,以生态气候资源为主题的休闲康养活动逐渐成为旅游业发展的新热点。气候条件和生态环境是影响休闲养生康养活动的重要前提条件,决定了人们对休闲康养地的满意程度。国内外许多学者对生态气候与休闲养生的相互关系进行了很多研究,并取得了大量成果,如林晓青等[1]从人体舒适度气象指数、负氧离子浓度等指标对陆河生态气候休闲养生适宜性进行了分析;刘金丽等[2]通过多种气候舒适度计算模型的对比分析构建了适合珠海的人居环境舒适度评价方法;刘逸等[3]以气候综合舒适度模型为基础,通过修正气象要素的理想值和权重建立了避暑旅游气候舒适度模型;李正泉等[4]对丽水市气候、生态与休闲养生进行了相关分析;还有很多使用气候指数法对城市气候旅游适宜性分析及适宜期进行了评判[5] [6] [7] [8]以及对负氧离子浓度特征进行了分析[9] [10]。然而,将气候条件和生态环境结合在一起,对生态与气候的休闲康养适宜性的分析研究并不多见。

连山位于广东省西北部,在湖南、广西、广东三省交界处,地处南岭山脉西南麓,属亚热带山地气候,气候温润宜人,夏无酷暑,冬无严寒,山清水秀,空气清新。本文选取与休闲康养关联较为密切的气候指数和生态指标进行了计算分析,对连山生态气候康养适宜性进行了探讨,以期为人们在旅游、休闲康养出行选择连山提供参考,助力连山农文旅体康融合高质量发展。

## 2. 资料和方法

采用连山国家气象观测站 1981~2022 年和历年区域气象站常规气象资料、2019 年 7 月~2022 年 6 月连山 3 个固定式负氧离子监测站数据、2015 和 2020 年 Landsat 遥感数据,以人体舒适度气象指数(BCMI)、

风效指数(K)、温湿指数(THI) 3 项气候指数, 作为休闲康养的气候关联指标; 以负氧离子浓度、大气自净能力、遥感生态指数(RSEI) 3 项指标, 作为休闲康养的生态关联指标, 以此评价气候条件和生态环境的休闲康养适宜性。

1) BCMI 指数是表征体表与周边环境的热交换的综合性生物气象指标, 评价气温、湿度、风对人体的舒适的影响[11]。计算公式为:

$$BCMI = (1.8 + 32) - 0.55(1 - RH)(1.8T - 26) - 3.2\sqrt{V} \quad (1)$$

2) K 指数表征人体对风、温度和日照的综合感受, 考虑了体表的散热和太阳辐射后人体的增热。计算公式为:

$$K = -(10\sqrt{V} + 10.45 - V)(33 - T) + 8.55S \quad (2)$$

3) THI 指数用来表征人体对环境温度、湿度的综合性指标。计算公式为:

$$THI = 1.8T + 32 - 0.55(1 - RH)(1.8T - 26) \quad (3)$$

以上(1)~(3)式中,  $T$ 、 $RH$ 、 $V$ 、 $S$  分别代表平均气温( $^{\circ}\text{C}$ )、相对湿度(用小数表示)、风速(米/秒)、平均日照时数( $h$ )。

4) 大气自净能力指数根据 2018 年实施的国标《大气自净能力等级》[12], 基于大气中空气平流运动对大气污染物浓度的通风稀释和降水下降过程中的湿清除。计算公式为:

$$A_{\text{大气自净}} = 3.1536 \times 10^{-3} \times \frac{\sqrt{\pi}}{2} \cdot V_E + 1.7 \times 10^{-2} \times R \times \sqrt{S} \quad (4)$$

式中:  $V_E$ 、 $R$ 、 $S$  为通风量(平方米/秒)、降水强度(毫米)、单位面积(取 100 平方千米)。

5) RSEI 指数选取 Landsat 遥感图像, 分别提取其绿色、湿度、热度、干度 4 个生态因子作为其评价指标, 通过主成分分析方法计算遥感生态指数, 定量客观地评价生态环境质量及其变化。

### 3. 结果分析

#### 3.1. 人体舒适度气象指数

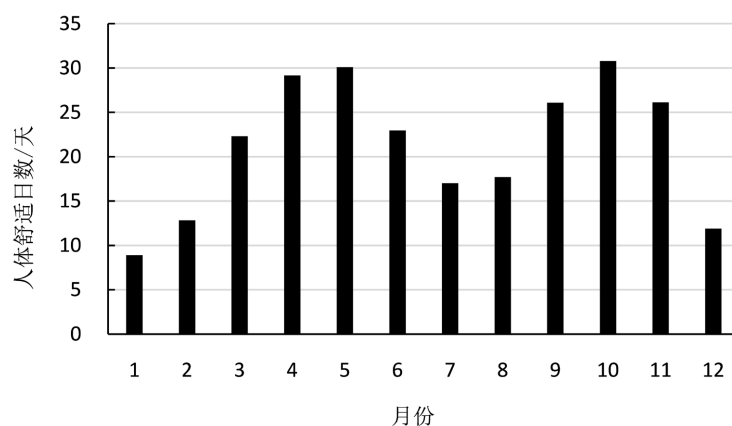


Figure 1. Comfortable days for the human body in each month over the years in Lianshan

图 1. 连山历年各月人体舒适日数

根据 BCMI 计算值与等级的关系, 当 BCMI 等级为 5 级时人体感觉非常舒适, 4~6 级时人体感觉舒

适, 依次向两个方向递减。统计结果发现, 连山 BCMI 指数大多数处于 51~79 之间, 为 4~6 级, 即为最舒适或大部分人感觉舒适, 人体舒适日数平均每年达 256 天。从连山历年各月人体舒适日数(图 1)可以看出, 4、5、9、10、11 月 5 个月的舒适日数均超过 25 天, 超过 93% 以上的天数人体感觉舒适, 除冬季(12~2 月)各月舒适日数约为全月的 1/3 外, 其他月份均有 1/2 以上天数为舒适期。

从连山域内年度 BCMI 4~6 级概率分布(图 2)可知, 连山 BCMI 指数出现 4~6 级概率均大于 50%, 南北两端的概率大于中部地区, 即吉田镇和福堂镇北部的人体气候舒适程度略低于其它乡镇, 但总体来看, 连山绝大部分乡镇的 BCMI 4~6 级概率均在 60% (219 天)以上, 仅个别站点小于 50%, 表明连山域内人体气候感受度基本上是舒适或大部分舒适。

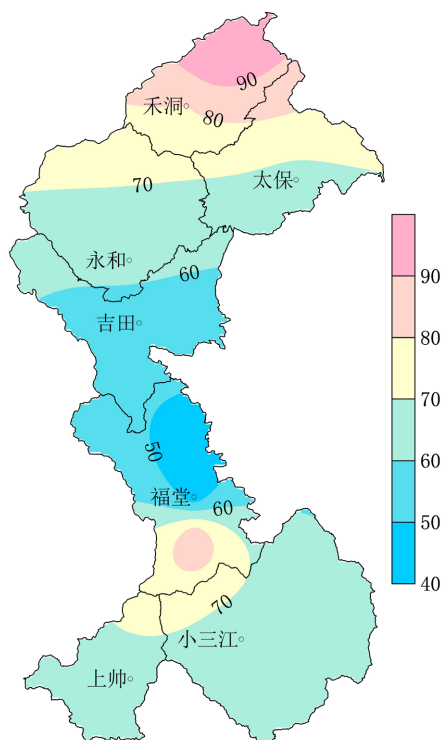


Figure 2. Spatial distribution of BCMI 4~6 level probability (%) in Lianshan

图 2. 连山 BCMI 4~6 级概率(%)空间分布

### 3.2. 风效指数

根据  $K$  计算值与等级的关系, 当  $-300 < K \leq -200$  时为人感觉最舒适,  $-600 < K \leq -50$  时人体感觉为舒适, 依次向两个方向递减。计算结果表明, 连山全年均为舒适期, 年平均风效指数为  $-245$ , 为最舒适等级。从连山逐月  $K$  指数舒适期天数来看, 除 7 月外, 其他月份均有 2/3 以上天数为舒适期, 4、10~11 月舒适期天数达 100%。从逐年风效指数计算得到, 连山全年平均风效指数舒适期天数为 321 天, 能稳定维持 88% 以上天数为舒适期。

### 3.3. 温湿指数

根据  $THI$  计算值与等级的关系, 当  $60 \leq THI < 65$  时人体感觉为最舒适,  $45 \leq THI < 75$  时人体感觉为舒适或较舒适, 依次向两个方向递减。连山  $THI$  指数计算结果表明, 舒适期为 1~5 和 10~12 月, 全年共有 8 个月无温湿胁迫感, 其中有 3 个月最为舒适, 分别是 3、10、11 月, 期间气候基本无温湿胁迫。从

连山逐月 THI 指数舒适期天数来看,除 6~9 月外,其他月份均有 2/3 以上天数为舒适期,3~4、10~12 月舒适期天数占当月总天数的 94%以上。从逐年 THI 指数计算得到,连山全年平均 THI 指数舒适期天数为 239 天,能稳定维持 65%以上天数为舒适期。从 1981~2022 年连山 THI 指数舒适期天数和最佳舒适期天数逐年变化(图 3)可以看出,连山 THI 指数舒适期天数变化较为平稳,有弱减少趋势,但最佳舒适期天数有弱增加趋势。

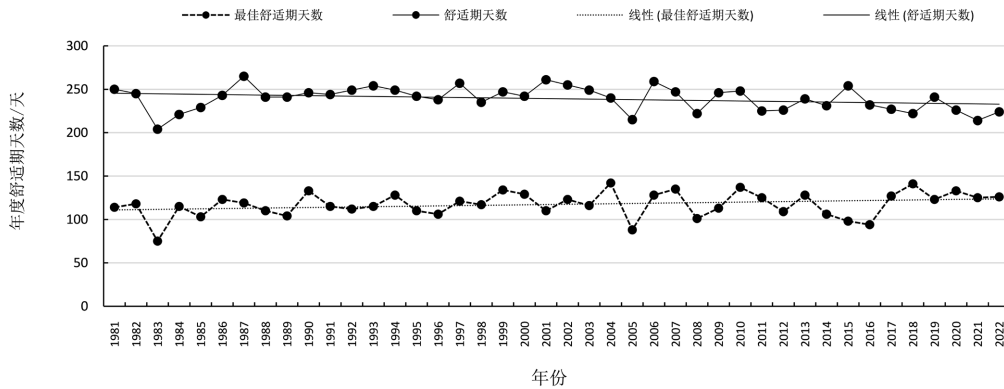


Figure 3. Annual changes in THI comfort period days and best comfort period days in Lianshan from 1981 to 2022

图 3. 连山 1981~2022 年 THI 舒适期天数和最佳舒适期天数逐年变化

### 3.4. 负氧离子浓度

根据连山 3 个固定式负氧离子监测仪的连续监测结果统计,县域内负氧离子浓度维持较高状态,2019 年 7 月~2022 年 6 月 3 年平均负氧离子达到 3168 个/cm<sup>3</sup>,各月负氧离子浓度绝大部分高于 2000 个/cm<sup>3</sup>。2020 年负氧离子水平最高,年平均高达 3865 个/cm<sup>3</sup>,负氧离子浓度月平均最高为 5758 个/cm<sup>3</sup>。据世界卫生组织数据,空气中负氧离子浓度达到 2100 个/cm<sup>3</sup> 以上时,可起到促进人体健康的作用。连山负氧离子浓度高,年平均浓度超 3000 个/cm<sup>3</sup>,达到了“特别清新”标准,属于极有利“具有治疗和康复功效”等级,大气负氧离子含量直观地反映了连山优越的生态环境。

### 3.5. 大气自净能力

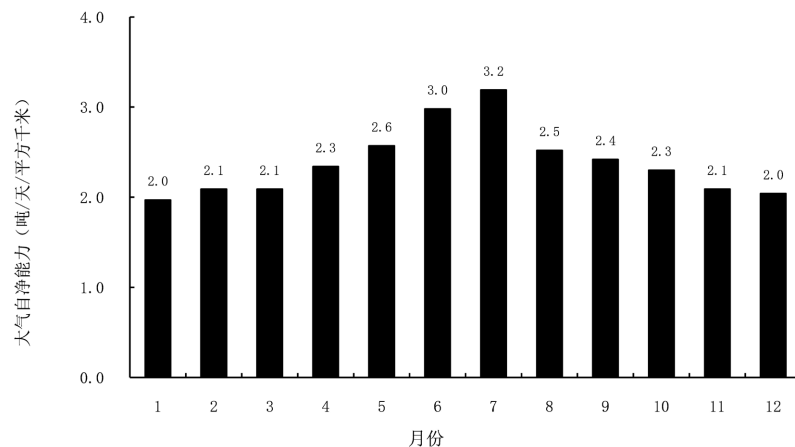


Figure 4. Monthly variation of atmospheric self-purification capacity in Lianshan

图 4. 连山大气自净能力逐月变化

大气自净能力是指一个区域内大气环境所能容纳污染物的最大能力。从连山大气自净能力逐月变化(图 4)看, 年平均大气自净能力 2.4 吨/天/平方千米, 各月大气自净能力均在 2.0 吨/天/平方千米以上, 其中 7 月和 6 月大气自净能力较高, 分别为 3.2 吨/天/平方千米和 3.0 吨/天/平方千米, 反映出连山大气对污染物的雨水清除或通风扩散能力较强。空气质量指数(AQI)年均值为 42, AQI 优良率年均为 99.4%, 表明连山大气环境条件较好, 空气优质。

### 3.6. 遥感生态指数

根据计算得到的连山 RSEI, 分别统计了连山区域内 2015 年、2020 年绿度(NDVI)、湿度(WET)、热度(LST)、干度(NDSI)等 4 个指标及 RSEI 的均值, 由表 1 可知, 2020 年代表生态趋好的绿度指标较 2015 年高 0.03, 湿度指标较 2015 年低 0.03, 而代表趋差的干度指标和热度指标均低于 2015 年, 其中热度指标低 0.12, 干度指标低 0.01。2015 年 2020 年连山的 RSEI 对比如图 5 所示, 5 年间, 连山 RSEI 指数呈增加趋势, 由 2015 年的 0.71 增加到 2020 年的 0.75, 增加了 0.04, 表明连山 RSEI 指数趋好, 区域环境质量优, 植被覆盖度高, 生态系统稳定。

Table 1. Changes in remote sensing ecological indicators in Lianshan

表 1. 连山遥感生态指标变化情况

年份	遥感指标				
	绿度(NDVI)	湿度(WET)	热度(LST)	干度(NDSI)	生态指数(RSEI)
2015	0.87	0.9	0.4	0.52	0.71
2020	0.9	0.87	0.28	0.51	0.75

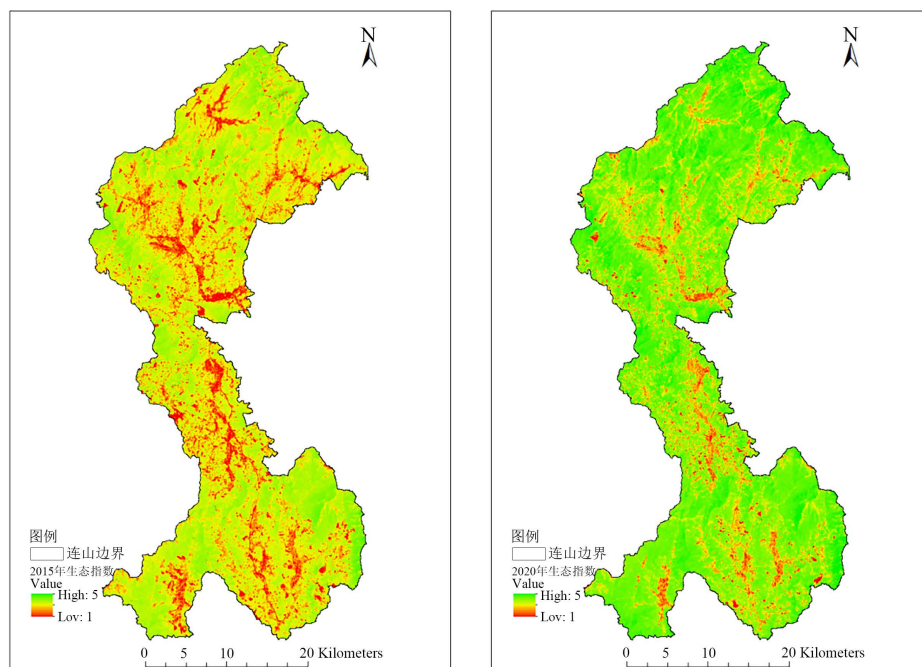


Figure 5. Comparison of Remote Sensing Ecological Index (RSEI) between 2015 and 2020

图 5. 2015 年和 2020 年遥感生态指数(RSEI)对比

为进一步对遥感生态指数进行定量化与可视化分析, 将各年份的 RSEI 分成 5 个级别, 分别代表生态

差、较差、中等、良、优 5 个等级，对应的 RSEI 分别为[0, 0.45]、[0.45, 0.55]、[0.55, 0.65]、[0.65, 0.75]、[0.75, 1.0]。统计结果显示(表 2)，2015 年连山生态等级较差、中等、良、优的面积占比分别为 0.2%、8.2%、83.7%、7.9%；2020 年各等级面积占比分别为 0.2%、5.6%、30.7%、63.2%。优良等级累计占比由 2015 年的 91.6%提升到 2020 年的 93.9%，较差等级占比差异不明显，占比均较低，2015 年和 2020 年连山均无差等级区域，由此可知连山生态环境质量优良，且有显著提升。

**Table 2.** Changes in ecological level and area ratio

**表 2.** 生态等级和面积比例变化

生态等级	2015 年		2020 年		占比差值 (2020~2015)
	各生态等级面积 (平方公里)	各生态等级占比 (%)	各生态等级面积 (平方公里)	各生态等级占比 (%)	
优	96.4	7.9	769.6	63.2	55.3
良	1019.3	83.7	373.5	30.7	-53.0
中等	100.2	8.2	67.7	5.6	-2.7
较差	2.0	0.2	2.1	0.2	0.0

#### 4. 结论

本文选取与休闲康养活动关联密切的 3 项气候指数和 3 项生态指标，对连山气候条件、生态环境的休闲康养适宜性进行了分析。得出如下结论：

1) 连山气候人体舒适度高，绝大部分乡镇的 BCMI 4~6 级概率均在 60%以上，全年有 256 天 BCMI 等级为“最为舒适”或“大部分人感觉舒适”，其中有 5 个月的舒适日数均超过 25 天，只有冬季各月舒适日数约为全月的 1/3。年均 K 值为-245，为最舒适等级，全年舒适期天数为 321 天，风感舒适，气候不会对人体产生温热胁迫。THI 值全年共有 8 个月无温湿胁迫感，其中有 3 个月最为舒适，最佳舒适期天数有弱增加趋势。

2) 连山全年负氧离子浓度都极高，年均浓度达到 3168 个/cm<sup>3</sup>，达到了“特别清新”标准。年均大气自净能力为 2.4 吨/天/平方千米，各月大气自净能力均在 2.0 吨/天/平方千米以上，空气质量指数(AQI)年均值为 42，AQI 优良率年均均为 99.4%。RSEI 指数呈增加趋势，面积优良等级占比由 2015 年的 91.6%提升到 2020 年的 93.9%。

3) 综合连山生态气候 6 项指数指标分析表明，生态气候在休闲康养适宜性方面，气候禀赋优越，舒适宜人，生态环境优良，空气清新，生态气候的综合优势突出。休闲康养涉及众多的气候、生态因子，如极端天气、紫外线等，这些因素在本文分析中都未能加以考虑，需在下一步进行深入研究。

#### 参考文献

- [1] 林晓青, 张小柳, 罗志鹏, 等. 陆河生态气候养生适宜性分析[J]. 广东气象, 2022, 44(5): 47-50.
- [2] 刘金丽, 郑浩阳. 珠海市人居环境气候舒适度特征分析[J]. 广东气象, 2016, 38(5): 49-53.
- [3] 刘逸, 卢展晴, 陈欣诺. 避暑旅游气候舒适度模型构建与应用[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2019, 58(3): 22-31.
- [4] 李正泉, 肖晶晶, 马浩, 等. 丽水市生态气候休闲养生适宜性分析[J]. 气象与环境科学, 2016, 39(3): 104-111.
- [5] 朱华松, 卢志红, 曾钦文. 河源地区的旅游气候舒适度分析[J]. 广东气象, 2018, 40(3): 46-49.
- [6] 朱宝文, 哈承智, 时盛博, 等. 青海海北地区旅游气候舒适度与客流量关系[J]. 气象与环境科学, 2014, 37(1): 83-87.

- [7] 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.
- [8] 黎大美, 何珊. 贺州市人居环境气候舒适度特征分析[J]. 气象研究与应用, 2017, 38(1): 117-121.
- [9] 胡猛, 陈蝶聪, 任文斌. 揭西县空气负氧离子浓度的时空特征分析[J]. 广东气象, 2021, 43(1): 53-56.
- [10] 林锦冰, 李晓桃, 陈浩, 等. 揭西县负氧离子浓度特征及与气象条件的关系[J]. 广东气象, 2021, 43(4): 40-44.
- [11] 黄观荣, 李曹明, 付炳秀. 韶关生态旅游气候舒适度分析[J]. 广东气象, 2020, 42(3): 55-58.
- [12] 杨栋, 朱佳敏, 姚日升, 等. 宁波地区空气质量及大气自净能力海陆差异对比[J]. 气象与环境学报, 2019, 35(3): 52-59.