

基于近三十年长序列气象观测资料的泰安市露营适宜度评价模型构建及时空演变规律探究

司林静¹, 李娜², 郝晓雷³

¹泰安市气象综合保障中心, 山东 泰安

²菏泽市气象综合保障中心, 山东 菏泽

³菏泽市气象台, 山东 菏泽

收稿日期: 2026年8月5日; 录用日期: 2026年9月4日; 发布日期: 2026年9月10日

摘要

国内户外文旅产业持续扩张背景下, 气象环境条件直接决定露营活动的体验质量与安全保障水平。文章选取泰安国家一般气象观测站(站号54827) 1994~2024年连续三十年逐日气象观测序列, 筛选日均气温、逐日降雨量、平均风力、空气相对湿度、日照时长五类核心气象指标, 建立适配泰安本地气候特征的露营气象适宜度评价模型(CMI)。研究采用极值短板综合判定法划分露营适宜等级, 借助数理统计手段分析该区域露营适宜度月度分布特征与逐年演变趋势。分析结果显示: 第一, 泰安地区露营适宜水平存在明显单峰值季节分异, 5月综合气象条件最适合露营, 12月至次年2月整体气象环境不支持户外露营; 第二, 三十年研究周期内, 极高适宜(I级)露营天数年际差别显著, 年度天数区间处于1~29天; 经5年滑动平均平滑处理后可见, 2005年之后优质露营天数整体呈现缓慢抬升走势, 2019年达到三十年最高值; 第三, 无极端气象事件发生时, 空气湿度与日照时长协同构成的光温舒适条件, 是左右露营游玩感受的首要气象要素。本次研究成果能够为泰山全域户外旅游规划、露营基地经营统筹、市民户外出行决策提供客观的数据支撑与气象理论依据。

关键词

露营适宜度, 气象评价模型, 时空演变, 泰安市, 短板综合评价法

Construction of Tai'an City's Camping Suitability Evaluation Model and Exploration of Its Spatiotemporal Evolution Based on Nearly 30 Years of Long-Term Meteorological Observation Data

文章引用: 司林静, 李娜, 郝晓雷. 基于近三十年长序列气象观测资料的泰安市露营适宜度评价模型构建及时空演变规律探究[J]. 气候变化研究快报, 2026, 15(5): 987-992. DOI: 10.12677/ccrl.2026.155105

Linjing Si¹, Na Li², Xiaolei Hao³

¹Tai'an City Meteorological Support Center, Tai'an Shandong

²Heze City Meteorological Support Center, Heze Shandong

³Heze City Meteorological Observatory, Heze Shandong

Received: August 5, 2026; accepted: September 4, 2026; published: September 10, 2026

Abstract

Against the backdrop of the continuous expansion of the domestic outdoor cultural and tourism industry, weather conditions directly determine the quality and safety of camping experiences. This article selects daily meteorological observation sequences from the Tai'an National General Meteorological Observation Station (Station No. 54827) over thirty consecutive years from 1994 to 2024, focusing on five core meteorological indicators: average daily temperature, daily rainfall, average wind speed, relative humidity, and sunshine duration. A camping meteorological suitability evaluation model (CMI) that fits Tai'an's local climate characteristics was established. The study uses the extreme shortfall comprehensive judgment method to classify levels of camping suitability and applies statistical methods to analyze the monthly distribution characteristics and annual evolution trends of camping suitability in the region. The analysis shows: first, camping suitability in Tai'an displays a clear single-peak seasonal differentiation, with May having the most suitable overall meteorological conditions for camping, while the period from December to February of the following year generally does not support outdoor camping; second, over the thirty-year study period, the number of days with extremely high suitability (Level I) for camping varies significantly from year to year, ranging from 1 to 29 days per year; after a 5-year moving average smoothing, it can be seen that after 2005, the number of high-quality camping days has shown a gradual upward trend, reaching the highest value in thirty years in 2019; third, when no extreme weather events occur, the combination of air humidity and sunshine duration creating a comfortable light-temperature condition is the primary meteorological factor affecting the camping experience. The results of this study can provide objective data support and meteorological theoretical basis for overall outdoor tourism planning in Mount Tai, the management of camping sites, and citizens' decisions for outdoor trips.

Keywords

Camping Suitability, Weather Evaluation Model, Spatiotemporal Evolution, Tai'an City, Comprehensive Evaluation Method for Weaknesses

Copyright © 2026 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

露营作为新型近郊户外休闲业态，近些年在国内文旅市场快速普及。露营属于长时间野外驻留类户外活动，对气象环境稳定性要求远高于普通短途观光游览。高温闷热、持续性降雨、大风、高湿寡照等恶劣天气，不仅会大幅降低游客露营体验，还容易引发帐篷损毁、坡面积水、低温冻伤等各类安全隐患[1]。

泰安市坐落于山东中部山地，依托泰山世界级文旅资源，山地郊野休闲资源储量丰富，是山东省热

门露营目的地。伴随露营消费需求持续上涨，前往当地野外露营的游客数量逐年攀升，但当前专门针对泰安及泰山片区的精细化露营气象服务产品较为稀缺，行业经营与普通游客缺少标准化、本地化的气象参考依据。

现阶段国内外相关研究多围绕人居舒适指数、景区旅游气候适宜度展开，现有成果中针对露营专属场景构建的气象评价模型数量偏少，且多数研究仅做定性描述，未结合露营长期野外驻留、场地易受降水影响的独有特点搭建量化评价体系[2]。基于以上现状，本文利用泰安市 1994~2024 年共计 30 年完整逐日气象观测数据，同时兼顾露营活动安全底线与体感舒适需求，搭建本地化露营气象评价模型，系统梳理当地露营适宜程度月度、年度时空变化特征，弥补区域露营气象相关研究空缺，为当地文旅产业精细化发展、露营营地管理、民众安全露营提供数据参考。

2. 研究数据与评价方法

2.1. 研究区域与数据来源

本研究基础观测数据取自泰安国家基准气象观测站(区站编号 54827)，数据时间跨度为 1994 年 1 月 1 日至 2024 年 12 月 31 日逐日完整观测记录。提取指标包含日平均气温、单日降水量、日平均风速、日均相对湿度、日照总时长五项气象要素。全部原始观测资料均按照气象行业规范完成质控流程，剔除缺失时段与异常突变观测值，保障数据连续性、可靠性，满足长周期气候演变规律分析标准[3]。

2.2. 露营气象适宜度模型搭建

野外露营存在显著的气象限制短板效应：气温、降水、风力、光温环境四类指标中任意一项达到不适宜阈值，都会直接降低当日露营活动可行性，其余气象要素的优良条件无法抵消单一要素带来的负面影响[4]。基于该规律，本次研究采用单因子分级打分+极值短板综合定级的技术思路，构建适配泰安气候的露营气象评价模型。

2.2.1. 单因子五级打分标准

结合泰安本地春干夏湿、四季温差明显的气候特征，同时参考露营活动安全与体感临界阈值，将气温、降水、风速、光温舒适度四项指标各划分为五个评价层级，对应分值 $K = 1$ 至 $K = 5$ ，分值越高代表该项气象条件越不利于露营，具体分级标准详见表 1。

Table 1. Comfort level evaluation standards table
表 1. 舒适度指标评价层级标准表

气象指标	$K = 1$ (最优)	$K = 2$ (良好)	$K = 3$ (一般)	$K = 4$ (较差)	$K = 5$ (恶劣)
平均气温 t	18℃~26℃	15℃~18℃或 26℃~29℃	12℃~15℃或 29℃~32℃	10℃~12℃或 32℃~35℃	低于 10℃或 高于 35℃
单日降水 R	$R = 0\text{ mm}$	$0 < R \leq 2\text{ mm}$	$2 < R \leq 10\text{ mm}$	$10 < R \leq 25\text{ mm}$ 或前 3 日 累计降水 $R_3 > 20\text{ mm}$	单日降水 $> 25\text{ mm}$ 或前 3 日 累计降水 $R_3 > 40\text{ mm}$
平均风速 u	$\leq 3\text{ m/s}$	3~5 m/s	5~7 m/s	7~10 m/s	$> 10\text{ m/s}$
光温综合 (RH, S)	$RH < 60\%$, $S \geq 8\text{ h}$	$RH < 70\%$, $S \geq 5\text{ h}$	$RH < 80\%$, $S \geq 2\text{ h}$	$RH < 90\%$, $S < 2\text{ h}$	$RH \geq 90\%$, $S < 2\text{ h}$

注： R_3 代表连续三日累积降雨量；RH 为日均空气相对湿度；S 为当日日照总时长。

光温综合指标充分适配泰安春季干燥、夏季多雨高湿的气候特点：高湿度、少日照环境易产生闷热、阴冷不适感，充足日照能够明显改善户外体感。研究采用加权计算方式确定该项综合得分，赋予相对湿度权重 60%、日照时长权重 40%，加权计算结果更贴合本地居民野外实际体感特征。

2.2.2. 综合露营等级计算方式

依据短板限制原理，选取四项单因子打分结果中的最大值作为当日露营综合判定等级，计算公式如下：

$$G = \max(K_t, K_r, K_u, K_{rhs}) \quad (1)$$

式中： G 代表单日露营综合评价等级； K_t 为气温分项得分； K_r 为降水分项得分； K_u 为风速分项得分； K_{rhs} 为光温综合得分。按照 G 取值范围将露营适宜度划分为五个层级：I 级(极高适宜)、II 级(适宜)、III 级(基本适宜)、IV 级(不适宜)、V 级(完全不适宜)。

2.3. 数据分析手段

本次研究采用数理统计法，统计三十年周期内各月份、各年度不同露营适宜等级的总天数；引入 5 年滑动平均算法对逐年 I 级优质露营天数序列做平滑降噪处理，消除短期随机气候波动干扰，清晰呈现区域露营适宜条件长期变化趋势[5]。

3. 研究结果与特征分析

3.1. 露营适宜度月度时空分布规律

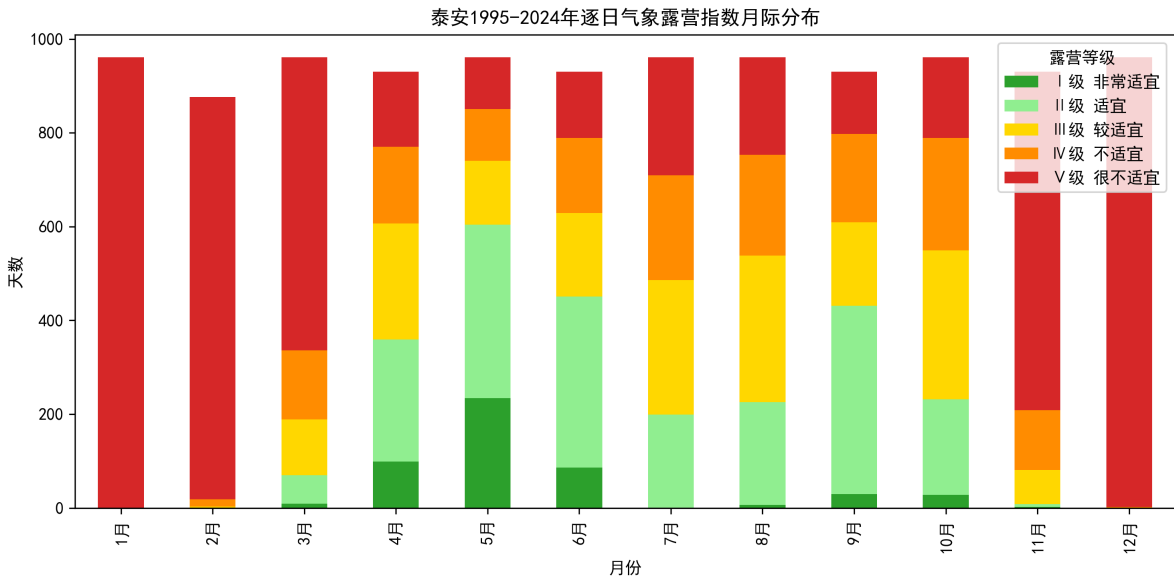


Figure 1. Daily meteorological camping index monthly distribution in Tai'an from 1994 to 2024

图 1. 泰安 1994~2024 年逐日气象露营指数月季分布

1994~2024 年泰安市各月度露营适宜等级统计结果显示(图 1)，当地露营适宜水平呈现典型单峰值季节变化特征，季节间差异十分突出。每年 12 月至次年 2 月为冬季，区域寒潮、低温大风天气频发，V 级完全不适宜天气占绝对主导，几乎不存在适合野外露营的气象窗口，不建议开展户外露营活动。

春季气温稳步回升、降雨频次偏低、风力整体平缓，露营适宜程度持续提升。进入 4 月下旬后，适宜露营天数明显增多，5 月是全年露营气象条件最优时段，当月 I 级、II 级适宜天气占比达到全年峰值，气温、日照、湿度、风力组合匹配度最佳，露营安全性与游玩体验同步达到最优。

6~8 月为当地主汛期，短时强降雨、雷暴、多云高湿天气频发，降水与高湿环境成为限制露营的核心因素，III 级、IV 级不适宜天气占比显著上涨，整体露营适宜度下降；仅连续晴好无降雨时段可开展露营，

野外活动存在较强对流降水风险。

秋季整体干爽舒适，9月下旬至10月中旬气温适中、降雨大幅减少、光照充足，形成次一级优质露营窗口期；11月气温快速回落，不适宜露营天气数量逐步增多。综合月度分布规律可得，泰安市野外露营优选时段集中在4月下旬至5月、9月下旬至10月中旬；夏季露营需重点防范短时暴雨、强对流天气，冬季整体不具备露营气象条件。

3.2. I级极高适宜露营天数逐年演变特征

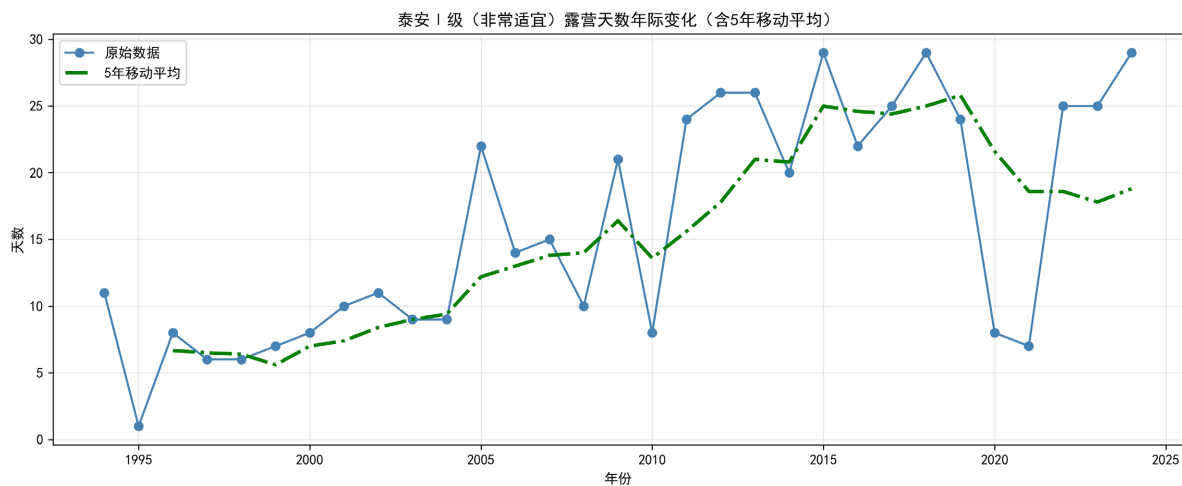


Figure 2. Year-to-year changes in the number of “Level I (very suitable)” camping days in Tai’an from 1994 to 2024
图 2. 泰安 1994~2024 年 “I 级(非常适宜)” 露营天数的年际变化

如图 2 所示，近三十年观测周期内，泰安市 I 级极高适宜露营天数年度波动幅度极大，单年优质露营天数分布区间为 1~29 天，年度极值差距接近 30 倍，不同年份气候条件差异明显。其中 1995 年优质露营天数最少，仅 1 天；2019 年、2024 年优质露营天数达到三十年峰值，均为 29 天。

经 5 年滑动平均曲线处理后可将长期变化分为三个阶段：1994~2005 年，I 级露营天数长期处于低位小幅震荡阶段，全年优质露营天气稀缺；2006~2019 年，优质露营天数保持持续性上升趋势，并在 2019 年达到三十年最高值，该变化大概率受全球气候变暖影响，泰安地区春季升温时间提前、秋季降温时段延后，舒适晴好天气逐年增多。

2020 年优质露营天数出现大幅下滑，全年仅 6 天，随后快速回升，2024 年重新回到高位区间。2020 年后优质露营天数大幅起伏，侧面反映气候变暖背景下区域异常气候、极端天气发生频次上升，露营气象环境稳定性有所减弱。

从形成机制分析，无极端气象条件前提下，空气湿度与日照时长共同构成的光温组合，是决定优质露营天数多少的核心因素。春季晴燥少雨、气温温和，或是秋季晴天偏多、冷空气活动偏弱时，当年 I 级适宜天数会明显增加；若全年持续性阴雨、高湿寡照、极端高温天气多发，则优质露营天数大幅缩减。

4. 主要结论与实操建议

4.1. 核心研究结论

本文依托气温、降水、风力、相对湿度、日照时长五类气象指标搭建的泰安露营气象适宜度(CMI)评价模型，结合极值短板法划分综合等级，能够客观量化评估当地每日露营气象条件优劣，模型理论逻辑完整，可用于实际气象业务落地使用。

泰安市露营气象适宜度呈现典型单峰季节性分布,5月为全年露营最优时段;4月下旬~5月、9月下旬~10月中旬为两大黄金露营窗口期;12月至次年2月低温大风多发,完全不适合户外露营;夏季受汛期降雨制约,露营适宜度下降且气象安全风险偏高。

近三十年泰安市 I 级极高适宜露营天数年度波动幅度大,长期变化分为低位震荡、持续上升、剧烈波动三个阶段,2019 年达到峰值;无极端天气时,湿度与日照构成的光温条件是影响露营体验的核心气象要素。

4.2. 行业与公众参考建议

文旅、气象行业管理单位:结合露营适宜度时空演变规律,在每年优质适宜窗口期加大泰山周边露营文旅宣传,打造季节性户外露营特色项目;冬季、汛期等高危时段及时对外发布露营气象安全预警,规范野外露营行为,降低安全事故发生概率。

露营基地运营主体:参考近三十年年度变化规律与 5 年滑动平均趋势,结合淡旺季气候特征动态调配工作人员、物资储备、安保力量,旺季提升配套服务,淡季合理压缩运营成本,实现营地精细化经营。

普通露营出行游客:优先选择 5 月、10 月黄金窗口期开展露营活动,避开夏季多雨、冬季低温大风时段;出行前提前查看精细化短期气象预报,规避不良天气,保障露营过程安全与游玩体验。

5. 讨论

和传统人居舒适指数、通用旅游气候评价体系相比,本文搭建的露营气象适宜度模型针对性更强,实际落地应用价值更高。模型跳出单一人体体感评价框架,同步兼顾露营野外驻留的安全标准与游玩舒适需求,纳入大风、暴雨、多日累积降水等安全临界指标;其中创新性引入连续三日累积降雨量参数,能够有效反映雨后营地土壤泥泞、地面承载力不足等现实问题,高度贴合露营场地长期停留的独有特征,可直接用于当地气象部门露营专项预报服务[6]。

本次研究仍存在一定完善空间:第一,研究仅依托城区单一气象站点观测数据,未区分泰山山地垂直气候梯度、山谷局地环流、地形降雨分异等微气候特点,山地露营与平原城区露营气象适宜度存在明显偏差;第二,模型仅依靠客观气象指标量化评价,未纳入游客年龄分层、冷热耐受程度、露营装备条件等主观个体差异要素。

后续相关研究可融合地形高程数据、多区域同步气象站点观测资料开展空间降尺度精细化评估,区分山地、平原两类露营区域单独评级;同时搭配线下游客问卷调查,引入主观体感修正系数,进一步提升模型评价精准度与区域适配性[7]。

参考文献

- [1] 陈洪儒,李瑶瑶,高珂歆.泰安市人居环境气候舒适度特征分析[J].气候变化研究快报,2024,13(4):966-972.
- [2] 李亚丽,张宏芳,潘留杰.陕西省旅游气候舒适度定量评估[J].生态学杂志,2017,36(4):1048-1055.
- [3] 中国气象局.QX/T 401-2021 旅游气候舒适度评价规范[S].北京:气象出版社,2021.
- [4] 王冠宇,张巍,隋东,等.沈阳露营气象指数研究分析[J].环境保护与循环经济,2025,45(4):73-77.
- [5] 吴兑.多种人体舒适指数预报计算方法对比分析[J].气象科技,2003(6):370-372.
- [6] 尚媛媛,夏晓玲,杜正静,等.黔中地区露营气象指数预报方法初探[J].中低纬山地气象,2019,43(4):51-54.
- [7] 冯凯宁.内蒙古地区旅游气象指数预报方法研究[J].绿色科技,2024(2):11-14.