

七星关区乡镇温度预报订正研究

王志红¹, 袁毅², 帅龙¹, 罗亚楠¹, 吴蔚然¹

¹贵州省七星关区气象局, 贵州 毕节

²贵州省大方县气象局, 贵州 毕节

收稿日期: 2024年2月14日; 录用日期: 2024年3月13日; 发布日期: 2024年3月19日

摘要

为提高七星关区乡镇最高最低温度的预报准确率, 科学指导本地精细化温度预报服务, 本文基于ArcGIS技术绘制了最高最低温度的时空分布图, 采用数理统计和最小二乘法, 建立了各乡镇各季节最高最低温度预报模型, 并进行了检验。结果表明: 七星关区最高最低温度的空间分布与海拔高度基本一致, 其中最低气温和海拔高度相关性较高; 最高温度的时空分布呈东北、西南部边缘高, 中部低, 季节性差异较明显, 最低温度的时空分布总体为东北向西南逐渐升高, 季节性差异不明显。预报模型检验结果显示, 七星关区乡镇最低温度预报优于最高温度预报, 不同季节的预报准确率为秋季 > 春季 > 冬季 > 夏季, 最高温度中春季预报效果最好, 最低温度中秋季预报效果最好。

关键词

数理统计, 最小二乘法, 乡镇温度预报

Study on Revision of Township Temperature Forecast in Qixingguan

Zhihong Wang¹, Yi Gun², Long Shuai¹, Yanan Luo¹, Weiran Wu¹

¹Qixingguan Meteorological Bureau of Guizhou Province, Bijie Guizhou

²Dafang Meteorological Bureau of Guizhou Province, Bijie Guizhou

Received: Feb. 14th, 2024; accepted: Mar. 13th, 2024; published: Mar. 19th, 2024

Abstract

In order to improve the prediction accuracy of the highest and lowest temperatures in Qixingguan, and provide scientific guidance for the local fine temperature prediction service, this paper draws the spatial and temporal distribution map of the highest and lowest temperatures based on ArcGIS technology. Mathematical statistics and least square method were used to establish and test season-

al prediction model for the highest and lowest temperatures of township in Qixingguan. The results showed that the spatial distribution of the highest and lowest temperatures in Qixingguan was basically consistent with the altitude, and the correlation between the lowest temperature and the altitude was high, the spatial and temporal distribution of the highest temperature was higher in the northeast and southwest and lower in the middle, the seasonal difference was obvious. The spatial and temporal distribution of the lowest temperature was gradually rising from northeast to southwest, and the seasonal difference was not obvious. The model test results showed that the lowest temperature forecast in Qixingguan was better than the highest temperature forecast. The accuracy of the forecast in different seasons was autumn > spring > winter > summer. The forecast effect of spring was the best in the highest temperature, and the forecast effect of autumn was the best in the lowest temperature.

Keywords

Mathematical Statistics, Least Square Method, Temperature Forecast of Township

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

近年来, 各行各业对天气的关注度和精细化预报服务需求日渐提高, 其中作为基本气象要素之一的温度备受关注, 直接影响着人们的衣食住行和各类生产活动, 为此, 人们对温度预报的准确率和精细化服务提出了更高的要求。

目前, 国内气象工作者对温度订正预报开展了大量的研究[1] [2] [3] [4], 为各地温度精细化预报提供了依据。当下对贵州省温度订正预报的研究主要基于 EC 2 m 温度的预报值展开。孔德璇等[5]基于 EC 2 m 温度对贵州省温度的研究通过采用类卡尔曼滤波的递减平均统计降尺度方法取得了显著效果; 夏阳等[6]在六盘水市的研究表明, EC 2 m 温度预报误差随时效的增加而减小, 且最高温度年均预报误差要明显高于最低温度; 赵杰等[7]基于 EC 2 m 温度对黔南州温度预报采用的四种方法的准确率都有不同程度的提升; 陈茜茜等[8]的研究表明, EC 2 m 温度预报产品在遵义市最低气温预报准确率远高于最高气温; 吕静等[9]指出, EC 2 m 温度预报在毕节市国家站的准确率在 60%~80%之间, 有一定的预报参考意义; 蔡军等[10]在毕节市威宁县的研究是基于 EC 2 m 温度, 利用最小二乘法构建了各乡镇温度预报模型, 预报准确率更高, 准确率的高低与相关系数正相关。其他省份如陈伟等[11]的研究表明, 最小二乘法对乡镇温度进行预报订正可用性较强; 吴永涛等[12]的研究表明, 最小二乘法对乡镇最低温度的预报效果高于最高温度。

毕节市七星关区乡镇最高最低温度预报长期依赖市级的指导预报和当地预报员的工作经验, 缺乏针对性和理论性。EC 2 m 温度对贵州对毕节温度预报参考价值大, 且在其他市县取得了较好的预报订正效果。因此, 本文将采用七星关区 2018 年 3 月~2023 年 2 月毕节国家基本站和 36 个乡镇代表站最高最低温度数据, 绘制各季节最高最低温度的时空分布图, 分析毕节国家基本站和乡镇代表站的线性关系, 建立各乡镇温度预报模型。再将 EC 2 m 温度预报的 2023 年 3 月~2023 年 8 月毕节国家基本站温度代入预报模型, 得出各乡镇最高最低温度预报值, 与同期实况值对比, 分析误差, 检验预报效果, 以期七星关区乡镇精细化温度预报提供理论依据, 为各类生产生活提供气象支撑。

七星关区地处中国西南部、贵州省西北部，北纬 27°03'~27°46'，东经 104°51'~105°55'之间(图 1)。西接云南，北毗四川，地形西高东低，地貌类型复杂，平均海拔 1511 m，属亚热带湿润季风气候。根据毕节国家基本站近五年监测显示，七星关区年平均温度为 13.9℃，平均日最高气温为 18.7℃，平均日最低气温为 10.8℃；最热月为 8 月，最冷月为 1 月。历史最高温度为 36.4℃ (2020 年 5 月 7 日)，历史最低温度为 -10.9℃ (1977 年 2 月 9 日)。

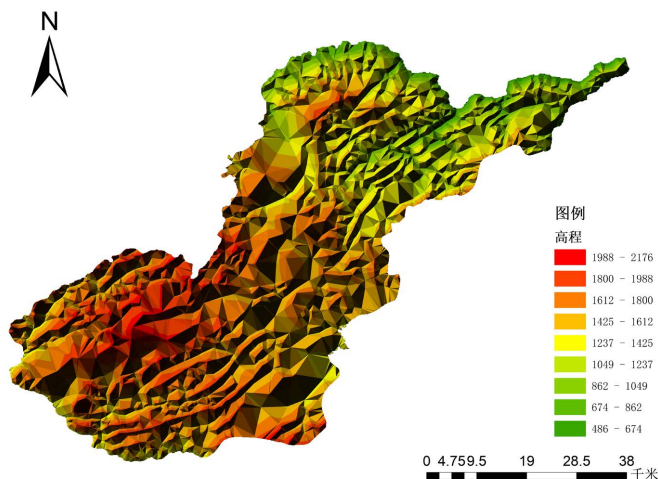


Figure 1. Topographic map of Qixingguan
图 1. 七星关区地形图

2. 资料与方法

2.1. 数据来源与处理

本文采用的数据为 2018 年 3 月~2023 年 2 月毕节国家基本站和 36 个乡镇代表站实况最高最低温度数据，2023 年 3 月~2023 年 8 月基于 EC 2 m 温度预报的毕节国家基本站最高最低温度数据和同期 36 个乡镇代表站实况最高最低温度数据；实况数据来源为贵州省气象数据查询与显示系统，预报数据来源为毕节市气象台基于 EC 2 m 温度预报产品。

对上述数据中的缺测数据、疑误数据进行处理，季节划分为春季 3~5 月、夏季 6~8 月、秋季 9~11 月、冬季 12~次年 2 月。

2.2. 研究方法

通过 ArcGIS 软件绘制七星关区最高最低温度的时空分布图，分析时空分布特征。通过数理统计和最小二乘法拟合各乡镇温度预报模型。最小二乘法是常用的一种数学优化技术，在参数估计、预报预测等研究领域应用广泛。基本原理为：根据对某事件的大量观测，已知两变量为线性关系，设方程为 $y = a_0 + a_1x$ ，其中 y 为乡镇温度实况值， x 为毕节国家基本站实况值，对其进行 n 次观测，获得 n 组数据，若将 n 组数据代入方程，则 a 、 b 无确定解，最小二乘法提供的基本思想就是寻找最接近这 n 个观测点的直线方程，以求得 a_0 、 a_1 ，从而确定拟合方程。

$$\frac{\partial \varphi}{\partial a_0} = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - a_0 - a_1 x_i) = 0$$

$$\frac{\partial \varphi}{\partial a_1} = -2 x_i \sum_{i=1}^n (y_i - a_0 - a_1 x_i) = 0$$

利用 2023 年 3 月~2023 年 8 月乡镇实况最高最低温度数据和依据预报模型得到的预报值,计算误差,按照误差范围在 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 、 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 进行准确性检验。

3. 分析结果

3.1. 温度时空分布

由图 2 可看出,七星关区各乡镇间平均最高温度的温差范围在 $4.7\sim 6.0^{\circ}\text{C}$ 之间,时空分布存在一定的季节性差异。高值区主要集中在东北和西南边缘乡镇,除夏季外,春秋冬低值区分布基本一致,都在中部以北乡镇。夏季低值区域在中部以南,分析是由于夏季该区域属强对流天气频发区和主要行进路径,且七星关区强对流天气多发生在午后,与最高温度出现时间高度重合,所以导致中部以南最高温度较其他乡镇偏低,从而时空分布发生改变。

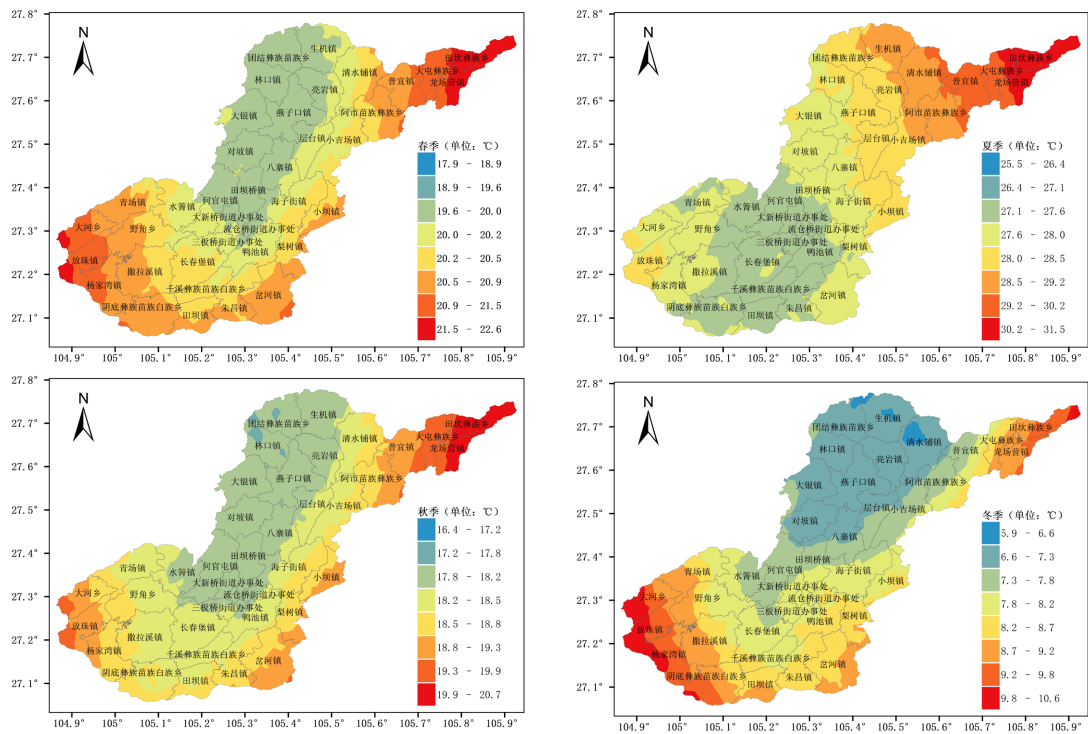
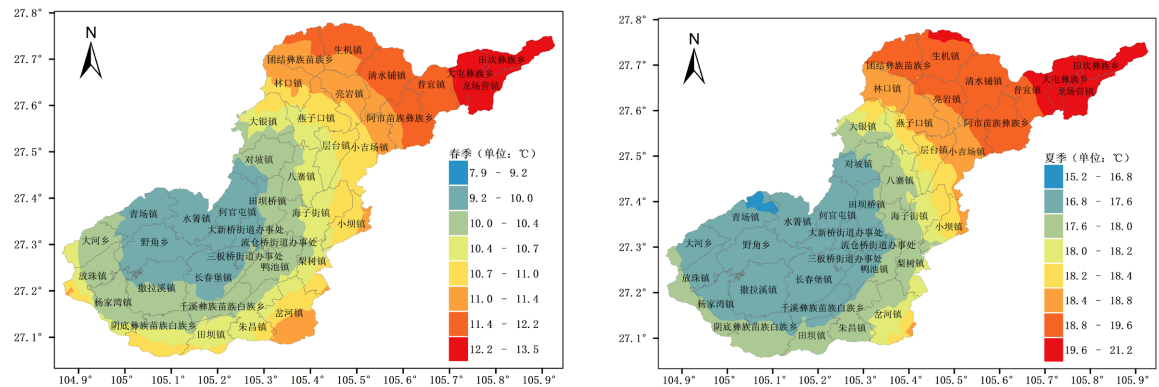


Figure 2. Spatial and temporal distribution of Qixingguan's highest temperatures (unit: $^{\circ}\text{C}$)

图 2. 七星关区最高温度时空分布(单位: $^{\circ}\text{C}$)



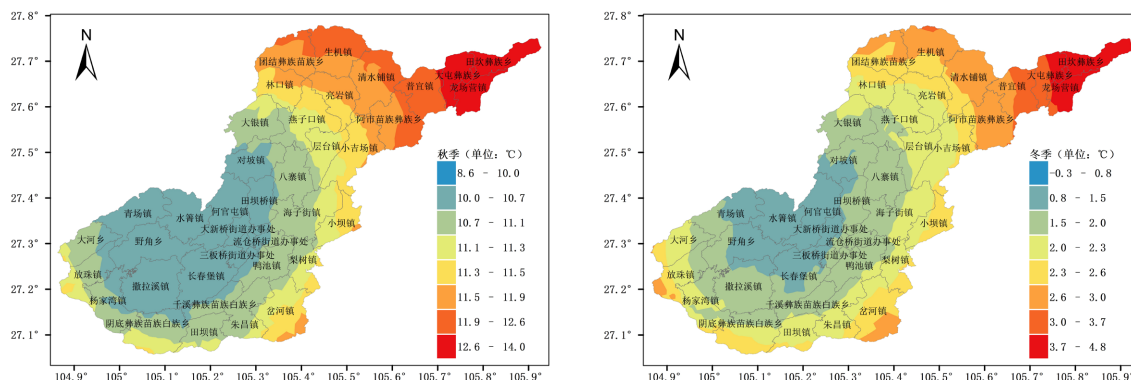


Figure 3. Spatial and temporal distribution of Qixingguan's lowest temperatures (unit: °C)
图 3. 七星关区最低温度时空分布(单位: °C)

由图 3 可看出,七星关区各乡镇间平均最低温度的温差范围在 5.1~6.0°C 之间,较平均最高温度偏小,时空分布总体层次分明,基本一致,季节性差异不明显。高值区集中在东北边缘乡镇,低值区主要集中在中部以西、以南。随着平均最低温度的升高,大值区逐步由东北向西南方向扩大。

3.2. 建立各乡镇温度预报模型

利用 2018 年 3 月~2023 年 2 月毕节国家基本站和 36 个乡镇代表站实况最高最低温度数据,通过最小二乘法逐一计算出各季节各乡镇最高最低温度预报模型(表 1、表 2)和相关系数。

Table 1. Highest temperature forecast model for each season of each town

表 1. 各季节各乡镇最高温度预报模型

乡镇名	春	夏	秋	冬
阿市乡	$y = 1.0085x + 0.5086$	$y = 1.1974x - 3.3875$	$y = 1.0586x - 0.2676$	$y = 0.7624x + 1.6895$
层台镇	$y = 1.0250x + 0.4931$	$y = 1.1796x - 2.8915$	$y = 1.0588x - 0.3004$	$y = 0.7705x + 1.6054$
大河乡	$y = 1.0586x - 1.5323$	$y = 1.0761x - 2.9468$	$y = 1.0143x - 0.9297$	$y = 1.0998x - 0.7909$
大屯乡	$y = 0.9943x + 2.4468$	$y = 1.1995x - 1.6152$	$y = 1.0454x + 1.1462$	$y = 0.7152x + 3.1179$
大银镇	$y = 1.0060x - 0.7697$	$y = 1.1097x - 2.7068$	$y = 1.0071x - 1.0414$	$y = 0.7194x + 0.5246$
对坡镇	$y = 1.0557x - 0.9755$	$y = 1.1932x - 4.4346$	$y = 1.0460x - 1.0704$	$y = 0.8597x + 0.0085$
放珠镇	$y = 1.0236x - 0.0307$	$y = 1.0468x - 1.4053$	$y = 0.9929x + 0.1288$	$y = 1.0497x + 0.2249$
岔河镇	$y = 1.0142x - 0.5038$	$y = 0.9965x - 0.4196$	$y = 0.9894x - 0.0534$	$y = 1.0045x - 0.1749$
海子街镇	$y = 1.0527x - 0.4314$	$y = 1.0835x - 1.3299$	$y = 1.0399x - 0.3079$	$y = 1.0109x + 0.0145$
长春镇	$y = 1.0287x - 1.8150$	$y = 1.0099x - 1.7491$	$y = 0.9952x - 1.2849$	$y = 1.0483x - 1.4574$
何官屯镇	$y = 1.0322x - 1.7208$	$y = 1.0794x - 3.0114$	$y = 1.0329x - 1.5742$	$y = 1.0099x - 1.1998$
八寨镇	$y = 0.9930x - 2.2062$	$y = 1.0062x - 2.1467$	$y = 0.9889x - 1.9716$	$y = 0.9426x - 2.0257$
梨树镇	$y = 1.0206x + 0.1387$	$y = 1.0773x - 1.3147$	$y = 1.0454x - 0.1866$	$y = 1.0261x + 0.2730$
亮岩镇	$y = 0.9640x - 0.6642$	$y = 1.0404x - 1.5827$	$y = 0.9755x - 0.8412$	$y = 0.7359x + 0.2001$
林口镇	$y = 1.0092x - 0.3080$	$y = 1.0907x - 1.8242$	$y = 1.0099x - 0.6901$	$y = 0.7189x + 0.9956$
龙场营	$y = 0.9058x + 3.5136$	$y = 1.0529x + 1.5451$	$y = 0.9877x + 1.9682$	$y = 0.6284x + 3.7625$
普宜镇	$y = 0.9563x + 1.0103$	$y = 1.1284x - 2.2948$	$y = 1.0076x - 0.2123$	$y = 0.6909x + 1.5538$

续表

千溪乡	$y = 1.0240x - 1.2762$	$y = 1.0345x - 1.9157$	$y = 0.9990x - 1.0166$	$y = 1.0140x - 1.0728$
青场镇	$y = 1.0512x + 0.7100$	$y = 1.1117x - 1.3804$	$y = 1.0120x + 1.2666$	$y = 1.0501x + 1.3719$
清水浦镇	$y = 0.9387x - 0.1090$	$y = 1.0773x - 2.0597$	$y = 0.9817x - 1.1906$	$y = 0.6604x + 0.3394$
撒拉溪镇	$y = 1.0481x + 0.5729$	$y = 1.0381x + 0.1175$	$y = 1.0027x + 1.0650$	$y = 1.0803x + 0.9547$
碧海街道	$y = 1.0191x - 0.5682$	$y = 1.0571x - 1.5801$	$y = 1.0192x - 0.5778$	$y = 0.9812x - 0.3377$
生机镇	$y = 0.9471x + 0.2201$	$y = 1.0794x - 1.8057$	$y = 0.9655x - 0.3107$	$y = 0.6593x + 1.1009$
水箐镇	$y = 1.1198x - 2.6229$	$y = 1.1866x - 4.5423$	$y = 1.0822x - 2.2144$	$y = 1.0641x - 1.5029$
田坝镇	$y = 0.9816x + 1.3604$	$y = 0.9858x + 1.0703$	$y = 0.9729x + 1.5055$	$y = 0.9856x + 1.4080$
田坝桥镇	$y = 1.0375x - 0.1399$	$y = 1.0801x - 1.2015$	$y = 1.0316x - 0.1210$	$y = 1.0178x + 0.0522$
田坎乡	$y = 0.9348x + 3.5062$	$y = 1.1236x + 0.2285$	$y = 1.0035x + 2.0551$	$y = 0.6607x + 3.9725$
团结乡	$y = 1.0311x + 0.6078$	$y = 1.1551x - 2.0487$	$y = 1.0118x + 0.5678$	$y = 0.6960x + 2.2467$
小坝镇	$y = 1.0102x + 0.0253$	$y = 1.0433x - 1.1159$	$y = 1.0148x - 0.2522$	$y = 0.9744x + 0.1858$
小吉场镇	$y = 0.9577x + 0.7048$	$y = 1.1541x - 3.1580$	$y = 0.9978x - 0.1871$	$y = 0.6788x + 1.4911$
鸭池镇	$y = 1.1140x - 0.8089$	$y = 1.0908x - 1.6679$	$y = 1.0663x - 0.5574$	$y = 1.0780x - 0.1981$
燕子口镇	$y = 0.9772x + 0.3362$	$y = 1.0904x - 1.6519$	$y = 1.0065x - 0.2000$	$y = 0.7271x + 1.2840$
杨家湾镇	$y = 1.0904x + 0.5229$	$y = 1.0750x - 0.4845$	$y = 1.0268x + 0.9789$	$y = 1.1281x + 1.1516$
野角乡	$y = 1.0758x - 3.2111$	$y = 1.1097x - 5.1663$	$y = 1.0208x - 2.2166$	$y = 1.1174x - 2.1015$
阴底乡	$y = 1.0721x - 1.4383$	$y = 1.1441x - 3.8784$	$y = 1.0336x - 1.0459$	$y = 1.0672x - 0.8011$
朱昌镇	$y = 1.0463x - 1.4686$	$y = 1.0841x - 2.7458$	$y = 1.0563x - 1.5790$	$y = 1.0453x - 0.9315$

Table 2. Lowest temperature forecast model for each season of each town
表 2. 各季节各乡镇最低温度预报模型

乡镇名	春	夏	秋	冬
阿市乡	$y = 0.9758x + 0.2626$	$y = 0.9704x + 0.4821$	$y = 0.9957x - 0.0789$	$y = 0.9626x + 0.2060$
层台镇	$y = 1.0112x + 0.6716$	$y = 1.0241x + 0.6455$	$y = 1.0187x + 0.4281$	$y = 0.9857x + 0.5398$
大河乡	$y = 0.9865x - 0.9760$	$y = 0.9692x - 0.7313$	$y = 0.9957x - 1.1907$	$y = 0.9733x - 0.9448$
大屯乡	$y = 0.9989x + 1.5441$	$y = 0.8984x + 3.6547$	$y = 1.0077x + 1.3929$	$y = 0.9550x + 1.4640$
大银镇	$y = 0.9783x - 0.3917$	$y = 0.9513x + 0.4753$	$y = 1.0050x - 0.7852$	$y = 0.9625x - 0.6559$
对坡镇	$y = 0.9777x + 0.2939$	$y = 0.9961x + 0.1668$	$y = 1.0164x - 0.4392$	$y = 0.9912x - 0.4030$
放珠镇	$y = 0.9350x + 0.2134$	$y = 0.9066x + 0.6974$	$y = 0.9706x - 0.4638$	$y = 0.9874x - 0.4390$
岔河镇	$y = 0.9813x - 0.0824$	$y = 0.9604x + 0.2907$	$y = 0.9908x - 0.3700$	$y = 0.9957x - 0.3489$
海子街镇	$y = 0.9908x - 0.8040$	$y = 0.9280x + 0.2111$	$y = 0.9975x - 0.6850$	$y = 1.0221x - 0.5461$
长春镇	$y = 0.9878x - 1.3361$	$y = 1.0169x - 1.9308$	$y = 1.0153x - 1.7504$	$y = 1.0033x - 1.4393$
何官屯镇	$y = 0.9790x - 1.2941$	$y = 0.9928x - 1.5727$	$y = 1.0133x - 1.5429$	$y = 0.9868x - 1.1920$
八寨镇	$y = 0.9745x - 1.4947$	$y = 1.0007x - 1.5675$	$y = 1.0086x - 1.9561$	$y = 0.9679x - 1.9362$
梨树镇	$y = 0.9950x + 0.0261$	$y = 0.9559x + 0.7953$	$y = 1.0045x - 0.0742$	$y = 1.0243x - 0.0112$
亮岩镇	$y = 0.9975x - 0.2368$	$y = 0.9231x + 1.5801$	$y = 1.0038x - 0.3340$	$y = 0.9677x - 0.4641$

续表

林口镇	$y = 0.9804x + 0.2724$	$y = 0.9766x + 0.7628$	$y = 1.0041x - 0.1773$	$y = 0.9582x - 0.1485$
龙场营	$y = 1.0016x + 1.9483$	$y = 0.9255x + 3.5221$	$y = 1.0020x + 2.0331$	$y = 0.9616x + 1.9865$
普宜镇	$y = 0.9629x + 1.2222$	$y = 0.9379x + 2.2898$	$y = 1.0179x + 0.4045$	$y = 0.9770x + 0.3772$
千溪乡	$y = 1.0111x - 1.0765$	$y = 1.0564x - 2.1531$	$y = 1.0143x - 1.2350$	$y = 0.9955x - 1.0244$
青场镇	$y = 0.9622x + 0.7398$	$y = 0.8908x + 1.8797$	$y = 0.9481x + 0.8893$	$y = 0.9807x + 0.7965$
清水浦镇	$y = 0.9599x + 0.6107$	$y = 0.8340x + 3.8486$	$y = 0.9898x + 0.0141$	$y = 0.9588x - 0.4748$
撒拉溪镇	$y = 0.9561x + 0.4379$	$y = 0.9392x + 0.9990$	$y = 0.9219x + 0.8044$	$y = 0.9942x + 0.2189$
碧海街道	$y = 0.9850x - 0.5916$	$y = 0.9737x - 0.3618$	$y = 0.9921x - 0.6512$	$y = 1.0059x - 0.6224$
生机镇	$y = 0.9770x + 0.7498$	$y = 0.9082x + 2.6090$	$y = 0.9655x - 0.3107$	$y = 0.9446x + 0.2546$
水管镇	$y = 1.0143x - 2.2144$	$y = 1.0209x - 2.2897$	$y = 1.0175x - 2.2896$	$y = 1.0369x - 2.1861$
田坝镇	$y = 0.9701x + 0.8538$	$y = 0.9282x + 1.4173$	$y = 0.9729x + 1.5055$	$y = 0.9813x + 0.8078$
田坝桥镇	$y = 1.0164x - 0.5046$	$y = 1.0385x - 1.0194$	$y = 1.0205x - 0.5556$	$y = 1.0163x - 0.2154$
田坎乡	$y = 0.9832x + 2.7140$	$y = 0.9400x + 3.9523$	$y = 0.9911x + 2.6046$	$y = 0.9526x + 2.4911$
团结乡	$y = 0.9870x + 0.6734$	$y = 0.9733x + 1.0896$	$y = 1.0018x + 0.6392$	$y = 0.9334x + 0.7658$
小坝镇	$y = 0.9922x - 0.0361$	$y = 1.0509x - 1.0051$	$y = 1.0284x - 0.5630$	$y = 0.9917x - 0.2473$
小吉场镇	$y = 0.9896x + 0.9175$	$y = 1.0236x + 0.8998$	$y = 1.0085x + 0.5517$	$y = 0.9741x + 0.4303$
鸭池镇	$y = 0.9654x - 0.5098$	$y = 0.8619x + 1.2621$	$y = 0.9760x - 0.4577$	$y = 0.9690x - 0.3473$
燕子口镇	$y = 0.9870x + 0.1802$	$y = 0.8439x + 2.9161$	$y = 0.9873x + 0.2281$	$y = 0.9598x + 0.2264$
杨家湾镇	$y = 0.9602x + 0.4888$	$y = 0.9685x + 0.2133$	$y = 0.9744x + 0.3135$	$y = 0.9918x + 0.4397$
野角乡	$y = 0.9659x - 2.6505$	$y = 1.0668x - 4.3840$	$y = 1.0007x - 2.8813$	$y = 0.9796x - 2.6250$
阴底乡	$y = 0.9878x - 0.8610$	$y = 0.9664x - 0.5529$	$y = 0.9945x - 1.0043$	$y = 1.0091x - 0.9025$
朱昌镇	$y = 1.0027x - 0.7009$	$y = 0.9074x + 0.8414$	$y = 1.0012x - 0.9912$	$y = 0.9814x - 0.8632$

根据各预报模型的相关系数,按极强相关、强相关、中等相关三个等级统计占比情况(表 3)。毕节国家基本站和 36 个乡镇代表站具有不同程度的正相关性,最高温度的相关系数在 0.84~0.99 之间,最低温度的相关系数在 0.69~0.99 之间,整体相关性较好。从温度方面看,春秋冬三季极强相关占比最低温度 > 最高温度,夏季最低温度极强相关仅为 5.6%;从季节方面看,最高最低温度中极强相关占比春秋 > 夏冬,最高温度中春季相关性最好,最低温度中秋季相关性最好。相关性越高,预报效果越好,结果表明,预报效果最低温度 > 最高温度,春秋 > 夏冬;最高温度中春季预报效果最好,最低温度中秋季预报效果最好;总体来看,预报效果为秋季 > 春季 > 冬季 > 夏季,与本地实际和预报员经验基本一致。

Table 3. Correlation coefficient “r” grade proportion of the forecast model for each season of each town

表 3. 各季节各乡镇预报模型的相关系数 r 分级占比

相关系数	最高温度				最低温度			
	春	夏	秋	冬	春	夏	秋	冬
极强相关 $0.95 < r < 1.00$	72.2%	41.7%	66.7%	44.4%	80.6%	5.6%	97.2%	61.1%
强相关 $0.90 < r \leq 0.95$	27.8%	52.8%	33.3%	16.7%	16.7%	69.4%	2.8%	38.9%
中等相关 $0.60 \leq r \leq 0.90$	0.0%	5.5%	0.0%	38.9%	2.8%	25.0%	0.0%	0.0%

3.3. 预报效果检验

选择 2023 年 3 月~5 月春季最低温度、6 月~8 月夏季最高温度实况数据, 逐一对 36 个乡镇温度预报进行检验。根据表 4 和图 4, 春季最低温度的平均误差、最大误差、最小误差的最大值分别是鸭池镇 1.6℃、青场镇 6.7℃、梨树镇 0.1℃; 夏季最高温度中平均误差、最大误差、最小误差的最大值分别是阿市乡 2.4℃、团结乡 11.6℃、小吉场镇 0.1℃, 以上乡镇的预报效果相对较差。春季最低温度中平均误差、最大误差、最小误差的最小值分别是岔河镇 1.2℃、阴底乡 3.8℃、阿市乡 0.1℃; 夏季最低温度中平均误差、最大误差、最小误差的最小值分别是岔河镇 1.3℃、长春镇 5.3℃、田坝桥镇 0.1℃, 以上乡镇的预报效果相对较好。

总的来看, 春季各乡镇最低温度的总体平均误差、平均最大误差、平均最小误差依次为 1.3℃、4.9℃、0.024℃, 夏季各乡镇最低温度的总体平均误差、平均最大误差、平均最小误差依次为 1.7℃、8.6℃、0.027℃, 春季各项误差值都小于夏季, 说明春季预报效果好于夏季(为了便于比较大小, 部分数据保留 3 位小数)。

Table 4. Temperature forecast error statistics of each town in spring and summer

表 4. 春夏两季各乡镇温度预报误差统计

乡镇名	春(最低温度)			夏(最高温度)		
	平均误差	最大误差	最小误差	平均误差	最大误差	最小误差
阿市乡	1.349	4.493	0.000	2.368	11.337	0.034
层台镇	1.360	4.794	0.016	1.850	11.417	0.096
大河乡	1.464	5.638	0.035	2.027	6.860	0.004
大屯乡	1.453	4.566	0.036	2.071	11.070	0.029
大银镇	1.285	4.239	0.044	1.935	11.375	0.016
对坡镇	1.261	4.874	0.038	1.937	10.868	0.005
放珠镇	1.189	5.367	0.003	1.488	5.399	0.024
岔河镇	1.161	5.207	0.025	1.295	6.775	0.018
海子街镇	1.514	5.114	0.013	1.572	7.692	0.025
长春镇	1.289	4.983	0.021	1.407	5.348	0.028
何官屯镇	1.407	5.246	0.049	1.902	8.691	0.029
八寨镇	1.265	4.301	0.025	1.569	9.433	0.033
梨树镇	1.361	5.534	0.056	1.684	5.804	0.004
亮岩镇	1.276	4.867	0.038	1.775	9.489	0.032
林口镇	1.330	4.863	0.016	1.958	11.106	0.012
龙场镇	1.489	5.626	0.026	1.834	10.079	0.027
普宜镇	1.388	4.471	0.023	1.726	10.129	0.013
千溪乡	1.162	4.943	0.023	1.616	6.219	0.019
青场镇	1.382	6.714	0.037	1.651	8.159	0.023
清水浦镇	1.420	4.731	0.010	1.742	10.382	0.009
撒拉溪镇	1.267	4.389	0.043	1.433	5.361	0.006
碧海街道	1.297	5.272	0.002	1.445	7.676	0.024
生机镇	1.388	4.626	0.035	1.942	10.097	0.076

续表

水箐镇	1.325	5.043	0.014	1.532	7.869	0.037
田坝镇	1.331	4.605	0.006	1.428	6.244	0.029
田坝桥镇	1.353	4.708	0.027	1.478	9.921	0.002
田坎乡	1.476	5.355	0.020	1.884	10.113	0.011
团结乡	1.335	5.335	0.009	2.163	11.649	0.004
小坝镇	1.250	4.930	0.009	1.376	6.740	0.020
小吉场镇	1.317	4.449	0.030	1.940	10.211	0.127
鸭池镇	1.570	4.725	0.025	1.610	7.956	0.016
燕子口镇	1.370	4.876	0.050	1.841	10.370	0.018
杨家湾镇	1.308	4.489	0.009	1.520	6.966	0.010
野角乡	1.174	5.160	0.004	1.685	6.643	0.053
阴底乡	1.162	3.846	0.029	1.449	6.545	0.012
朱昌镇	1.224	4.869	0.021	1.529	6.577	0.039

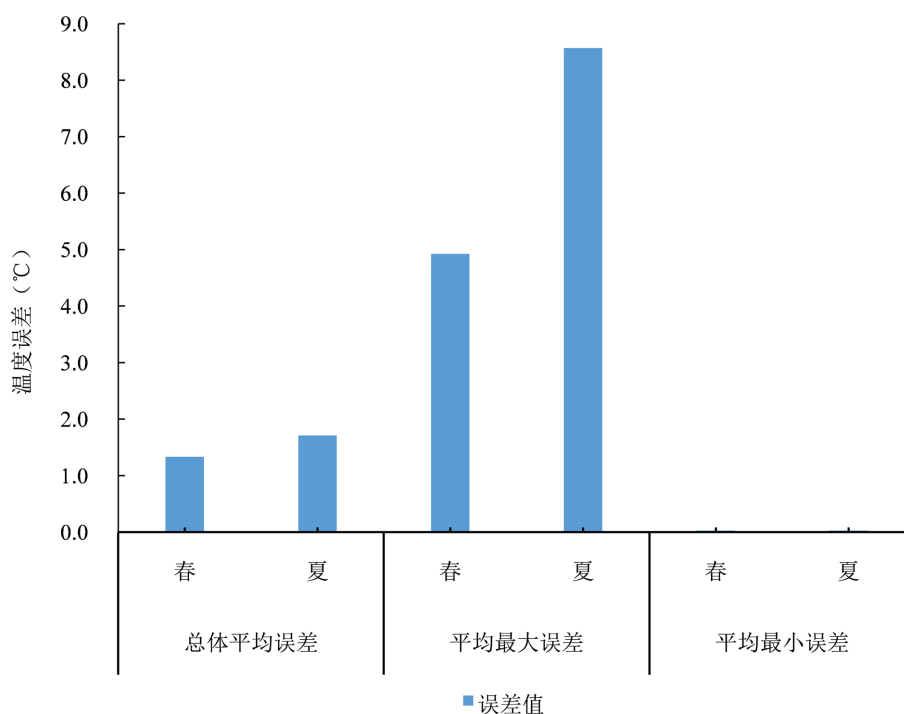


Figure 4. Total error statistics of temperature forecast of each town in spring and summer (unit: °C)

图 4. 春夏两季各乡镇温度预报总体误差统计(单位: °C)

按照误差在 $\pm 2.0^{\circ}\text{C}$ 、 $\pm 1.0^{\circ}\text{C}$ 、 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 范围内划分为准确率较高、高、极高三个等级，计算各自占比。根据表 5 和图 5，从各级准确率的平均占比、最大占比、最小占比来看，准确率春季 > 夏季，符合预报效果春季 > 夏季的结论；从“准确率较高”来看，春季最大占比为野角乡 84.8% (相关系数 $r = 0.96$)，最小占比为清水铺镇 69.6% (相关系数 $r = 0.90$)，夏季最大占比为岔河镇 79.3% (相关系数 $r = 0.97$)，最小占比为阿市乡 51.1% (相关系数 $r = 0.92$)，说明相关系数越高，预报准确率越高，符合相关系数 r 与预报

效果的正相关性。

Table 5. Accuracy grade proportion of temperature forecast of each town in spring and summer
表 5. 春夏两季各乡镇温度预报准确率分级占比

占比	春			夏		
	较高	高	极高	较高	高	极高
平均占比	77.1%	45.4%	25.1%	68.9%	40.1%	21.5%
最大占比	84.8%	56.5%	32.6%	79.3%	48.9%	31.5%
最小占比	69.6%	32.6%	15.2%	51.1%	25.0%	13.0%

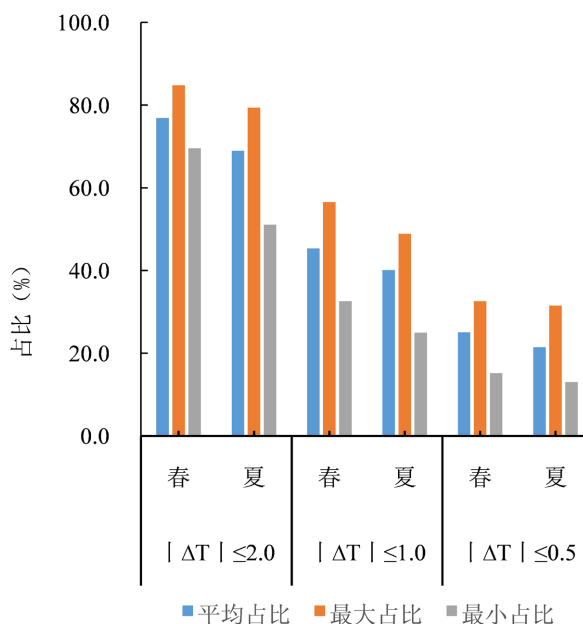


Figure 5. Proportion distribution of forecast error range of each town in spring and summer
图 5. 春夏两季各乡镇预报误差值范围占比分布

4. 结论

根据上述研究，可以得出：

- 1) 七星关区最高最低温度的空间分布和地形基本一致，其中最低温度的分布和地形高度相关，海拔高度是最低温度分布的主要影响因素之一。
- 2) 七星关区最高温度高值区主要在东北和西南边缘乡镇，季节性差异较明显。除夏季外，中部以北最高温度都相对较低，夏季的相对较低区域出现在中部以南，分析是受强对流天气影响。最低温度低值区主要在中部以西、以南，总体一致，层次分明，季节性差异不明显，最低温度的时空分布总体为东北向西南逐渐升高。
- 3) 各乡镇各季节预报模型的相关系数 r 在 0.69~0.99 之间，具有正相关性。相关性的大小为：最低温度 > 最高温度，秋季 > 春季 > 冬季 > 夏季，最高温度中春季相关性最好，最低温度中秋季相关性最好。
- 4) 预报模型对各乡镇各季节最高最低温度有着不同的预报效果，相关性系数越高，预报误差值越小，

准确率越高, 预报效果越好。七星关区预报效果为最低温度 > 最高温度, 秋季 > 春季 > 冬季 > 夏季, 最高温度中春季预报效果最好, 最低温度中秋季预报效果最好。

本文中, 以毕节国家基本站最高最低温度作为各乡镇最高最低温度的预报因子, 高度依赖 EC 2 m 温度预报值, 其准确率将直接影响到各乡镇, 有待进一步补充研究; 关于强对流天气是否是导致夏季最高气温落区发生变化和模型相关性较低的原因有待进一步分析; 根据工作经验, 冬季是七星关区气象站故障率最高的季节, 因此有关数据与分析不能完全代表冬季真实情况。

参考文献

- [1] 薛谔彬, 陈娴, 张瑛, 等. ECMWF 高分辨率模式 2 m 温度预报误差订正方法研究[J]. 气象, 2019, 45(6): 831-842.
- [2] 蔡凝昊, 俞剑蔚. 基于数值模式误差分析的气温预报方法[J]. 大气科学学报, 2019, 42(6): 864-873.
- [3] 邱学兴, 王东勇, 朱红芳. 乡镇精细化最高最低气温预报方法研究[J]. 气象与环境学报, 2013, 29(3): 92-96.
- [4] 万明, 徐星生, 陈云辉, 等. ECMWF 细网格 2 m 温度在江西省的预报能力检验[J]. 气象与减灾研究, 2015, 38(4): 67-72.
- [5] 孔德璇, 杨春艳, 朱文达, 等. 贵州省本地化温度客观订正算法探究[J]. 中低纬山地气象, 2021, 45(3): 33-39.
- [6] 夏阳, 孙翔, 胡萍, 等. ECWFM 高分辨率模式 2 m 温度预报在六盘水市的误差分析及订正指标[J]. 中低纬山地气象, 2022, 46(4): 75-82.
- [7] 赵杰, 陈波, 莫乙东, 等. EC 细网格对黔南州温度预报的订正研究[J]. 中低纬山地气象, 2017, 41(4): 79-85.
- [8] 陈茜茜, 张云秋, 唐海, 等. 欧洲中心细网格 2 m 温度产品在遵义市的检验及应用[J]. 中低纬山地气象, 2022, 46(4): 35-38.
- [9] 吕静, 姚浪, 聂祥, 等. 冬季 EC 2 m 温度预报在贵州毕节地区的检验分析[J]. 中低纬山地气象, 2020, 44(2): 81-85.
- [10] 蔡军, 杨承梅, 倪妮, 等. 威宁县乡镇最高最低气温分析与预报方法探讨[J]. 中低纬山地气象, 2019, 43(5): 29-35.
- [11] 陈伟, 米孝尉, 杨胜利, 等. 最小二乘法对乡镇预报温度订正研究[J]. 现代农业科技, 2015(22): 335-336.
- [12] 吴永涛, 赵雅琪, 徐延欣. 基于最小二乘法的乡镇温度预报订正研究[J]. 甘肃科技, 2022, 38(14): 50-52.