



移动扫码阅读

石雨卉.厦门市气温及热量资源变化特征分析[J].能源环境保护,2022,36(6):166-172.

SHI Yuhui. Analysis on variation characteristics of temperature and heat resource in Xiamen City[J]. Energy Environmental Protection, 2022, 36(6):166-172.

厦门市气温及热量资源变化特征分析

石雨卉

(中国民用航空厦门空中交通管理站,福建 厦门 361011)

摘要:基于厦门市国家级气象站1973—2021年资料,利用气候倾向率、累积距平法、Mann-Kendall突变检验等方法分析了气温及热量资源的变化特征。结果表明:厦门市年平均气温以 $0.478\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 的速率显著上升,且春季气温升高最为明显;平均最高气温增加速率($0.515\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$)明显高于平均最低气温的上升速率($0.285\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$);活动积温的上升趋势也十分明显,年活动积温、 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $\geq 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $\geq 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的活动积温增加速率分别为 175.57 、 246.07 、 229.72 、 $268.92\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$;活动积温由冷到暖的突变点发生在1997—2000年;热量资源可有效提高喜温作物的产量与品质,但也可能导致病虫害等气象灾害并加剧城市热岛效应。

关键词:厦门市;平均气温;热量资源变化;活动积温

中图分类号:X16

文献标识码:A

文章编号:1006-8759(2022)06-0166-07

Analysis on variation characteristics of temperature and heat resource in Xiamen City

SHI Yuhui

(Xiamen Air Traffic Control Station, Civil Aviation Administration of China, Fujian 361011, China)

Abstract: Based on the data of Xiamen national meteorological station from, 1973 to 2021, the variation characteristics of temperature and heat resources were analyzed by climate trend rate, cumulative anomaly method and Mann-Kendall mutation test. The results showed that the annual average temperature in Xiamen rose significantly at an average rate of $0.478\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$, and the temperature rise was most obvious in spring. The increase rate of the average maximum temperature ($0.515\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$) was significantly higher than that of the average minimum temperature ($0.285\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$). The upward trend of the active accumulated temperature was also observed. The increase rates of annual active accumulated temperature, $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\geq 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $\geq 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ accumulated temperatures were 175.57 , 246.07 , 229.72 and $268.92\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$, respectively. The abrupt change of active accumulated temperature from cold to warm occurred during 1997—2000. Heat resources can effectively improve the yield and quality of thermophilic crops, but may bring about meteorological disasters such as pests and diseases and aggravate the urban heat island effect.

Key Words: Xiamen City; Average temperature; Change of heat resource; Active accumulated temperature

0 引言

根据联合国政府间气候变化专门委员会(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)的

第五次评估,在过去四十多年间全球地表温度明显升高了 $0.85\text{ }^{\circ}\text{C}$,并且在本世纪末全球气候的变

化将很有可能使得地表温度较目前上升 1.1~6.4℃,此外,特别要指出的是中国变暖的速率要明显高于全球平均值^[1-2]。温度的上升导致热量资源随之变化,从而对与之相关的工业农业等生产活动造成影响。而对于农业来说,热量资源有着举足轻重的影响,它决定了当地农作物的品种、产量及成长发育^[3]。因此,分析并了解某地热量资源的变化特征,能够对当地农业生产活动的安排和规划提供指导。

目前,国内有许多科研工作者对气候变暖引发的当地热量资源变化展开了相应研究。刘德祥等^[4]对我国西北地区的热量资源及气候变暖影响展开了深入研究,提出了西北地区气候变暖主要由于最低气温的升高,该地区气候变暖对农业的弊端大于益处;张立波等^[5]对华东地区的热量资源过去 50 年来的变化特征进行了分析,表明华东地区气候一直在持续升温中,且各项热量资源与气温呈显著正相关关系;黄奇晓等^[6]研究了福建气候变化特征及预测未来趋势,表明福建年平均气温上升趋势显著,与 IPCC 的结论一致。

厦门市位于 24°23'N~24°54'N、117°53'E~118°26'E,地处福建省东南沿海,属于典型的亚热带海洋性季风气候,温和多雨,冬无酷寒,夏无酷暑。同时,农业作为厦门经济的第一产业,其主要农作物为龙眼、芒果、枇杷、花生等喜温作物,截止 2021 年,厦门市全年农作物总播种面积 1 686 951.3 km²,农业产值高达 29.25 亿元。但目前有关厦门市热量资源的研究相对较少,因此本文根据厦门市国家级气象站的观测资料,对过去 49 a 的热量资源变化进行分析研究,为趋利避害、合理利用气候资源和农作物品种布局以及城市生态环境的改善提供一定的科学参考依据。

1 资料与方法

1.1 资料来源

本文所用数据来自厦门国家级气象站观测资料:1973—2021 年逐日平均气温、日最高气温和日最低气温。所用数据资料从美国 NOAA 气象数据网^[7]下载。对于活动积温,运用 5 日滑动平均法^[8]分别求取 0、5、10、15、20℃ 初日与终日的活动积温,作为分析厦门市热量资源变化特征的要素。此外,本文对季节进行了划分:春季(3~5 月)、夏季(6~8 月)、秋季(9~11 月)、冬季(12 月~次年 2 月)。

1.2 研究方法

1.2.1 气候倾向率

通过建立方程,详见式(1)。

$$y(t) = a + bt \quad (1)$$

式(1)中: y 为温度,℃; t 为时间序列, a 、 b 为经验系数,可以通过最小二乘法求得; b 为趋势变化率,代表了气候变量的趋势倾向,若 b 为正(负)时则表示温度随时间变化呈上升(下降)趋势。根据公式(1)可以确定温度 y 与时间 t 的定量关系,且气候倾向率为 $10 \times b$ 。

1.2.2 累积距平法

设 y 为样本平均值, y_i 为随机变量, n 为采样样本, t 为某时刻,根据公式(2)可以得到累积距平曲线。进行拟合分析后,判断其连续变化与长期变化趋势,初步确定温度年际变化趋势及其未来走向。

$$y(t) = \sum_{i=1}^t (y_i - \bar{y}) \quad (t = 1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

1.2.3 Mann-Kendall 突变检验法

Mann-Kendall 法是一种用途广泛的非参数统计检验方法,主要用于气候和径流趋势突变分析。使用此方法时样本无需遵从一定的分布,同时避免了部分异常值的影响,且分析结果精度极高,算法简便,可以明确气候序列的突变时间。具体操作方法见参考文献^[8]。

2 结果与分析

2.1 平均气温的时间变化特征

2.1.1 年平均气温变化

根据厦门市 49 a 来的气温数据绘制年均气温变化图(如图 1 所示),可以看出整体年均气温在上下波动中呈现逐步上升趋势,与全球气温变化

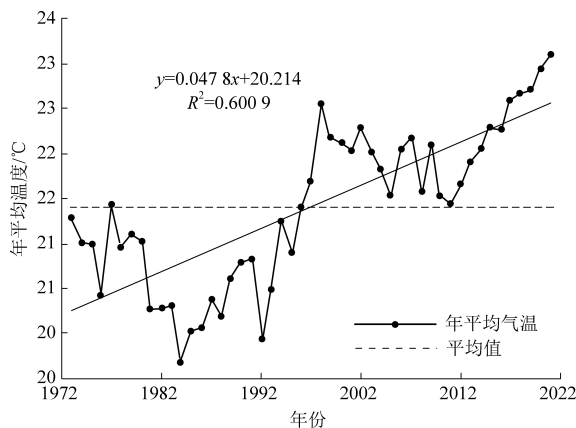


图 1 厦门市年平均气温变化

Fig.1 Changes of the annual average temperature in Xiamen

趋势保持一致。对其进行线性趋势分析后,得到趋势方程,且通过了 $\alpha=0.01$ 的水平显著性检验。过去 49 a 间,厦门市年平均气温以 $0.478\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 的速率增加,远高于福建省 $0.321\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 的年均气温增长速率^[6]。

图2为厦门市49 a的年均气温距平及累积距平的变化图,同时根据气温距平符号分布相对一致的原则^[9],可将49 a划分为冷、暖期:1973—1995年为冷期,且年均气温一直呈现下降趋势,且温度距平在1995年达到最小值;1996—2021年为暖期,1996年开始年均气温开始呈现上升趋势,并在2021年达到最大。年均气温从下降到上升的趋势突变大约发生在1995—1996年。

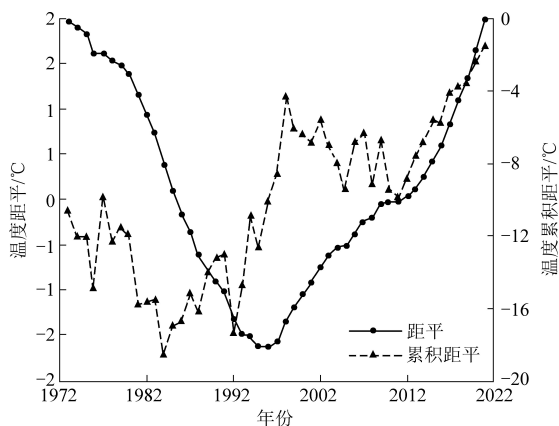


图2 厦门市年平均气温距平及累积距平变化

Fig.2 Changes of the annual average temperature anomaly and cumulative anomaly in Xiamen

使用 Mann-Kendall 方法检验厦门市 49 a 的年平均气温序列并绘制图 3。给定显著性水平 $\alpha=0.05$, 即 $U_{0.05}=\pm 1.96$ 。从图 3 可以直观地看出, UF 曲线自 1988 年后呈现明显上升趋势, 至 2002 年这种趋势超过了显著性水平 0.05 临界线, 表明厦门市年平均气温从 1988 年开始有增温趋势, 且在 21 世纪初这种增温趋势显著增强, 这与福建省的年均气温变化趋势相吻合^[6]。

2.1.2 季平均气温变化

对厦门市 1973—2021 年日均气温按季节进行分类和统计, 并绘制春、夏、秋、冬四季季平均气温随时间(年份)的变化图(图 4)。对比图 1 与图 4 可知, 厦门市在过去 49 a 间的四季平均气温变化与年平均气温变化基本一致, 均为上升趋势, 且四季平均温度分别以 0.545 、 0.409 、 0.441 、 $0.514\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 的趋势增长, 并通过了 $\alpha=0.01$ 的水平显著性检验。四季中, 以春季气温增长速率最大, 冬季次之, 夏季平均气温增长速率最小。通过统计与计

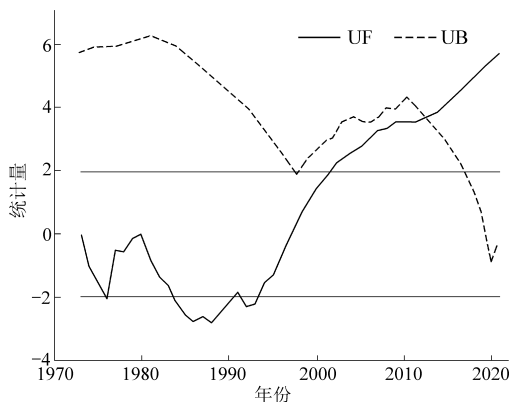


图3 1973—2021年厦门市年平均气温M-K突变检测统计量曲线

Fig.3 Statistical curve of M-K mutation detection of the annual average temperature in Xiamen from 1973 to 2021

算, 1973—2021 年四季的平均气温分别为: 春季 $19.8\text{ }^{\circ}\text{C}$, 夏季 $28.03\text{ }^{\circ}\text{C}$, 秋季 $23.61\text{ }^{\circ}\text{C}$, 冬季 $14.11\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。相对 49 a 来的平均气温而言, 20 世纪末之前气温偏低, 20 世纪末期以后的气温明显升高, 相对为偏暖期。

2.2 平均最高、最低气温的时间变化特征

极端气温是气候变化的重要指标, 它的发生不仅对农业气象造成灾害, 而且能对人们的生产生活环境带来严重影响^[9]。对厦门市 49 a 来的年平均最高、最低气温分别绘制散点图并进行拟合分析和求取平均值, 得到图 5。从图 5 中可以看出, 平均最高、最低气温都在上下波动中呈上升趋势, 经过线性趋势分析后得到的一元线性方程, 且都经过了 $\alpha=0.01$ 的水平显著性检验。对比两组气候倾向率(年平均最高气温为 $0.515\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$, 年平均最低气温为 $0.285\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$)可以看出, 年平均最高气温的上升速率明显高于年平均最低气温, 升温速率约是其 1.8 倍。同时, 以 1998 年为气温分水岭, 1998 年之前年平均最高、最低气温基本上都低于 49 a 平均值, 而在 1998 年以后平均气温有了大幅度提升使其年平均最高、最低气温基本都在 49 a 平均值以上。

2.3 活动积温

农作物的生长需要一定的热量条件。在作物生长发育所需的其他条件满足时, 在一定温度范围内, 气温与发育速度成正比, 并且要累积到一定的温度总和农作物才能完成发育, 作物某个生育期或全部生育期内活动温度的总和称为该作物这一生育期或全生育期的活动积温。活动积温是能够衡量农业生产中热量资源的重要指标, 它的起止日期、持续天数及积温在一定程度上决定了农

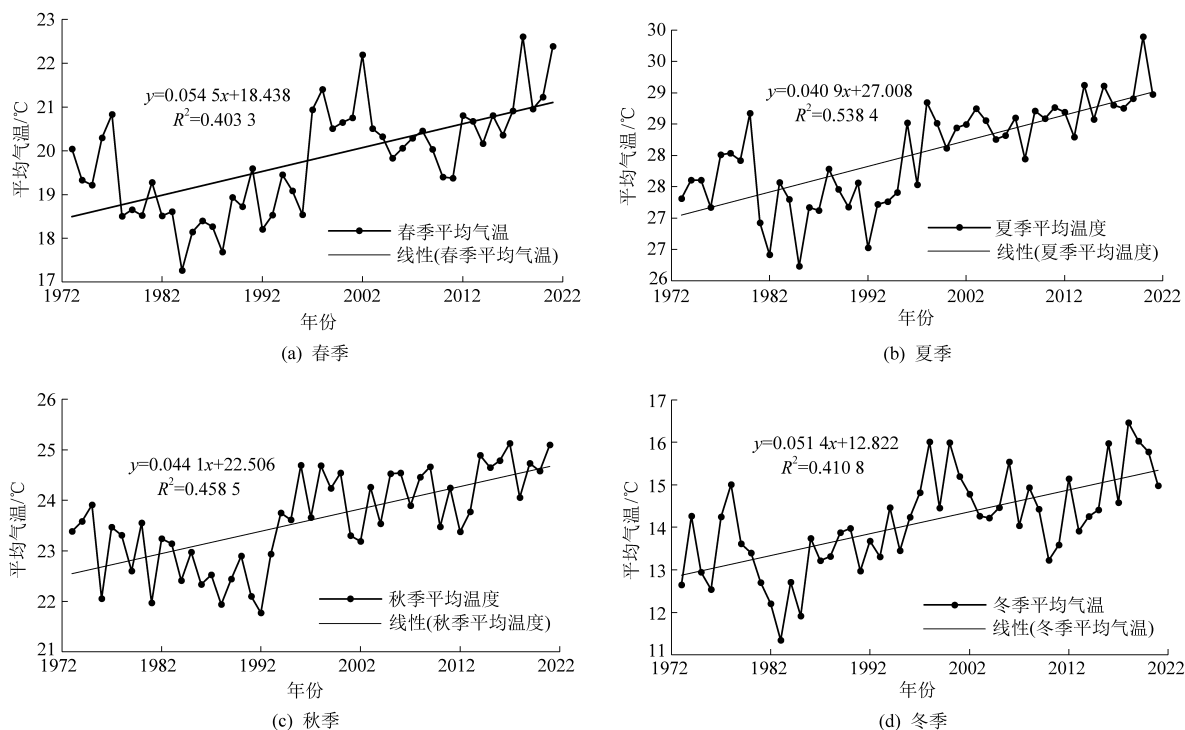


图4 1973—2021年厦门市各季平均气温变化

Fig.4 Changes of the seasonal average temperature in Xiamen from 1973 to 2021

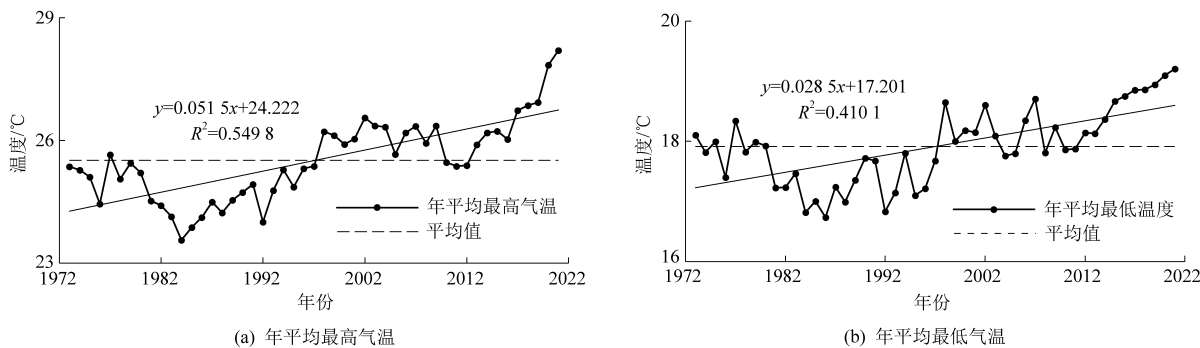


图5 厦门市1973—2021年平均最高、最低气温变化趋势

Fig.5 Variation trends of average maximum and minimum temperatures in Xiamen from 1973 to 2021

业生产中适宜种植区的规划、种植制度和品种搭配^[10]。常用的界限温度有:0、5、10、15、20℃^[11]。

不同的界限温度具有一定的农业指示意义^[12]。当气温稳定 ≥ 0 ℃时,土壤开始解冻,草木萌发,为适宜农耕地;气温稳定 ≥ 5 ℃的时期为越冬作物生长活动期和喜凉早春作物的播种期;气温稳定 ≥ 10 ℃的时期为喜温作物生长活动和喜凉作物的迅速生长期,水稻、棉花等喜温作物开始播种;日平均气温稳定 ≥ 15 ℃时,喜温作物开始积极生长,同时也是茶叶的可摘采期;气温稳定通过20℃及以上时,水稻分蘖并旺盛生长,同时20℃还是喜温作物光合作用最适温度的下限。

2.3.1 活动积温变化

由于厦门特殊的地理气候条件, ≥ 0 ℃和 \geq

5℃的初日都是1月1日,终日是12月31日,即年总活动积温。对年活动积温、10℃、15℃和20℃分别绘制其活动积温随年份的变化曲线图,详见图6。

从图6中可以看出,不同界限温度下的活动积温随着年份变化各有不同,但总体都保持着增加趋势。年活动积温、 ≥ 10 ℃、 ≥ 15 ℃和 ≥ 20 ℃的活动积温增加速率分别为175.57、246.07、229.72、268.92℃/10a,其中 ≥ 20 ℃的活动积温增加速率最高,年活动积温增加速率最低。4种不同的活动积温在1973—2021年的49a间的平均值分别为7815.6、7445.7、6358.8、5149.8℃。同时,在1973—1996年间,92%的年份稳定通过年活动积温和 ≥ 20 ℃的活动积温低于49a平均值,87%的

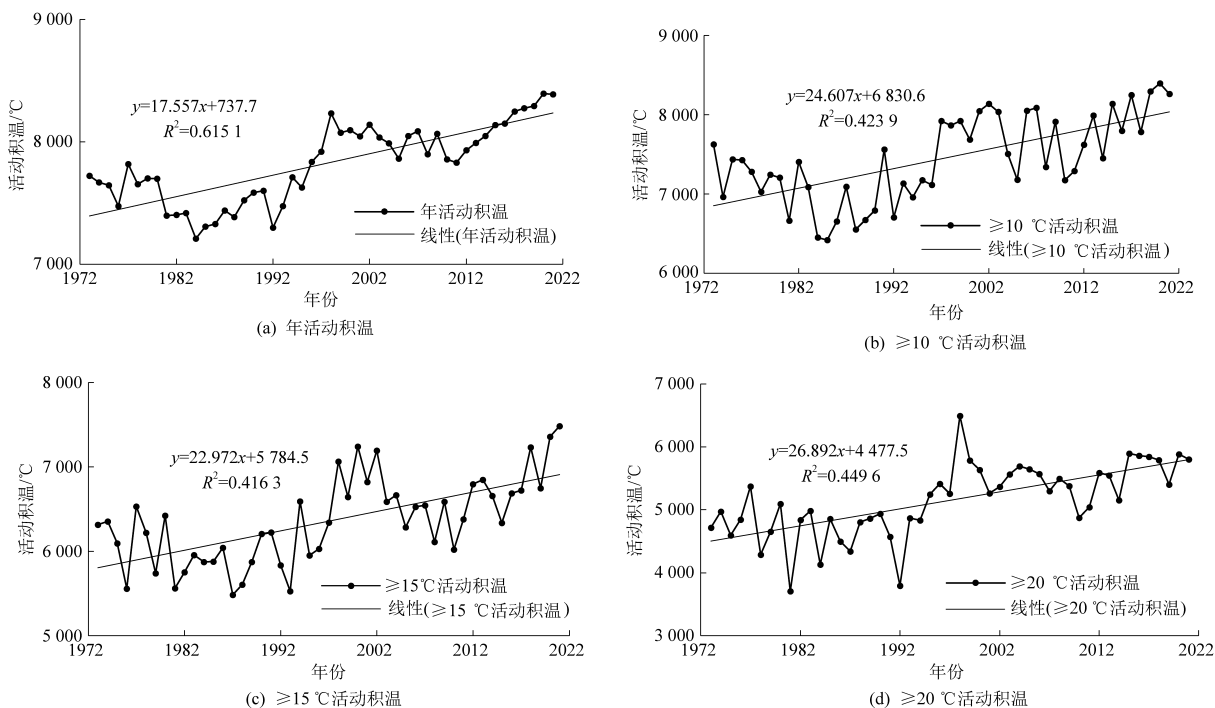


图6 不同界限温度下活动积温随年份变化图

Fig.6 Variation of active accumulated temperature with years at different boundary temperatures

年份稳定通过 $\geq 10^\circ\text{C}$ 和 $\geq 15^\circ\text{C}$ 的活动积温低于49 a平均值,因此1973—1996年为热量亏欠期;1997—2021年间88%的年份稳定年总活动积温高于49 a平均值, $\geq 10^\circ\text{C}$ 和 $\geq 15^\circ\text{C}$ 的活动积温稳定高于49 a平均值的年份占比为84%,而 $\geq 20^\circ\text{C}$ 的活动积温高于49 a平均值更是达到100%,因此将此25 a称为热量丰盈期。热量资源的增加使农作物生长期延长,有利于喜温作物的生长和品质提升^[13]。

2.3.2 活动积温的 Mann-Kendall 检验分析

对不同界限温度下的活动积温进行 Mann-Kendall 方法检验,检验结果如图7所示。不同界限温度的活动积温有不同的 Mann-Kendall 检验结果,但其 UF 曲线在1988年之后基本都呈上升趋势。其中,对于年活动积温,其突变曲线与年平均气温突变检验曲线基本相同,故不重复讨论。

根据图7所示, $\geq 10^\circ\text{C}$ 、 $\geq 15^\circ\text{C}$ 、 $\geq 20^\circ\text{C}$ 活动积温的 UF 曲线分别在2003年、2002年、1999年超过了0.05显著性水平,结合年活动积温的 UF 曲线图,可以得出2000年左右厦门市年活动积温上升趋势显著性增强。

在0.05显著性水平临界线内, $\geq 10^\circ\text{C}$ 活动积温的 UF 与 UB 曲线没有明显交点,表明 $\geq 10^\circ\text{C}$ 年活动积温变化没有明显突变点。而对于 $\geq 15^\circ\text{C}$ 与 $\geq 20^\circ\text{C}$ 的 UF 与 UB 曲线在0.05信度临界线内

存在交点,其位置分别位于2000年和1997年处,确定 $\geq 15^\circ\text{C}$ 与 $\geq 20^\circ\text{C}$ 年活动积温在20世纪末期发生由冷到暖的明显突变。

3 结 论

本文根据过去49 a厦门地区国家气象站的气温数据,使用气候倾向率、累积距平法以及 Mann-Kendall 突变检验等方法统计并分析讨论了年平均气温、季平均气温、年最高(低)气温以及当地热量资源的变化规律趋势,得到以下结论:

(1)1973—2021年来,厦门年均气温以 $0.478^\circ\text{C}/10\text{ a}$ 的速率增加,明显高于福建省年均增温速率。根据气温距平符号分布相对一致的原则,49 a来可以划分为2个时期:1973—1995年为冷期,1996—2021年为暖期。利用 Mann-Kendall 方法,结果表明厦门市年平均气温从1988年开始有增温趋势,在21世纪初这种增温趋势显著性增强。

(2)从季节性变化上来看,厦门市49 a来的四季平均气温变化与年平均气温变化相同,都呈现上升趋势。四季中,春季的气温增加速率最大,夏季增温速率相对较小。

(3)厦门市49 a来的年平均最高、最低气温都在上下波动中逐步增加,其增长速率约为 $0.515^\circ\text{C}/10\text{ a}$ 和 $0.285^\circ\text{C}/10\text{ a}$,年平均最高气温的上升速率约是年平均最低气温的1.8倍。

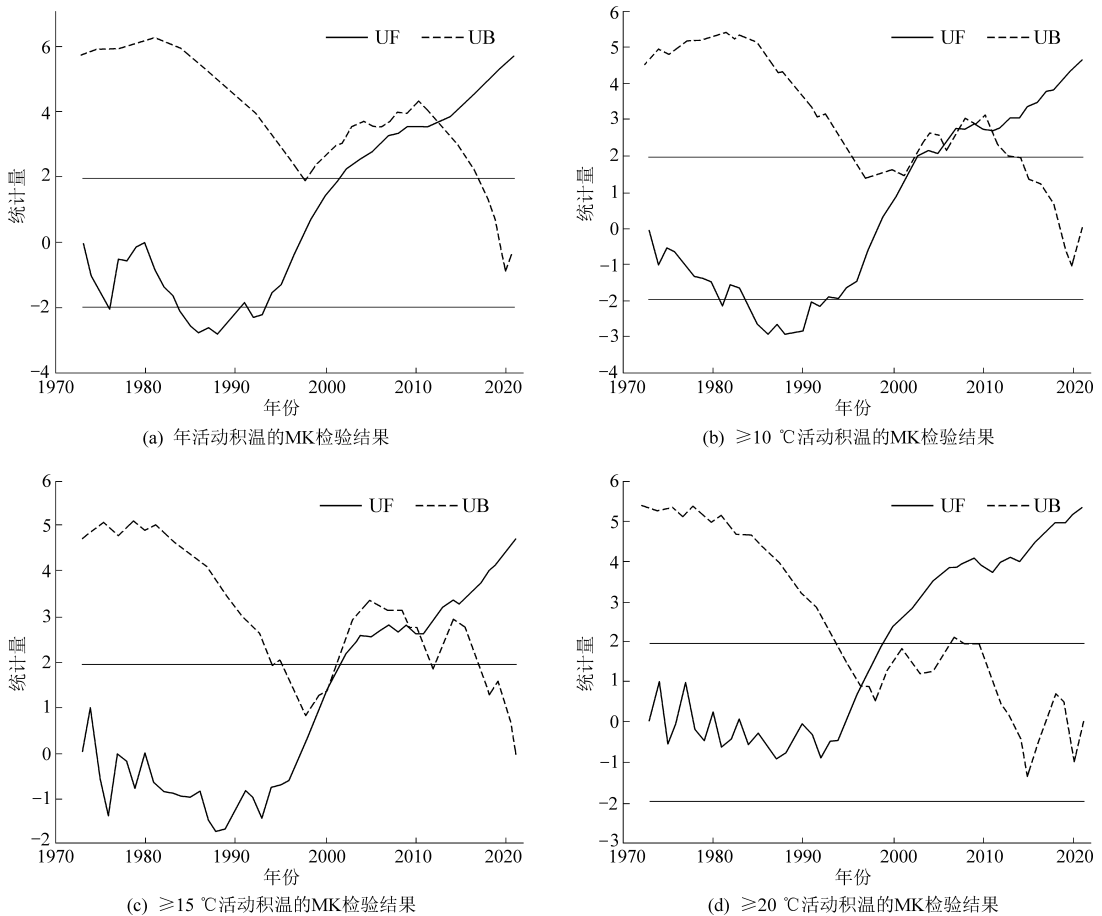


图7 不同界限温度的M-K检验结果

Fig.7 M-K test results at different boundary temperatures

(4) 年均气温的升高使得热量资源随之增加。在 0、5、10、15、20 °C 几个界限温度中, ≥ 20 °C 的活动积温上升趋势最显著, 分别为 175.57、246.07、229.72 和 268.92 °C/10 a。对比活动积温变化曲线与其 49 a 平均值, 可以得出 1973—1996 年为热量亏欠期, 1997—2021 年为热量丰盈期。使用 Mann-Kendall 检验方法后, 可以看出在 20 世纪末 21 世纪初厦门市年活动积温有明显上升趋势, 同时 ≥ 15 °C 与 ≥ 20 °C 年活动积温也在此时发生由冷到暖的明显突变。

综上所述, 厦门市年均气温与活动积温都呈现上升趋势, 这与黄奇晓等人关于福建省气候变化的研究结论基本一致, 且厦门增温速率与之相比更为显著。热量资源的增加对当地芒果、花生等主要作物的种植、生长带来了重要影响, 能够延长其生长周期以及提高其产量。另一方面, 热量资源的增加可能提高了病虫害发生的可能性, 增加了病虫害的周期; 同时, 热量资源的增加也加剧了城市高温酷热程度, 使得人们生活中对能源的需求消耗增长。因此, 要合理利用气候资源, 调整

农作物的播种时期, 以此达到增产的目的; 此外, 还要加强对病虫害的监测、防治, 增强农业对气象灾害的防御能力, 以及提升对城市热岛效应、气候变化影响评估的预测准确度。

参考文献

- [1] 网易财经综合. 哥本哈根世界气候大会 (COP15) 背景 [EB/OL]. (2009-12-07) [2022-07-05]. <https://www.163.com/money/article/SPU33DH800253UL5.html>.
- [2] IPCC. Climate change 2013: The physical science basis: Working group I contribution to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2014.
- [3] 廖启龙, 丁园园, 王勇, 等. 气候变暖对中国热量资源分布的影响分析 [J]. 自然资源学报, 2009, 24 (5): 934-944.
MIAO Qilong, DING Yuanyuan, WANG Yong, et al. Impact of climate warming on the distribution of China's thermal resources [J]. Journal of Natural Resources, 2009, 24 (5): 934-944.
- [4] 刘德祥, 董安祥, 邓振镛. 中国西北地区气候变暖对农业的影响 [J]. 自然资源学报, 2005, 20 (1): 19-25.
LIU Dexiang, DONG Anxiang, DENG Zhenyong. Impact of

- climate warming on agriculture in Northwest China [J]. *Journal of Natural Resources*, 2005, 20 (1): 19-25.
- [5] 张立波, 吉宗伟, 郑选军, 等. 近 50 年华东地区热量资源变化特征分析 [J]. *中国农业气象*, 2021, 33 (3): 325-332.
- ZHANG Libo, JI Zongwei, ZHENG Xuanjun, et al. Variation characteristics of thermal resources in Eastern China in the past 50 years [J]. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2021, 33 (3): 325-332.
- [6] 黄奇晓, 丘永航, 陈晓瑜, 等. 福建省 1980—2017 气候变化特征及未来趋势 [J]. *武夷学院学报*, 2020, 39 (9): 27-32.
- HUANG Qixiao, QIU Yonghang, CHEN Xiaoyu, et al. Climate change characteristics and future trend of Fujian Province during 1980—2017 [J]. *Journal of WUYI University*, 2020, 39 (9): 27-32.
- [7] NOAA 分析数据网 [DB/OL]. (2022-06-10). <https://www.ncei.noaa.gov>.
- [8] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术 [M]. 北京: 气象出版社, 2007: 13-204.
- [9] 叔传强, 杨以建. 山东省嘉祥县 42 年气候变化特征 [J]. *安徽农业科学*, 2009, 37 (26): 12610-12612.
- SHU Chuanqiang, Yang Yijian. Climate change characteristics in Jiexiang Country of Shandong in the last 42 years [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2009, 37 (26): 12610-12612.
- [10] 薛旭, 侯双双, 朱丽萍. 近 52 a 铜仁市热量资源变化特征分析 [J]. *中低纬山地气象*, 2019, 43 (4): 17-22.
- XUE Xu, HOU Shuangshuang, ZHU Liping. Variation characteristics of thermal resources in Tongren City in past 52 years [J]. *Mid-low Latitude Mountain Meteorology*, 2019, 43 (4): 17-22.
- [11] 刘实, 王勇, 缪启龙, 等. 近 50 a 东北地区热量资源变化特征 [J]. *应用气象学报*, 2010, 21 (3): 266-278.
- LIU Shi, WANG Yong, MIAO Qilong, et al. Variation characteristics of thermal resources in Northeast China in recent 50 years [J]. *Journal of Applied Meteorological Science*, 2010, 21 (3): 266-278.
- [12] 宋水华, 宋良桀. 界限温度初终日期的确定及意义 [J]. *沙漠与绿洲气象*, 2009, 8 (3): 113-114.
- SONG Shuihua, Song Liangruan. Determination and significance of initial and final dates of boundary temperature [J]. *Desert and Oasis Meteorology*, 2009, 8 (3): 113-114.
- [13] 郑海芳, 曾杰. 近 40 a 周宁县热量资源变化特征分析 [J]. *宁德师范学院学报*, 2020, 32 (1): 107-112.
- ZHENG Haifang, ZENG Jie. Analysis on the changes of thermal resources in Zhouning County in the past 40 years [J]. *Journal of Ningde Normal University*, 2020, 32 (1): 107-112.