

Change Characteristics of Heat Condition and Its Response to Temperature in Fengxian from 1959 to 2013

Xiangming Xu^{1,2}, Jia Xu¹, Pinqiang Gu^{1*}

¹Fengxian District Meteorological Office, Shanghai

²State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, Beijing Normal University, Beijing
Email: *gupinq2004@126.com

Received: Apr. 18th, 2016; accepted: May 2nd, 2016; published: May 9th, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

Through analyzing the variation characteristics of temperature, accumulated temperature and the accumulated temperature response to temperature change by the temperature in Fengxian from 1959 to 2013, the results show that: The year average temperature is 15.9°C and the temperature increase rate is 0.24°C/10a, the mutation year is 1995. The accumulated temperature of summer crops growth period is 1322.5°C·d. The accumulated temperature of autumn crops growth period is 2170.2°C·d and the annual accumulated temperature is 2170.2°C·d. The accumulated temperature at least in 1970 s and 1980 s, the accumulated temperature at most in 2000s and 2010s. The temperature of the highest frequency oscillation period is 3a and the higher frequency oscillation periods are 5.5 - 6a and 9 - 11a. The interannual and interdecadal changes and EMD trend showed increasing trend. The mutation years of the three kinds accumulated temperature are 2003, 1993 and 1998. The accumulated temperature of autumn crops growth period accounted for the annual accumulated temperature is mostly 60% to 64%. The ratio was significantly correlated with the year average temperature and the average temperature in spring. The accumulated temperature of summer crops growth period increased with the increase of the year average temperature. The accumulated temperature of autumn crops growth period increased with the increase of the year average temperature while the year average temperature was less than 16°C, but the accumulated temperature of autumn crops growth period fluctuation at 2100 - 2350°C·d while the year average temperature was more than 16°C.

Keywords

Active Accumulated Temperature, Air Temperature, M-K Method, Empirical Mode Decomposition Method

*通讯作者。

奉贤地区1959~2013年热量条件变化特征及气温的响应

徐相明^{1,2}, 徐佳¹, 顾品强^{1*}

¹上海市奉贤区气象局, 上海

²北京师范大学地表过程与资源生态重点实验室, 北京

Email: *gupinq2004@126.com

收稿日期: 2016年4月18日; 录用日期: 2016年5月2日; 发布日期: 2016年5月9日

摘要

根据奉贤区1959~2013年气温资料分析了气温、积温的变化特征及积温对气温变化的响应。结果表明: 奉贤55 a年平均气温为15.9℃, 增温率为0.24℃/10a, 突变年份为1995年; 奉贤55年夏熟作物生长期积温、夏秋作物生长期积温、年积温分别为1322.5℃·d、2170.2℃·d、3492.7℃·d; 各积温最少年代出现在20世纪70年代、80年代, 最多年代出现在21世纪00年代、10年代。各积温高频振荡波动周期均为3a, 波动频率较高的震荡周期分别为5.5~6a、9~11a; 各积温年际、年代际变化及EMD趋势项均表现出增多趋势, 突增年份分别为1993年、2003年、1998年。夏秋积温占年积温的比例大多为60%~64%, 该比值与年、春季平均气温达到显著相关; 夏熟积温随着年平均气温升高而增多, 当年平均气温低于16℃时夏秋积温随着气温升高而增多, 但高于16℃时在2100~2350℃·d波动。

关键词

有效积温, 气温, M-K法, 经验模态分解法

1. 引言

农业生产高度依赖气候条件, 农业气候资源变化对农业生产影响重大。热量条件作为农业气候资源最主要的组成部分, 在很大程度上直接决定了当地作物种类、耕作制度等, 而随着气候变暖趋势明显, 气候变化引起的农业适应性方面引起众多学者的关注, 如姜晓艳等[1]指出气温升高, 积温显著增多, 使作物生长季明显延长, 促进植物生长发育加速; 王馥棠[2]研究指出热量条件波动是引起作物产量序列周期波动的重要因子之一。

上海地处长江三角洲入海处, 奉贤位于上海南部郊区, 南临杭州湾, 西接金山, 东靠浦东, 北枕黄浦江, 属于亚热带季风气候, 奉贤农业产值占GDP比值处于上海各区(县)前列, 属于上海农业大区(县)。为更好地服务奉贤农业生产, 达到农业生产趋利避害、农民增产增收, 顾品强等[3]提出奉贤气候变化对水稻、黄桃、油菜等作物生育期造成影响, 开展了油菜花节、黄桃采摘节等特色农业旅游气象服务, 并研究得出奉贤夏熟作物生长期有效积温20世纪90年代显著增多, 而夏秋作物生长期有效积温则呈现波动。费蕾等[4]、Ma Hao等[5]研究指出奉贤地区年平均气温、各季气温具有上升趋势和周期性的变化特征。本文通过分析奉贤地区近50年主要作物生长期热量条件变化趋势及对气温变化的响应, 为今后基于气温预测热量条件变化趋势、合理安排农事农时提供一定的技术支撑。

2. 资料与方法

资料来源：日平均气温资料来源于上海市奉贤区气象局，时间为 1959~2013 年，基本能够代表接近自然环境下的郊区气候变化，可作为农业气象服务的指标站。夏熟积温：是指夏熟作物生长期积温，即上年 11 月 11 日至当年 5 月 25 日 $\geq 3^{\circ}\text{C}$ (小麦等喜凉作物的生命活动的最低温度)有效积温($^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$)；夏秋积温：是指夏秋作物生长期积温，即每年 6 月 1 日至 10 月 31 日 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ (水稻等喜温作物的生命活动的最低温度)有效积温($^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$)；年积温：夏熟积温与夏秋积温的合计有效积温($^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$)。

方法：采用 Excel 对气温序列资料进行气候特征值计算和回归分析；用 M-K 法求出各类积温、气温的突变点；用经验模态分解法(EMD) [6]进行分析各类积温的振荡周期及趋势(波动特性)。四季划分[7]：上年 12 月~2 月为冬季、3~5 月为春季、6~8 月为夏季、9~11 月为秋季。

3. 夏熟积温、夏秋积温、年积温变化特征及对气温的响应

3.1. 各积温气候变化特征

3.1.1. 积温年际变化特征

通过对奉贤区 1959~2013 年夏熟积温、夏秋积温、年积温的统计得出 55 年均值分别为 $1322.5^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 、 $2170.2^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 、 $3492.7^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ ，其中夏熟积温最多为 $1583.7^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ (2007 年)，最少为 $1047.9^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ (1984 年)；夏秋积温最多为 $2493.9^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ (2010 年)，最少为 $2003.0^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ (1972 年)；年积温最多为 $3898.2^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ (2007 年)，最少为 $3101.0^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ (1968 年)。奉贤 55 年夏熟积温、夏秋积温、年积温总体均呈现出增多的趋势(见图 1)，其中夏熟积温、夏秋积温气候倾向率分别为 $47.4^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}/10\text{a}$ 、 $32.3^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}/10\text{a}$ ，夏熟积温对年积温的增多作用明显高于夏秋积温。夏熟积温、夏秋积温与年积温的相关性分别达到 0.87、0.80，其中夏熟积温与夏秋积温的相关性达到 0.40，均通过 $\alpha = 0.01$ 的显著性检验，说明夏熟积温越多，夏秋积温、年积温均相应增多。

利用 M-K 法求出夏熟积温、夏秋积温、年积温突变点(图 2)分别为 1993 年、2003 年、1998 年，各积温突变之前年均值分别为 $1257.1^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 、 $2137.9^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 、 $3393.6^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ ，突变之后年均值分别为 $1437.0^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 、 $2315.3^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 、 $3734.2^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ ，比突变之前分别增多 $179.9^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 、 $177.4^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 、 $340.6^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ ，可看出夏熟积温、年积温突变幅度超过一成，而夏秋积温突变幅度略窄为 8%；从图 3 可知夏秋积温占年积温的比例为 57%~67%，但 80% 的年份占比为 60%~64%。从其占比的年际变化看，20 世纪 80 年代之前表现出夏秋积温的占比较高且稳定，大多为 62%~67%；夏秋积温出现突变的前后 15 年，占比呈现逐年下降变化，至 20 世纪 90 年代末降至最低，仅为 56%，该段时间年积温增多主要贡献因子为夏熟积温；20 世纪年代末以来，夏秋积温占年积温比例呈上升趋势，到 21 世纪 10 年代回升至 60% 以上；图 4 为夏秋积温占年积温比例随着夏熟积温变化散点图，可看出该比例总体呈现为随着夏熟积温增多而减少的趋势；当夏熟积温 $\leq 1300^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ ，该比例为 62%~66%，且随着积温增多该比例下降，下降幅度为 $1.3\%/100^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ ($|r| = 0.69$ ，通过 $\alpha = 0.01$ 检验)；当夏熟积温在 $1300\sim 1500^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ ，该比例为 60%~64%，而当夏熟积温 $> 1500^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ ，该比例基本 $< 60\%$ 。

3.1.2. 积温年代际变化特征

通过计算各年代各积温得出表 1，可知：20 世纪 70 年代各积温均出现不同程度的减少，但减少幅度均不超过 5%；夏熟积温在该年代出现最小值，为 $1226.4^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ ，比其余年代偏少 $48.6\sim 249.9^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ ，比历年均值偏少 $96.1^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 。20 世纪 80 年代夏熟积温出现增多，而夏秋积温出现减少，年积温也略减少，变化幅度均不超过 1%；夏秋积温、年积温均在该年代出现最小值，夏秋积温、年积温分别为 $2102.4^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 、 $3341.1^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ ，比其余年代分别偏少 $17.4\sim 256.4^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 、 $5.1\sim 395.0^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ ，比历年均值分别偏少 $67.8^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 、 $151.6^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 。20 世纪 90 年代夏熟积温出现大幅增多，夏秋积温则略增多，夏熟积温对年积温增多变化的贡献高于夏秋积温；夏熟积温在该年代增幅最大，达到 $141.0^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 。21 世纪初夏熟积温、夏秋积温两者均出现大幅增多，其夏

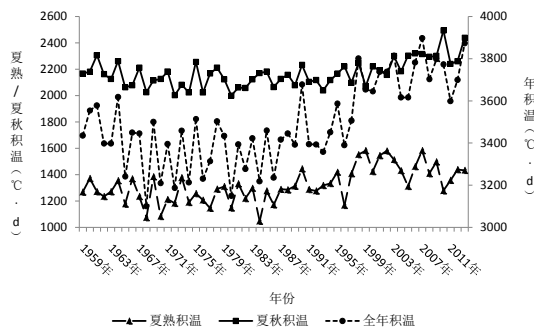


Figure 1. Chang trend of the accumulated temperature in autumn to summer and summer to autumn and annual from 1959-2013 in Fengxian District

图 1. 奉贤区 1959~2013 年夏熟积温、夏秋积温、年积温变化趋势

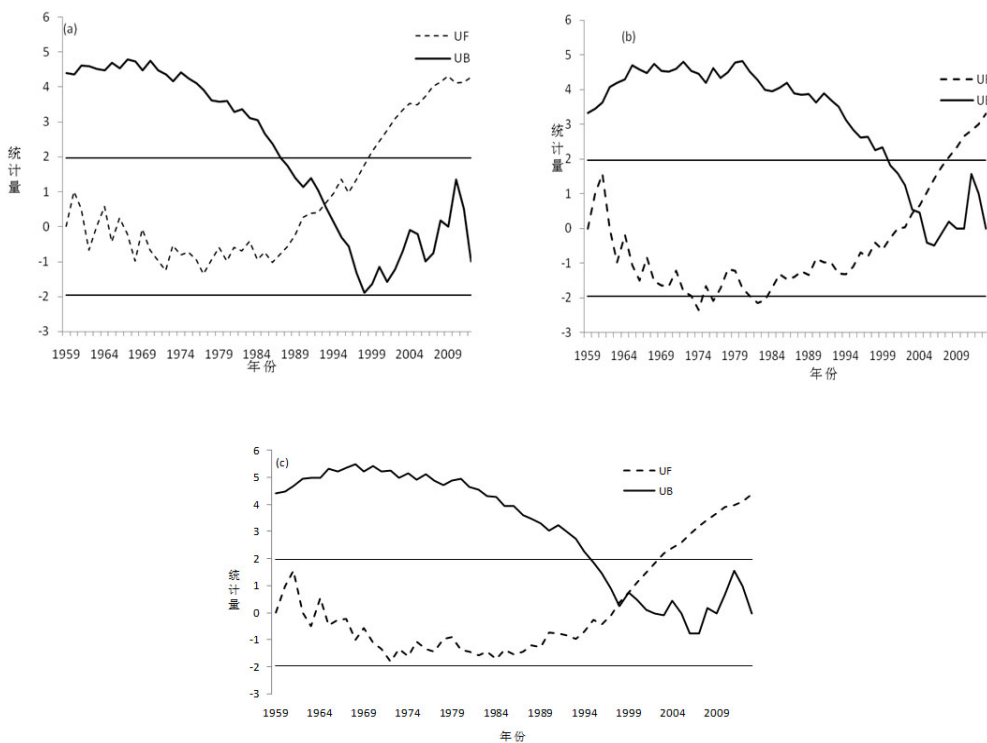


Figure 2. Mutation point of the accumulated temperature in autumn to summer (a) and summer to autumn (b) and annual (c) from 1959-2013 in Fengxian District

图 2. 奉贤区 1959~2013 年夏熟积温(a)、夏秋积温(b)、年积温(c)突变点

熟积温在该年代出现最大值, 为 $1476.3^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$, 比其余年代偏多 $96.6\sim 249.9^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$, 比历年均值偏多 $153.8^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$; 夏秋积温、年积温在该年代增幅均最大, 分别为 $116.8^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 、 $213.4^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 。21 世纪 10 年代夏熟积温出现减少, 但夏秋积温却出现增多, 年积温基本不变; 夏秋积温、年积温均在该年代出现最大值, 分别比其余年代偏多 $100.3\sim 256.4^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 、 $1.3\sim 395.0^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$, 比历年均值偏多 $188.6^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 、 $243.4^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 。

3.1.3. 积温周期及震荡变化特征

利用 EMD 对 1959~2013 年夏熟积温、夏秋积温、年积温进行分解得出图 5、图 6、图 7, IMF1 分量

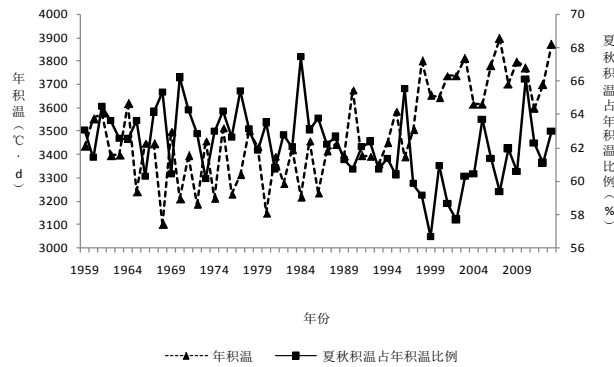


Figure 3. Change curve of the accumulated temperature in summer to autumn for the proportion of the annual accumulated temperature
图 3. 夏秋积温占年积温比例的变化曲线

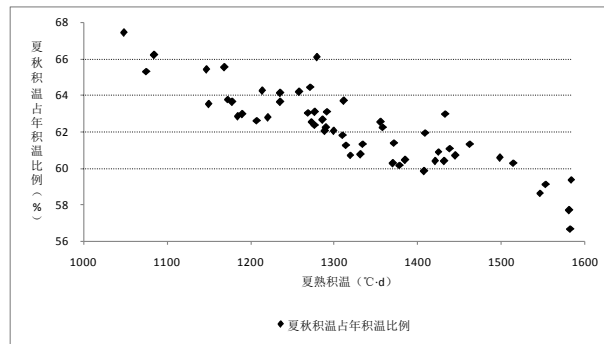


Figure 4. Change distribution of the accumulated temperature in summer to autumn for the proportion of the annual accumulated temperature with the accumulated temperature in autumn to summer
图 4. 夏秋积温占年积温比例随着夏熟积温变化散点图

Table 1. Interdecadal variation of the accumulated temperature in autumn to summer and summer to autumn and annual in Fengxian District ($^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$)

表 1. 奉贤区夏熟积温、夏秋积温和年积温的年代际变化($^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$)

年代	1960~1969	1970~1979	1980~1989	1990~1999	2000~2009	2010~2013	55年均值
夏熟积温	1275.0	1226.4	1238.7	1379.7	1476.3	1377.3	1322.5
夏秋积温	2153.3	2119.8	2102.4	2141.7	2258.5	2358.8	2170.2
年积温	3428.3	3346.2	3341.1	3521.4	3734.8	3736.1	3492.7

所呈现出的高频振荡能很好地刻画奉贤各积温的波动情况,其平均时间尺度均约为 3 a,且均通过 $\alpha = 0.01$ 的显著性检验。IMF2 分量能得到奉贤各积温时间序列频率较高的波动情况,其周期为 5.5~6 a。IMF3 分量波动频率低于之前,其波动的时间尺度也较大,周期为 9~11 a。最后从趋势项中可以发现:各积温从 20 世纪 60 年代开始均呈现出减少趋势,但夏熟积温从 70 年代末、夏秋积温、年积温从 80 年代中期开始呈现增多趋势;夏熟积温、年积温在 21 世纪 00 年代后期至 10 年代前期维持高位震荡,而夏秋积温是继续增多。

3.2. 积温对气温的响应

分析奉贤区 1959~2013 年的年平均气温(图略),得出 55 a 年平均气温为 15.9°C ,年平均气温最低为

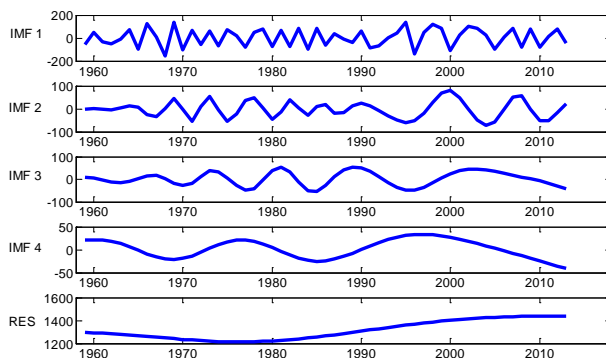


Figure 5. Decomposition results of EMD for accumulated temperature in autumn to summer in Fengxian

图 5. 奉贤夏熟积温的 EMD 分解结果

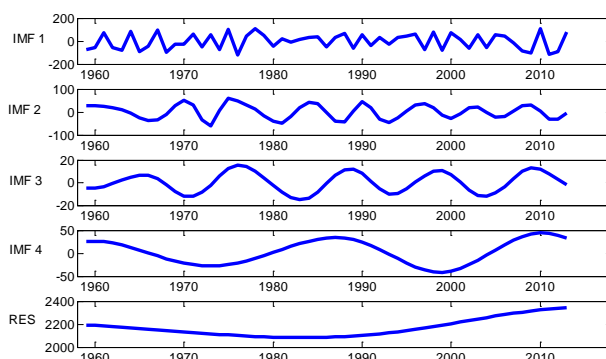


Figure 6. Decomposition results of EMD for accumulated temperature in summer to autumn in Fengxian

图 6. 奉贤夏秋积温的 EMD 分解结果

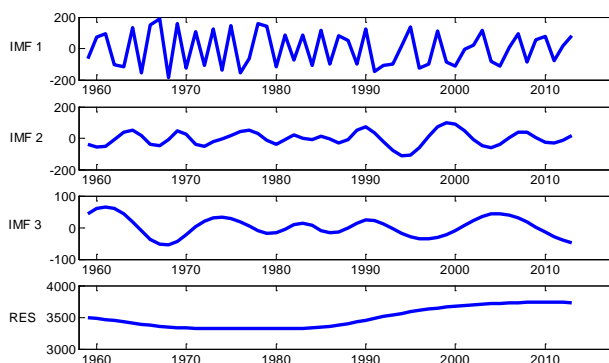


Figure 7. Decomposition results of EMD for annual accumulated temperature in Fengxian

图 7. 奉贤年积温的 EMD 分解结果

14.9℃(1980年), 最高为 17.2℃(2007年), 55a 增温率为 0.24℃/10a; 通过计算 55 年各季节平均气温增温率可知, 春季(0.30℃/10a)和冬季(0.28℃/10a)的增温速率高于年平均气温, 而夏季(0.17℃/10a)和秋季(0.20℃/10a)的增温速率低于年平均气温, 这与夏熟积温增温率高于夏秋积温增温率相一致; 利用 M-K 法(图 8)求出年平均气温突变年份为 1995 年, 介于夏熟积温与年积温突变年份, 远早于夏秋积温突变年份, 与费蕾等[4]分析得出的四季气温对年平均气温影响趋势基本一致。夏秋积温占年积温比例与年、冬季、春季、夏季、秋季平均气温相关性系数分别为-0.44、-0.27、-0.65、0.03、0.07, 说明年、冬季、

春季平均气温越高,夏秋积温占年积温的比例降低,其中年、春季平均气温相关性通过 $\alpha = 0.01$ 显著性检验;夏熟积温占年积温比例与年、四季平均气温相关性与夏秋积温类似,与年、冬季、春季平均气温具有较高的相关性,而基本不受夏、秋季平均气温影响。

图 9、图 10 为奉贤区 1959~2013 年年平均气温与夏熟积温、夏秋积温的散点图,得出:夏熟积温、夏秋积温与年平均气温相关性系数分别达到 0.75、0.72,均达到极显著相关水平,且年平均气温每升高 1°C ,夏熟积温、夏秋积温分别增加 $173.7^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 、 $133.6^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$,夏熟积温增加率比夏秋积温多 30.2%,说明年平均气温对夏熟积温的影响高于夏秋积温。夏熟积温、夏秋积温均以年平均气温 16°C 为界,当年平均气温 $\leq 16^{\circ}\text{C}$ 时,夏熟积温一般为 $1050\sim 1400^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$,夏秋积温一般为 $2000\sim 2250^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$;当年平均气温 $> 16^{\circ}\text{C}$ 时,夏熟积温一般 $\geq 1250^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$,而夏秋积温一般在 $2100\sim 2350^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 区间波动,并未随着气温升高而呈现增多趋势。

4. 结论及讨论

本次研究结果显示,奉贤 55 年夏熟积温、夏秋积温、年积温的分别为 $1322.5^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 、 $2170.2^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 、 $3492.7^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$,均呈现出增多的趋势,突增年份分别为 1993 年、2003 年、1998 年。奉贤 55 a 年平均气温为 15.9°C ,增温率为 $0.24^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,突变年份为 1995 年,介于夏熟积温与年积温突变年份之间。其中,夏熟积温对年积温的增多作用明显高于夏秋积温,这与春季、冬季的增温速率高于年平均气温,而夏季、秋季的增温速率低于年平均气温的变化特征相一致。夏熟积温年代间最多出现在 21 世纪 00 年代,最少出现

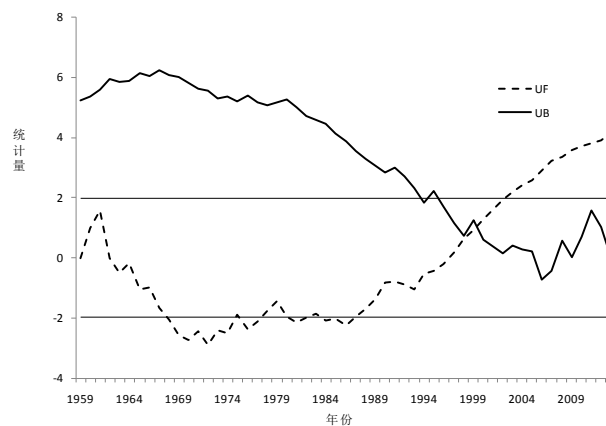


Figure 8. Mutation point of the mean temperature from 1959-2013 in Fengxian District

图 8. 1959~2013 年奉贤地区年平均气温突变点

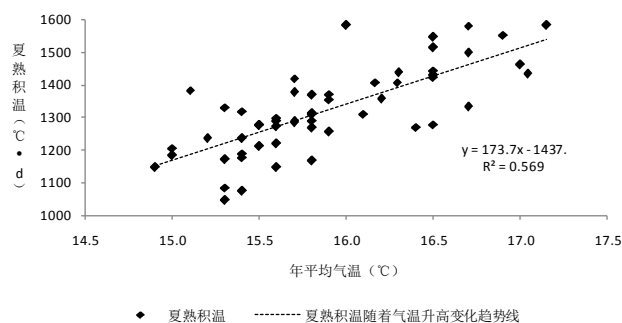


Figure 9. Change trend of the mean temperature and the accumulated temperature in autumn to summer from 1959-2013 in Fengxian District

图 9. 1959~2013 年平均气温与夏熟积温的变化趋势

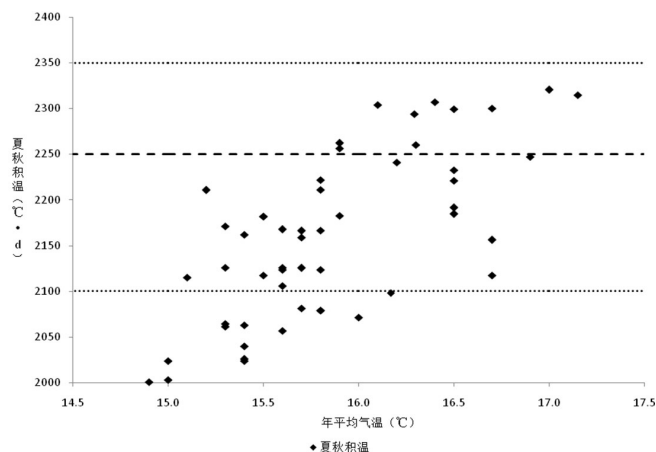


Figure 10. Change relation of the mean temperature and the accumulated temperature in summer to autumn from 1959-2013 in Fengxian District

图 10. 1959~2013 年平均气温与夏秋积温的变化关系

在 20 世纪 70 年代; 夏秋积温、年积温年代间最多出现在 21 世纪 10 年代, 最少出现在 20 世纪 80 年代; 利用 EMD 对各积温进行分解, IMF1 分量呈现出各积温活动周期为 3 a, 且均通过 $\alpha = 0.01$ 的显著性检验; IMF2、IMF3 分量分别呈现周期为 5.5~6 a、9~11 a。通过年际、年代际及 EMD 趋势项均可看出: 各积温从 60 年代开始均呈现出减少趋势, 但夏熟积温从 70 年代末、夏秋积温、年积温从 80 年代初开始呈现明显的增多趋势; 夏熟积温、年积温在 21 世纪 00 年代后期至 10 年代前期维持高位震荡, 而夏秋积温持续增多。积温的增多有利于作物的生长发育, 在耕作制度安排上可选取种植生长周期较长、产量更高的作物。

本次研究中发现, 夏秋积温占年积温的比例大多为 60%~64%, 并总体呈现随着夏熟积温增多而减少的趋势, 夏秋积温出现突变的前后 15 年, 该比例呈现逐年下降变化。当夏熟积温少于 $1300^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 时该比例较高, 达到 62%~66%, 而当夏熟积温多于 $1500^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 时该比例基本 <60%, 介于两者之间时该比例为 60%~64%。夏熟积温、夏秋积温占年积温比例与年、冬季平均气温通过显著相关检验, 而与夏、秋季平均气温相关性较小。夏熟积温、夏秋积温与年平均气温相关系数分别达到 0.75、0.72, 呈现出极显著的正相关, 增加率分别为 $173.7^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}/^{\circ}\text{C}$ 、 $133.6^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}/^{\circ}\text{C}$; 夏熟积温与年平均气温呈正相关并以年平均气温 16°C 为界呈现不同变化趋势, 夏秋积温在年平均气温低于 16°C 时为 $2000\sim 2250^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$, 而高于 16°C 时在 $2100\sim 2350^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 区间波动。据此通过夏熟积温、冬季气温等因子大致判断当年夏秋积温变化趋势, 这对于提前合理安排农事和作物耕种计划, 高效利用气候资源有重要的实践意义。

基金项目

中国气象局上海 2012 年中央财政“三农”气象服务专项[中气函(2012)357 号]、上海市奉贤区(社会类)科技发展基金项目(编号 201324)资助。

参考文献 (References)

- [1] 姜晓艳, 张菁, 高杰, 等. 沈阳地区农作物生长季热量资源变化特征[J]. 气象与环境学报, 2011, 32(2): 19-24.
- [2] 王馥棠. 近百年我国积温的变化与作物产量[J]. 地理学报, 1982, 37(3): 272-280.
- [3] 顾品强, 吴永琪. 奉贤地区四十年气候变化和农业合理开发利用[J]. 上海农业学报, 2000, 16(3): 13-18.
- [4] 费雷, 徐相明, 顾品强, 等. 1959~2013 年奉贤区气温的年平均和季平均变化特征及震荡周期分析[J]. 大气科学研究与应用, 2015(1): 74-83.

-
- [5] Ma, H., Qiu, X., Luo, J.P., *et al.* (2015) Analysis of Temperature Time Series Based on Hilbert-Huang Transform. *Journal of Hydrodynamics, Ser. B*, **27**, 587-592. [http://dx.doi.org/10.1016/S1001-6058\(15\)60520-0](http://dx.doi.org/10.1016/S1001-6058(15)60520-0)
- [6] Huang, N.E., Shen, Z. and Long, S.R. (1999) A New View of Nonlinear Water Waves: The Hilbert Spectrum. *Annual Review of Fluid Mechanics*, **31**, 417-457. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.fluid.31.1.417>
- [7] 王新, 吕学梅. 山东省气候变化特点及其对物候变化的影响[J]. 现代农业科技, 2009(17): 292-294, 296.