

1960~2020年新疆塔城地区 各界限温度积温变化 特征分析

井立红¹, 高婧^{2*}, 王金辉³, 叶思成⁴, 杨霏⁵, 井立军²

¹新疆塔城地区气象局, 新疆 塔城

²沙湾县气象局, 新疆 沙湾

³新疆克孜勒苏柯尔克孜自治州气象局, 新疆 阿图什

⁴农七师气象局, 新疆 奎屯

⁵新疆气象服务中心, 新疆 乌鲁木齐

收稿日期: 2022年2月20日; 录用日期: 2022年3月16日; 发布日期: 2022年3月23日

摘要

利用近61年(1960~2020年)新疆塔城地区7个气象台站逐日平均气温资料, 采用线性倾向率、气候趋势系数、M-K突变检验等数理统计方法, 对塔城地区不同界限温度积温的时空变化特征进行了分析, 结果表明: ① 近61a塔城地区7站中乌苏各界限温度积温最多, 沙湾次之, 和丰最少; 区域中南部最多, 其次为塔城盆地, 和丰最少。② 各站及各区域各界限温度积温基本以1980年代、1990年代、2000年代最多, 1960年代最少; ③ 各站及各区域各界限温度积温均表现为显著增多趋势, 其中 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 、 15°C 积温托里分别以 $103.8^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 、 $108.6^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 的速率显著增多, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 、 20°C 积温塔城分别以 $108.9^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 、 $126.6^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 的速率显著增多, 其余各站增幅各不相同; 区域中各界限温度积温以塔城盆地增幅最大, 分别以 $98.7^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 、 $102.9^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 、 $102.0^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 、 $115.5^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 的速率显著增多, 其次为南部, 最少为和丰。④ 塔城盆地 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 、 10°C 积温序列在20世纪90年代初期发生过明显的由少到多和由多到少的突变, $\geq 15^{\circ}\text{C}$ 、 20°C 积温序列在20世纪80年代末期发生过突变; 南部 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 、 15°C 积温序列在20世纪90年代中期发生过突变, $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温序列在20世纪90年代中期发生过突变, $\geq 20^{\circ}\text{C}$ 积温序列在20世纪80年代中期发生过突变; 和丰 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 、 15°C 积温序列在20世纪80年代末期发生过突变, $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温序列在20世纪90年代初期发生过突变, $\geq 20^{\circ}\text{C}$ 积温序列在20世纪80年代末期至90年代初期发生过突变, 各区域突变点各不相同。

关键词

塔城地区, 界限温度积温, 变化特征

*通讯作者。

Analysis of Accumulated Temperature Variation Characteristics of Boundary Temperature in Tacheng Region, Xinjiang during 1960~2020

Lihong Jing¹, Jing Gao^{2*}, Jinhui Wang³, Sicheng Ye⁴, Xian Yang⁵, Lijun Jing²

¹Tacheng Meteorological Bureau, Tacheng Xinjiang

²Shawan Meteorological Bureau, Shawan Xinjiang

³Meteorological Bureau of Kizilsu Kirgiz Autonomous Prefecture, Altush Xinjiang

⁴Meteorological Bureau of the Seventh Agricultural Division, Kuitun Xinjiang

⁵Information Center of Xinjiang Meteorological Bureau, Urumqi Xinjiang

Received: Feb. 20th, 2022; accepted: Mar. 16th, 2022; published: Mar. 23rd, 2022

Abstract

Based on the daily average temperature data of 7 meteorological stations in Tacheng area of Xinjiang in recent 61 years (1960~2020), the temporal and spatial variation characteristics of accumulated temperature at different limits in Tacheng area were analyzed by using mathematical statistics methods such as linear trend rate, climatic trend coefficient and M-K mutation test. The results show that: 1) In recent 61 years, among the 7 stations in Tacheng area accumulated temperature is the highest in Wusu, Shawan is the second, and Hefeng is the least. High value center locates central and southern of Tacheng area, Tacheng Basin is the second, and Hefeng is the least. Among the seven stations, Wusu has the highest accumulated temperature, Shawan is next, and Hefeng is the least. Tacheng Basin is the second, and Hefeng basin is the least. 2) The accumulated temperature of each station and each region was the highest in the 1980s, 1990s and 2000, and the lowest in the 1960s. 3) The accumulated temperature of each station and each region showed a significant increase trend. The accumulated temperature of $\geq 0^{\circ}\text{C}$ and 15°C Toli increased significantly at $103.8^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ and $108.6^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, respectively. The accumulated temperature of $\geq 10^{\circ}\text{C}$ and 20°C Tachong increased significantly at $108.9^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ and $126.6^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, respectively. The growth rate of other stations is not the same; Tacheng Basin had the largest increase in accumulated temperature, with the rates of $98.7^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, $102.9^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, $102.0^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ and $115.5^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, respectively, followed by the south, and the least was Hefeng. 4) The accumulated temperature sequences of $\geq 0^{\circ}\text{C}$ and 10°C in Tacheng Basin had obvious abrupt changes from less to more and from more to less in the early 1990s, and the accumulated temperature sequences of $\geq 15^{\circ}\text{C}$ and 20°C had abrupt changes in the late 1980s. In the south, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ and 15°C accumulated temperature sequences were mutated in the mid-1990s, $\geq 0^{\circ}\text{C}$ accumulated temperature sequences were mutated in the mid-1990s, and $\geq 20^{\circ}\text{C}$ accumulated temperature sequences were mutated in the mid-1980s. The sequence of accumulated temperature $\geq 10^{\circ}\text{C}$ and 15°C in Hefeng was mutated in the late 1980s, the sequence of accumulated temperature $\geq 0^{\circ}\text{C}$ was mutated in the early 1990s, and the sequence of accumulated temperature $\geq 20^{\circ}\text{C}$ was mutated from the late 1980s to the early 1990s, with different mutation points in each region.

Keywords

Tacheng Area, Limit Accumulated Temperature, Variation Characteristics

Copyright © 2022 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

20 世纪 80 年代以来, 全球气候的明显变暖使得气候变化研究日益受到重视, 气候变化给人类的生存和发展带来了一系列重大影响, 已经危及到农业和粮食安全、水资源安全、能源安全、生态安全、公共卫生安全等各方面[1], 农业是受气候变化影响最为敏感的领域之一, 气候变化会导致农业气候资源的变化, 从而影响农业生产过程, 在一定程度上还影响着—个地区的农业产业布局和耕作栽培措施等, 而热量是最重要的气候资源之一, 它决定着—个地区的生态环境、植被分布、农作物种类及种植方式、作物品种和产量[2]。而气温、积温和界限温度又是衡量—个地区热量资源的重要指标, 是作物生长的重要因素之一, 对指导农业生产具有重要意义[3] [4], 是进行农业气候区划、合理配置农作物以及预报物候期、病虫害发生期的重要依据[5] [6], 不同界限温度的初日、终日和持续日数、活动积温, 可以分析和判断—个地区可提供给作物生长发育的热量资源数量。

目前国内外众多学者对中国的热量资源变化规律开展了诸多研究, 并取得了较多的研究成果。刘实等[7]利用 1951~2005 年东北地区 100 个气象站日平均气温资料, 得出各年代稳定通过 0℃和 10℃积温及其持续天数、起止日期分布的变化; 刘文娟, 郝成元等[8] [9]利用 1960~2009 年河南省 17 个气象站逐日均温资料, 研究了期间河南省积温的时空变化, 结果表明, 河南省 $\geq 0^\circ\text{C}$ 和 $\geq 10^\circ\text{C}$ 活动积温均呈上升趋势; 且 2000 年后, 两种积温均发生了较显著的增加, 且呈自南而北的增大趋势; 戴声佩等[10]选用福建、广东、广西、云南和海南 143 个序列较长的气象站 1960~2011 年逐日平均气温实测数据, 分析了 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温的时空变化, 结果表明, 1960 年以来研究区域 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温呈增加趋势; 樊静[11]的研究表明, 近 40 年新疆奇台县气候趋向变暖, 特别是 1988 年以后气温升高明显, 冬季增温的贡献最大, $\geq 10^\circ\text{C}$ 活动积温呈减少趋势; 李兰等[12] [13]对莫索湾地区农业气候资源进行了分析, 发现该区域 $\geq 0^\circ\text{C}$ 、 10°C 、 15°C 、 20°C 的活动积温均有升高趋势, 但年际变化大, 而对近 45 年新疆地区 88 个气象观测站稳定通过 0℃的初日、终日、初终日数的研究表明, 全疆 $\geq 0^\circ\text{C}$ 积温呈增加趋势, 增加最多的是塔城盆地。

塔城地区素有新疆的“粮仓、肉库、油库”的美誉, 近年来塔城地区气象工作者对辖区内降水、气温、高温、霜冻、日照等农业气象资源均进行过相关的研究, 并得出一些对实际工作有指导意义的结论, 但对重要的农业气象指标——积温的研究尚未见诸报道。本文利用 1960~2020 年塔城地区 7 个气象观测站逐日平均气温资料, 用数理统计方法分析了 $\geq 0^\circ\text{C}$ 、 10°C 、 15°C 、 20°C 各界限温度积温的时空变化特征, 对揭示塔城地区热量资源分配格局, 以期科学高效利用农业气候资源, 更好地为农业生产服务提供参考, 同时为塔城地区农业经济结构、生产布局和作物种类调整提供指导。

2. 研究区域和方法

2.1. 研究区域概况

塔城地区位于新疆西北部, 远距海洋, 属温带大陆性干旱和半干旱气候区, 夏季炎热而短促, 冬季严寒而漫长, 辖区包括塔城市、乌苏市、沙湾市、托里县、额敏县、裕民县、和布克赛尔县, 境内热量资源较为丰富, 主要农作物有: 棉花、春玉米、冬春小麦、油葵、油菜、甜菜、打瓜、加工番茄等。在大气环流、地理纬度、独特地形等因素综合作用下, 同属—个行政区域内的 7 个气象观测站被划分为 3 个不同的气候带, 即塔城盆地(包括: 塔城、额敏、裕民、托里)、南部(包括: 乌苏、沙湾)、和布克赛尔

谷地(包括: 和布克赛尔简称“和丰”)。

2.2. 研究方法

利用塔城地区 7 个气象观测站 1960 年~2020 年逐年、月、日平均气温资料, 提取了 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 、 10°C 、 15°C 、 20°C 积温资料; 采用线性趋势法, 对 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 、 10°C 、 15°C 、 20°C 各界限温度积温时间序列变化特征进行分析, 采用 F 检验方法对频数进行显著性检验, 统一以显著性水平达到 0.05 作为通过检验的标准; 采用 M-K 突变检验对塔城盆地、南部、和丰各界限温度积温的周期变化进行检验和分析。

3. 近 61 年塔城地区各界限温度积温的时空变化特征

农作物的生长、发育和产量形成均需要一定的适宜温度(热量)条件, 当其他条件均得到满足时, 一定数量范围内的气温与作物生长发育速度成正相关关系, 同时还要累积到一定的温度总和才能完成其发育期, 这个温度累积数量称为积温。任何植物都有一个生长发育的下限温度(或称为生物学起点温度), 只有高于这个下限温度, 植物才能正常发育[8]。学术研究中, 把高于生物学下限温度的日平均气温值叫做活动积温, 活动积温是衡量一个地区农业热量资源的重要指标。

3.1. 各界限温度积温的时空分布

表 1 为近 61a 塔城 7 站 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 、 10°C 、 15°C 、 20°C 各界限温度积温资料, 对其进行分析表明, 近 61a 塔城 7 站 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 平均积温大值区主要分布在南部, 其中乌苏最多, 达 4295°C , 沙湾略少为 4207.3°C ; 次大值分布在塔城盆地, 其中塔城最多, 达 3665.9°C , 其后依次为额敏(3646.5°C)、裕民(3638.8°C)、最少为托里(3201.2°C); 最小值分布在和丰(2783.4°C)。 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温大值区主要分布在南部, 其中乌苏最多, 达 4006.7°C , 沙湾为 3922°C ; 次大值分布在塔城盆地, 其中塔城最多, 达 3324.1°C , 其后依次为额敏(3318.3°C)、裕民(3300.8°C)、最少为托里(2837.8°C); 最小值分布在和丰, 仅 2394.6°C 。 $\geq 15^{\circ}\text{C}$ 积温大值区主要分布在南部, 其中乌苏最多, 达 3598.1°C , 沙湾为 3508.6°C ; 次大值分布在塔城盆地, 其中塔城最多, 达 2806.9°C , 其后依次为额敏(2805.8°C)、裕民(2802.8°C)、最少为托里(2280.1°C); 最小值分布在和丰, 仅 1787.7°C 。 $\geq 20^{\circ}\text{C}$ 积温大值区仍分布在南部, 其中乌苏最多, 达 2883.4°C , 沙湾为 2757.5°C ; 次大值分布在塔城盆地, 其中裕民最多(1862.4°C), 其后依次为额敏(1835.2°C)、塔城(1825.7°C)、托里(1224.8°C); 最小值在和丰, 仅 654.9°C 。

综上所述, 近 61a 塔城地区 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 、 10°C 、 15°C 、 20°C 各界限温度积温呈递减趋势, 其中 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温最多, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 次多, $\geq 15^{\circ}\text{C}$ 居第三, $\geq 20^{\circ}\text{C}$ 最少; 7 站中乌苏 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 、 10°C 、 15°C 积温最多, 其后依次为沙湾、塔城、额敏、裕民、托里, 和丰最少; $\geq 20^{\circ}\text{C}$ 积温仍以乌苏最多, 其后依次为沙湾、裕民、额敏、塔城、托里, 和丰最少; 南部各界限温度积温最多, 其次为塔城盆地, 和丰最少。

3.2. 历年最多积温时空分布

对表 1 的分析表明, 各界限温度最多积温中 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温乌苏最多为 4785.5°C , 沙湾次多(4738.6°C), 其后依次为塔城、额敏、裕民、托里、和丰, 除塔城出现于 2008 年外, 其余各站均出现于 1997 年; $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温乌苏最多为 4614.1°C , 沙湾次多(4532.8°C), 其后依次为塔城、额敏、裕民、托里、和丰, 各站均出现于 1997 年; $\geq 15^{\circ}\text{C}$ 积温乌苏最多为 4175.2°C , 沙湾次多(4134.5°C), 其后依次为额敏、塔城、裕民、托里、和丰, 除塔城、和丰出现于 2008 年外, 其余各站均出现于 1997 年; $\geq 20^{\circ}\text{C}$ 积温沙湾最多为 3358.3°C , 乌苏次多(3356.7°C), 其后依次为塔城、额敏、裕民、托里、和丰, 除沙湾出现于 2012 年外, 其余各站均出现于 2008 年。

塔城地区各界限温度历年最多积温仍以南部乌苏最多, 沙湾次之, 其次为塔城盆地, 最少为和丰, 各界限温度积温出现时间相对较一致。

Table 1. Spatial distribution of minimum accumulated temperature of each boundary temperature in Tacheng area
表 1. 塔城地区各界限温度积温

		塔城	额敏	裕民	托里	和丰	乌苏	沙湾
$\geq 0^{\circ}\text{C}$	平均	3665.9	3646.5	3638.8	3201.2	2783.4	4295.0	4207.3
	最多	4266.9	4225.6	4229.0	3837.9	3343.5	4785.5	4738.6
	年份	2008	1997	1997	1997	1997	1997	1997
	最少	3032.4	2883.7	3073.1	2598.3	2345.3	3681.1	3701.8
	年份	1960	1960	1960	1960	1960	1960	1960
$\geq 10^{\circ}\text{C}$	平均	3324.1	3318.3	3300.8	2837.8	2394.6	4006.7	3922
	最多	4064.4	4033.4	4020.7	3570.4	2889.7	4614.1	4532.8
	年份	1997	1997	1997	1997	1997	1997	1997
	最少	2721.8	2789.2	2523.1	2231.3	2011.5	3451.1	3507.3
	年份	1960	1969	1960	1960	1960	1960	1960
$\geq 15^{\circ}\text{C}$	平均	2806.9	2805.8	2802.8	2280.1	1787.7	3598.1	3508.6
	最多	3362.0	3386.4	3360.7	2914.6	2305.2	4175.2	4134.5
	年份	2008	1997	1997	1997	2008	1997	1997
	最少	2211.3	2288.5	1902.5	1596.7	1273.0	2947.8	2984.9
	年份	1960	1969	1960	1960	1960	1960	1960
$\geq 20^{\circ}\text{C}$	平均	1825.7	1835.2	1862.4	1224.8	654.9	2883.4	2757.5
	最多	2823.8	2707.3	2687.0	2128.0	1212.6	3356.7	3358.3
	年份	2008	2008	2008	2008	2008	2008	2012
	最少	1019.4	1198.6	1029.3	330.8	186.0	2223.9	2299.2
	年份	1960	1972	1960	1972	1961	1960	1970

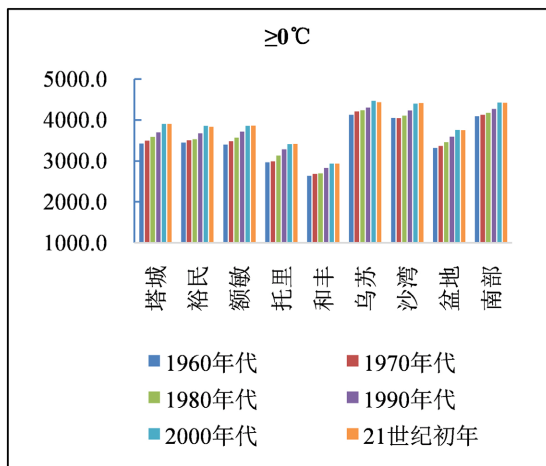
3.3. 历年最少积温时空分布

对表 1 的分析表明, 各界限温度最少积温中 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温南部最少为 $3701.8^{\circ}\text{C}\sim 3681.1^{\circ}\text{C}$, 塔城盆地为 $3032.4^{\circ}\text{C}\sim 2598.3^{\circ}\text{C}$, 和丰为 2345.3°C , 均出现于 1960 年; $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温南部最少为 $3507.3^{\circ}\text{C}\sim 3451.1^{\circ}\text{C}$, 塔城盆地为 $2789.2^{\circ}\text{C}\sim 2231.3^{\circ}\text{C}$, 和丰为 2011.5°C , 均出现于 1960 年; $\geq 15^{\circ}\text{C}$ 积温南部为 $2984.9^{\circ}\text{C}\sim 2947.8^{\circ}\text{C}$, 塔城盆地为 $2288.5^{\circ}\text{C}\sim 1596.7^{\circ}\text{C}$, 和丰为 1273.0°C , 除额敏出现于 1969 年外, 其余各站均出现于 1960 年; $\geq 20^{\circ}\text{C}$ 积温南部为 $2299.2^{\circ}\text{C}\sim 2223.9^{\circ}\text{C}$, 塔城盆地为 $1198.6^{\circ}\text{C}\sim 330.8^{\circ}\text{C}$, 和丰为 186.0°C , 其中额敏、托里出现于 1972 年、和丰出现于 1961 年, 其余各站均出现于 1960 年。

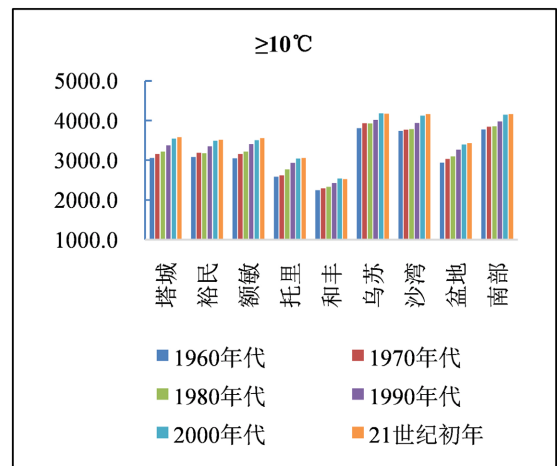
塔城地区各界限温度历年最少积温仍以乌苏、沙湾最多, 其次为塔城盆地, 最少为和丰, 各界限温度积温历年最少值出现时间相对较一致。

3.4. 各界限温度积温的年代际变化

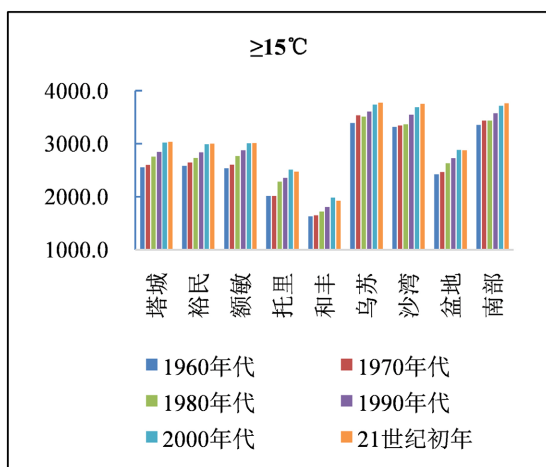
图 1(a)~(d)为塔城地区各界限温度积温年代际分布,从图中可以看出, $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温塔城、额敏、乌苏表现为从“少-多-多-多-多-少”的交替演变,托里、和丰表现为从“少-多-多-多-多-多”的交替演变,裕民表现为从“少-多-多-多-少-多”的交替演变,沙湾表现为从“多-少-多-多-多-多”的交替演变; $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温塔城、额敏、托里、沙湾表现为从“少-多-多-多-多-多”的交替演变,和丰表现为从“少-多-多-多-多-少”的交替演变,裕民表现为从“少-多-少-多-多-多”的交替演变,乌苏表现为从“少-多-少-多-多-少”的交替演变; $\geq 15^{\circ}\text{C}$ 积温塔城、额敏、裕民、沙湾表现为从“少-多-多-多-多-多”的交替演变,托里、和丰表现为从“少-多-多-多-多-少”的交替演变,乌苏表现为从“少-多-少-多-多-多”的交替演变; $\geq 20^{\circ}\text{C}$ 积温额敏、裕民表现为从“少-多-多-多-多-少”的交替演变,沙湾、和丰表现为从“多-少-多-多-多-少”的交替演变,塔城表现为从“少-多-多-多-多-多”的交替演变,托里表现为从“少-多-多-多-多-多”的交替演变,乌苏表现为从“多-多-多-少-多-少”的交替演变。



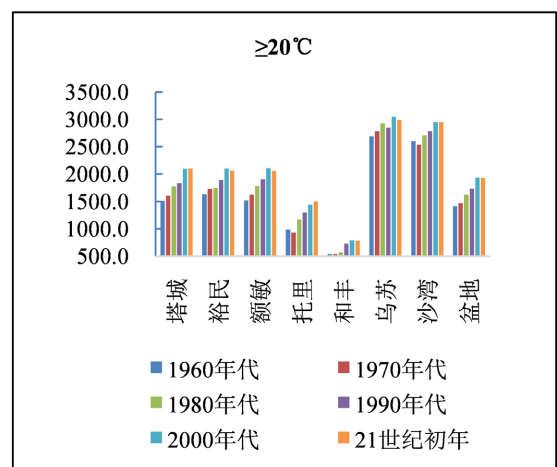
(a) $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温



(b) $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温



(c) $\geq 15^{\circ}\text{C}$ 积温



(d) $\geq 20^{\circ}\text{C}$ 积温

Figure 1. (a)~(d) Interdecadal distribution of accumulated temperature of boundary in Tacheng Area (The x-coordinate is the site and area)

图 1. (a)~(d)塔城地区各界限温度积温年代际分布(横坐标为站点及区域)

就区域而言, $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温塔城盆地和南部均表现为从“少-多-多-多-多-少”的交替演变, 和丰表现为从“少-多-多-多-多-多”的交替演变, 各区域均在 1970、1980、1990、2000 年代表现为增多趋势; $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温塔城盆地和南部均表现为从“少-多-多-多-多-多”的交替演变, 和丰表现为从“少-多-多-多-多-少”的交替演变, 各区域均在 1970、1980、1990、2000 年代表现为增多趋势; $\geq 15^{\circ}\text{C}$ 积温塔城盆地和和丰表现为从“少-多-多-多-多-少”的交替演变, 南部表现为从“少-多-多-多-多-多”的交替演变, 各区域均 1970、1980、1990、2000 年代表现为增多趋势; $\geq 20^{\circ}\text{C}$ 积温塔城盆地表现为从“少-多-多-多-多-少”的交替演变, 南部表现为从“少-多-多-少-多-少”的交替演变, 和丰表现为从“多-少-多-多-多-少”的交替演变, 各区域均 1980、1990 年代表现为增多趋势。

综上所述, 塔城地区各站点及各区域各界限温度积温基本以 1980 年代、1990 年代、2000 年代最多, 1960 年代最少。

3.5. 各界限温度积温的线性变化特征

表 2 为塔城地区各界限温度积温倾向率及趋势系数, 就倾向率而言, $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温各站及各区域均表现为显著增多趋势(均通过了 0.01 的显著性水平检验), 7 站中托里增速最大, 以 $103.8^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 的速率显著增多, 其后依次为塔城、额敏、裕民、沙湾、乌苏, 最少为和丰, 以 $67.6^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 的速率显著增多, 区域中塔城盆地增速最大, 以 $98.7^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 的速率显著增多, 其次为南部($76.8^{\circ}\text{C}/10\text{a}$), 最少为和丰; $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温各站及各区域均表现为显著增多趋势(均通过了 0.01 的显著性水平检验), 7 站中塔城增速最大, 以 $108.9^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 的速率显著增多, 其后依次为托里、额敏、沙湾、裕民、乌苏, 最少为和丰, 以 $63.0^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 的速率显著增多, 区域中, 塔城盆地增速最大, 以 $102.9^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 的速率显著增多, 其次为南部($84.3^{\circ}\text{C}/10\text{a}$), 最少为和丰; $\geq 15^{\circ}\text{C}$ 积温各站及各区域均表现为显著增多趋势(均通过了 0.01 的显著性水平检验), 7 站中托里增速最大, 以 $108.6^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 的速率显著增多, 其后依次为塔城、额敏、沙湾、裕民、乌苏, 最少为和丰, 以 $72.9^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 的速率显著增多, 区域中塔城盆地增速最大, 以 $102.0^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 的速率显著增多, 其次为南部($86.1^{\circ}\text{C}/10\text{a}$), 最少为和丰; $\geq 20^{\circ}\text{C}$ 积温各站及各区域均表现为显著增多趋势(均通过了 0.01 的显著性水平检验), 7 站中塔城增速最大, 以 $126.6^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 的速率显著增多, 其后依次为托里、额敏、裕民、沙湾、乌苏, 最少为和丰, 以 $58.9^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 的速率显著增多, 区域中塔城盆地增速最大, 以 $115.5^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 的速率显著增多, 其次为南部($75.9^{\circ}\text{C}/10\text{a}$), 最少为和丰。这与李兰[13]文章所述, 全疆近 45a 88 站 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温呈增加趋势, 增加最多的是塔城盆地的结论一致。

就气候趋势系数而言, $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温各站及各区域均表现为显著增多趋势(均通过了 0.01 的显著性水平检验), 7 站中托里增速最大, 气候趋势系数为 0.75, 其后依次为塔城和额敏、沙湾、和丰、裕民, 最少为乌苏, 区域中塔城盆地增多最明显, 其次为南部和和丰; $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温各站及各区域均表现为显著增多趋势(均通过了 0.01 的显著性水平检验), 7 站中托里增速最大, 气候趋势系数为 0.73, 其后依次为塔城和额敏、沙湾、裕民, 最少为和丰和乌苏, 区域中塔城盆地增速最大, 其次为南部, 最少为和丰; $\geq 15^{\circ}\text{C}$ 积温各站及各区域均表现为显著增多趋势(均通过了 0.01 的显著性水平检验), 7 站中托里和塔城增速最大, 气候趋势系数均为 0.67, 其后依次为沙湾、额敏、裕民、乌苏, 最少为和丰, 区域中塔城盆地增速最大, 其次为南部, 最少为和丰; $\geq 20^{\circ}\text{C}$ 积温各站及各区域均表现为显著增多趋势(均通过了 0.01 的显著性水平检验), 7 站中塔城增速最大, 其后依次为托里、额敏、沙湾、裕民、乌苏, 最少为和丰, 区域中塔城盆地增速最大, 其次为南部, 最少为和丰。这与李兰[12]文章所述, 全疆近 45a 88 站 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温呈增加趋势, 增加最多的是塔城盆地的结论一致。

综上所述, 各站及各区域各界限温度积温均表现为显著增多趋势, 其中 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 、 $\geq 15^{\circ}\text{C}$ 积温托里增幅最大, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 、 $\geq 20^{\circ}\text{C}$ 积温塔城增幅最大, 其余各站增幅各不相同, 区域中塔城盆地增幅 > 南部 > 和丰。

Table 2. Trend rates and trend coefficients of accumulated temperature of all limit temperatures in Tacheng area unit: °C/10a
表 2. 塔城地区各界限温度积温倾向率及趋势系数, 单位: °C/10a

	≥0°C		≥10°C		≥15°C		≥20°C	
	倾向率	趋势系数	倾向率	趋势系数	倾向率	趋势系数	倾向率	趋势系数
塔城	103.2**	0.72**	108.9**	0.70**	105.4**	0.67**	126.6**	0.64**
额敏	100.5**	0.72**	104.1**	0.70**	102.8**	0.65**	119.4**	0.61**
裕民	87.2**	0.63**	91.1**	0.61**	91.3**	0.58**	95.2**	0.53**
托里	103.8**	0.75**	107.5**	0.73**	108.6**	0.67**	121.0**	0.62**
和丰	67.6**	0.64**	63.0**	0.57**	72.9**	0.55**	58.9**	0.41**
乌苏	67.8**	0.58**	74.2**	0.57**	75.7**	0.56**	64.4**	0.44**
沙湾	85.7**	0.68**	94.3**	0.68**	96.5**	0.66**	87.5**	0.57**
盆地	98.7**	0.71**	102.9**	0.70**	102.0**	0.66**	115.5**	0.62**
南部	76.8**	0.64**	84.3**	0.64**	86.1**	0.62**	75.9**	0.52**

注: *通过 0.05 的显著性检验; **通过 0.01 的显著性检验; ***通过 0.001 的显著性检验; -未通过检验。

3.6. 各界限温度积温 M-K 检验

图 2(a)~(l) 为塔城地区各界限温度积温 M-K 突变曲线图, 由图可知, 塔城盆地 $\geq 0^\circ\text{C}$ 积温序列在 20 世纪 90 年代初期发生过一次明显的由少到多和由多到少的突变, 根据 UF_k 和 UB_k 曲线交点的位置, 可以确定 1994 年前后 $\geq 0^\circ\text{C}$ 积温序列发生了突变, 1994 年为突变点; 南部地区在 20 世纪 90 年代后期发生过一次明显的由少到多和由多到少的突变, 根据 UF_k 和 UB_k 曲线交点的位置, 可以确定 1998 年前后 $\geq 0^\circ\text{C}$ 积温序列发生了突变, 1998 年为突变点; 和丰在 20 世纪 90 年代初期发生过一次明显的由少到多和由多到少的突变, 根据 UF_k 和 UB_k 曲线交点的位置, 可以确定 1991 年、1994 年前后 $\geq 0^\circ\text{C}$ 积温序列发生了突变, 1994 年为突变点。

塔城盆地 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温序列在 20 世纪 90 年代初期发生过一次明显的由少到多和由多到少的突变, 根据 UF_k 和 UB_k 曲线交点的位置, 可以确定 1990、1993、1994 年前后 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温序列发生了突变, 1994 年为突变点; 南部地区在 20 世纪 90 年代中期发生过一次明显的由少到多和由多到少的突变, 根据 UF_k 和 UB_k 曲线交点的位置, 可以确定 1995 年前后 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温序列发生了突变, 1995 年为突变点; 和丰在 20 世纪 80 年代后期发生过一次明显的由少到多和由多到少的突变, 根据 UF_k 和 UB_k 曲线交点的位置, 可以确定 1989 年、1992 年前后 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温序列发生了突变, 1989 年为突变点。

塔城盆地 $\geq 15^\circ\text{C}$ 积温序列在 20 世纪 80 年代末期发生过一次明显的由少到多和由多到少的突变, 根据 UF_k 和 UB_k 曲线交点的位置, 可以确定 1989 年前后 $\geq 15^\circ\text{C}$ 积温序列发生了突变, 突变点为 1989 年; 南部地区在 20 世纪 90 年代中期发生过一次明显的由少到多和由多到少的突变, 根据 UF_k 和 UB_k 曲线交点的位置, 可以确定 1995 年前后 $\geq 15^\circ\text{C}$ 积温序列发生了突变, 突变点为 1995 年; 和丰在 20 世纪 80 年代后期发生过一次明显的由少到多和由多到少的突变, 根据 UF_k 和 UB_k 曲线交点的位置, 可以确定 1987 年、1988 年前后 $\geq 15^\circ\text{C}$ 积温序列发生了突变, 1988 年为突变点。

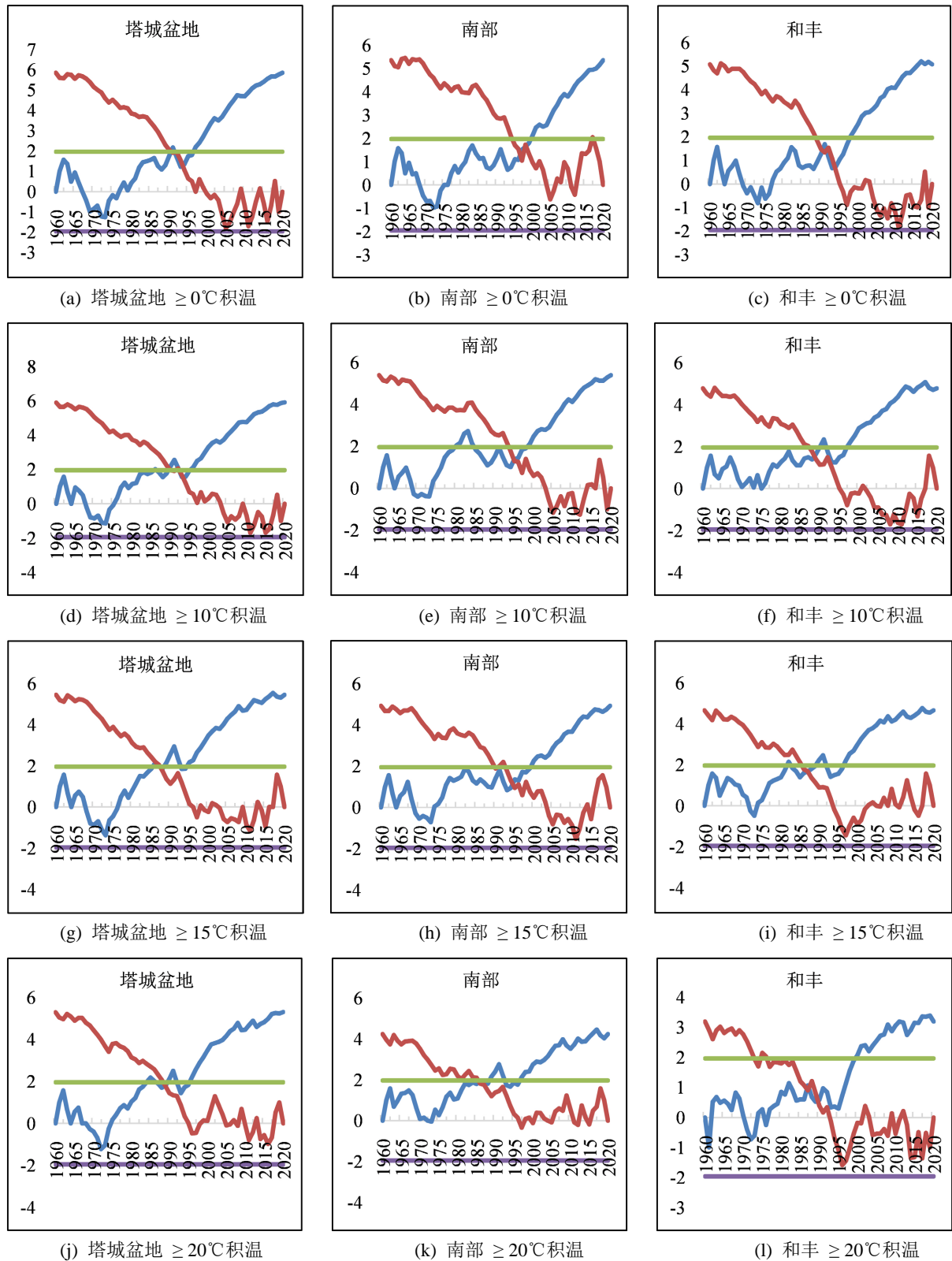


Figure 2. (a)~(l) M-K curve of accumulated temperature of boundary in Tacheng Area (red line is UF_k , blue line is UB_k , intersection point is mutation point, the x-coordinate is years)

图 2. (a)~(l)塔城地区各界限温度积温 M-K 曲线图(红线为 UF_k , 蓝线为 UB_k , 交点为突变点, 横坐标为年)

塔城盆地历年 $\geq 20^{\circ}\text{C}$ 积温序列在 20 世纪 80 年代末期发生过一次明显的由少到多和由多到少的突变, 根据 UF_k 和 UB_k 曲线交点的位置, 可以确定 1989 年前后 $\geq 20^{\circ}\text{C}$ 积温序列发生了突变, 突变点为 1989 年; 南部地区在 20 世纪 80 年代中后期发生过一次明显的由少到多和由多到少的突变, 根据 UF_k 和 UB_k 曲线交点的位置, 可以确定 1986 年、1987 年、1988 年前后 $\geq 20^{\circ}\text{C}$ 积温序列发生了突变, 1988 年为突变点; 和丰在 20 世纪 80 年代后期至 90 年代初期发生过一次明显的由少到多和由多到少的突变, 根据 UF_k 和 UB_k 曲线交点的位置, 可以确定 1987 年、1988 年、1990 年前后 $\geq 20^{\circ}\text{C}$ 积温序列发生了突变, 1987 和 1990 年为突变点。

综上所述, 塔城盆地 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 、 10°C 积温序列在 20 世纪 90 年代初期发生过明显的由少到多和由多到少的突变, $\geq 15^{\circ}\text{C}$ 、 20°C 积温序列在 20 世纪 80 年代末期发生过突变; 南部 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 、 15°C 积温序列在 20 世纪 90 年代中期发生过突变, $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温序列在 20 世纪 90 年代中期发生过突变, $\geq 20^{\circ}\text{C}$ 积温序列在 20 世纪 80 年代中期发生过突变; 和丰 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 、 15°C 积温序列在 20 世纪 80 年代末期发生过突变, $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温序列在 20 世纪 90 年代初期发生过突变, $\geq 20^{\circ}\text{C}$ 积温序列在 20 世纪 80 年代末期至 90 年代初期发生过突变。

4. 结论与讨论

1) 近 61a 塔城地区各界限温度积温以 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 最多, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 次多, $\geq 15^{\circ}\text{C}$ 居第三, $\geq 20^{\circ}\text{C}$ 积温最少; 7 站中乌苏各界限温度积温最多, 沙湾次之, 和丰最少; 区域中南部最多, 其次为塔城盆地, 和丰最少。

2) 塔城地区各站点及各区域各界限温度积温年代际差异较大, 基本以 1980 年代、1990 年代、2000 年代最多, 1960 年代最少。

3) 各站及各区域各界限温度积温均表现为显著增多趋势, 其中 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 、 15°C 积温托里增幅最大, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 、 20°C 积温塔城增幅最大, 其余各站增幅各不相同; 区域中塔城盆地各界限温度积温增幅最大, 分别以 $98.7^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 、 $102.9^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 、 $102.0^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 、 $115.5^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 的速率显著增多, 南部次之, 和丰最少。

4) 各区域 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温在 20 世纪 90 年代末期、 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温在 20 世纪 80 年代末期、90 年代中后期、 $\geq 15^{\circ}\text{C}$ 积温在 20 世纪 80 年代末期、90 年代中期、 $\geq 20^{\circ}\text{C}$ 在 20 世纪 80 年代末期均发生过明显的由少到多和由多到少的突变, 突变点各不相同。

基金项目

塔城地区气象局课题“1960~2020 年塔城地区积温时空变化特征分析”(202003)资助。

参考文献

- [1] 柏秦凤, 霍治国, 李世奎, 等. 1978 年前、后中国 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温对比[J]. 应用生态学报, 2008, 19(8): 1810-1816.
- [2] 蔡福, 张玉书, 陈鹏狮, 等. 近 50 年辽宁热量资源时空演变特征分析[J]. 自然资源学报, 2009, 24(9): 1635-1646.
- [3] 廖顺宝, 李泽辉. 积温数据栅格化方法的实验[J]. 地理研究, 2004, 23(5): 633-640.
- [4] 袁淑杰, 谷晓平, 向红琼, 等. 基于 GIS 的贵州高原复杂地形下积温的精细空间分布[J]. 资源科学, 2010, 32(12): 2427-2432.
- [5] 李飞, 王春, 赵军, 等. 中国陆地多年平均积温空间化研究[J]. 自然资源学报, 2010, 25(5): 778-784.
- [6] 邓振镛, 张强, 王强, 等. 高原地区农作物水热指标与特点的研究进展[J]. 冰川冻土, 2012, 34(1): 177-185.
- [7] 刘实, 王勇, 繆启龙, 等. 近 50 年东北地区热量资源变化特征[J]. 应用气象学报, 2010, 21(3): 266-278.
- [8] 刘志娟, 杨晓光, 王文峰. 气候变化背景下中国农业气候资源变化 IV. 黄淮海平原半湿润暖温麦-玉两熟灌溉农区农业气候资源时空变化特征[J]. 应用生态学报, 2011, 22(4): 905-912.
- [9] 郝成元, 李明秋. 1960-2009 年间河南省 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 和 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 活动积温时空变化[J]. 中国农业资源与区划, 2019, 40(6):

89-95.

- [10] 戴声佩, 李海亮, 罗红霞, 等. 1960-2011 年间华南地区界限温度 10°C 积温时空变化分析[J]. 地理学报, 2014, 69(5): 650-660.
- [11] 樊静. 近 40 年来奇台县农业气候资源的变化特征分析[J]. 中国农学通报, 2010, 26(1): 273-278.
- [12] 李兰, 杜军, 白素琴, 等. 莫索湾地区农业气候资源的变化特征分析[J]. 中国农业气象, 2009, 30(增 1): 33-37.
- [13] 李兰, 杜军, 白素琴, 等. 新疆近 45 年 0°C 界限温度积温变化特征分析[J]. 中国农业气象, 2009, 30(增 2): 181-184.