

近40年天山北坡经济带热量资源 时空变化特征研究

只娟¹, 张山清², 王荣晓¹, 徐文修³, 张娜³

(1. 新疆农业大学草业与环境科学学院, 新疆 乌鲁木齐 830052;

2. 新疆农业气象台, 新疆 乌鲁木齐 830002; 3. 新疆农业大学农学院, 新疆 乌鲁木齐 830052)

摘要: 利用天山北坡经济带11个气象台站1971—2010年年平均气温、无霜期、 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温的资料, 使用线性趋势分析、Mann-Kendall突变检验、 t -检验和IDW插值对天山北坡经济带的热量资源的时空变化特征进行分析。结果表明: 近40年天山北坡经济带的年平均气温、无霜期和 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温分别以 $0.4^\circ\text{C}\cdot 10\text{a}^{-1}$ 、 $3.2\text{d}\cdot 10\text{a}^{-1}$ 及 $87.2^\circ\text{C}\cdot \text{d}\cdot 10\text{a}^{-1}$ 的倾向率上升, 并均在20世纪90年代发生了突变, 突变年后比突变年前年平均气温增加了 1.1°C , 无霜期增加了8d, $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温增加了 $239.4^\circ\text{C}\cdot \text{d}^{-1}$, 而且随着年代的增加, 年平均气温、无霜期和 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温的增加趋势更加显著。空间上天山北坡经济带的热量资源具有显著的区域差异, 年平均气温、无霜期和 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温均呈现西北部高东部低的分布格局, 并随着时间的变化年平均气温、无霜期和 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温的高值区已由原来的乌苏市、克拉玛依市向西扩展到精河以西广大地区, 低值区范围缩小至玛纳斯县、呼图壁县周围一带。中东部地区的昌吉市、米泉市、阜康市等县市的热量资源的增加速率均高于中西部地区, 其中昌吉地区热量资源增加最为显著。

关键词: 热量资源; 时空变化; 天山北坡经济带

中图分类号: S161.2 文献标志码: A

Research on spatial-temporal variation of heat resources in Economic Zone of Northern Slope of Tianshan Mountain for recent 40 years

ZHI Juan¹, ZHANG Shan-qing², WANG Rong-xiao¹, XU Wen-xiu³, ZHANG Na³

(1. College of Grassland and Environment Sciences, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China;

2. Xinjiang Agro-meteorological Observatory, Urumqi 830002, China;

3. College of Agronomy, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

Abstract: Based on the data of average annual temperature, frost-free period and $\geq 10^\circ\text{C}$ accumulated temperature during 1971—2010 from 11 meteorological stations in Economic Zone of Northern Slope of Tianshan Mountain, using the linear regression analysis, Mann-Kendall mutation test, T -test and IDW interpolation, the spatial-temporal change characteristics of heat resources were analyzed. The results showed that: In recent 40 years, the annual average temperature, frost-free period and $\geq 10^\circ\text{C}$ accumulated temperature were increased by the tendency rate of $0.4^\circ\text{C}\cdot 10\text{a}^{-1}$, $3.2\text{d}\cdot 10\text{a}^{-1}$ and $87.2^\circ\text{C}\cdot \text{d}\cdot 10\text{a}^{-1}$ respectively. Also these elements had occurred the mutation in 1990s, the annual average temperature was increased by 1.1°C , frost-free period was increased by 8 d, and $\geq 10^\circ\text{C}$ accumulated temperature was increased by $239.4^\circ\text{C}\cdot \text{d}$ compared after and before mutation. Furthermore, with the era increasing, the increasing tendency of annual average temperature, frost-free period and $\geq 10^\circ\text{C}$ accumulated temperature were more notable. In space the heat resources in Northern Slope of Tianshan Mountain had significant regional difference and showed the distribution pattern as higher in northwestern and lower in eastern. And with the time change, the high value regions of the annual average temperature, frost-free period and $\geq 10^\circ\text{C}$ accumulated temperature have been expanded to west from the original Wusu and Kelamayi to the wide scope of west Jinghe, the low value regions were narrowed down to the Manas and

收稿日期: 2014-05-08

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(31260312); 农业部公益性行业专项(201103001)

作者简介: 只娟(1988—), 女, 浙江青田人, 硕士研究生, 研究方向为农业生态。E-mail: xndzhijuan@sina.com。

通信作者: 徐文修(1962—), 女, 河北蠡县人, 教授, 博士, 博士生导师, 从事耕作制度与农业生态研究。E-mail: xjxwx@sina.com。

Hutubi. At the same time, the increasing rate of heat resources in mid-east region, such as Changji, Miqan and Fukang were total higher than the middle and western regions, among them the heat resources increase in Changji City was the most significant.

Keywords: heat resources; temporal and spatial variation; Economic Zone of Northern Slope of Tianshan Mountain

IPCC 第五次评估报告指出,1901—2012 年全球海陆表面平均温度呈线性上升趋势,大约升高了 0.89°C ^[1],气候变暖已成为一个不争的事实。在全球气候变暖的背景下,新疆的气候也发生了改变。众多研究表明,过去 50 多年里新疆大部分地区因气温上升、降水增多而表现出不同程度的“暖湿化”变化^[2-6],这一改变将对新疆热量资源的增加起到促进作用,而热量资源的增加对当地农作物生育期的延长、农作物产量的增加、农作物品种的更新具有举足轻重的意义^[7-11]。

天山北坡经济带是新疆粮食、棉花以及瓜果等作物的主产区,气候变化势必对该区的农业生产产生重要的影响。已有学者对天山北坡的克拉玛依、乌昌、塔城及石河子等部分地区的气候变化进行了研究,尤其是对乌昌地区和石河子地区 2008 年之前的气温、降水等气象要素的研究较多^[12-16]。研究结果表明,乌昌地区和石河子地区年平均气温、冬季和夏季气温、年均降水量有不同程度的升高或增多趋势,而年日照时数和年平均风速呈减少趋势^[17-19]。此外,还有学者从林业的角度研究了天山北坡四季和植被生长季期间的气温和降水的变化^[20-24],但上述研究对于影响作物生长的年平均气温、无霜期、 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温等热量要素的研究很少,更缺乏对天山北坡经济带整个区域热量资源时空变化规律的系统研究。因此,本文在前人研究的基础上,利用天山北坡经济带 11 个气象台站 1971—2010 年的历史气候资料,对天山北坡经济带整个区域的热量资源进行系统的时空变化规律分析,为农业应对气候变化采取适宜的农业技术措施提供理论依据。

1 资料与方法

1.1 研究区概况

天山北坡经济带位于天山北麓,地处 $81^{\circ}46' \sim 88^{\circ}58' \text{E}$, $42^{\circ}45' \sim 46^{\circ}8' \text{N}$,行政区划上包括乌鲁木齐市、米泉市、昌吉市、阜康市、石河子市、乌苏市、奎屯市、克拉玛依市、乌鲁木齐县、呼图壁县、玛纳斯县、沙湾县等,总面积约 9.54万 km^2 ,人口 458 万人。该区域属典型的大陆性干旱气候区,年平均气温 7.2°C ^[21],昼夜温差大。这一区域优越的自然条件和先进的农业生产管理技术使天山北坡经济带成为

新疆最重要的粮食、棉花生产生产基地。2011 年天山北坡经济带粮食产量为 $1.41 \times 10^6 \text{ t}$,占全疆粮食总产量的 11.7%,棉花产量 $5.12 \times 10^5 \text{ t}$,占全疆棉花总产量的 17.7%。

1.2 资料

本研究选用天山北坡经济带 11 个气象台站 1971—2010 年年平均气温、年平均无霜期和 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年积温的数据均来自新疆维吾尔自治区气象局和中国气象局国家信息中心数据共享网(1971—2010 年),并用这 11 个站各要素序列平均值表示天山北坡经济带气候要素的时间序列。研究区域和气象站点分布见图 1。

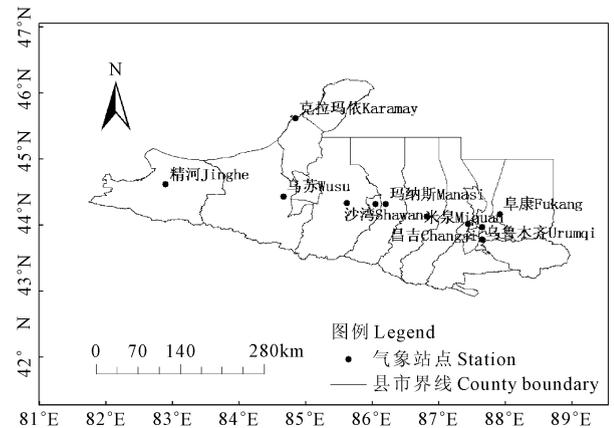


图 1 研究区域和气象站点分布

Fig.1 The distribution of the research regions and meteorological stations

1.3 主要研究方法

1.3.1 气候倾向率 用一元线性方程来描述热量资源的变化趋势^[4]。

1.3.2 气候要素的突变检测 检验气候突变的方法有多种,本文采用 Mann-Kendall 法来确定^[25-26]。

1.3.3 气候要素倾向率的空间分布模拟 基于 Arcgis 9.0 软件,使用 IDW(反距离插值)空间插值法完成各气候要素的空间分布模拟。

2 结果与分析

2.1 各气象要素的年际和年代际变化特征

2.1.1 年平均气温 年平均气温是体现一个地区气候冷暖、热量资源多寡的最基本气候要素^[13]。近 40 年来,天山北坡经济带年平均气温 7.7°C ,最高值

为 9.1℃(2006 年和 2008 年),最低值为 5.9℃(1984 年),极差是 3.2℃(图 2a)。从图 2a 可知,1971—2010 年,天山北坡经济带年平均气温呈波动上升趋势,变化倾向率为 $0.4\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot 10\text{a}^{-1}$ ($r = 0.60$),近 40 年年平均气温升高了 1.6℃。进一步分析各年代年平均气温的变化可知,随着年代的增加气温呈增加趋势(表 1),20 世纪 80 年代比 70 年代平均气温高出了 0.3℃,90 年代比 80 年代高出了 0.4℃,2000 年代比 90 年代又高出 0.6℃,充分说明随着年代的增加,年平均气温增加越大。

使用 Mann-Kendall 法检验年平均气温的突变得知(图 2b),天山北坡经济带年平均气温在 1995 年发生暖突变($\alpha = 0.01$)(图 2b)。突变年后的年平均气温比突变年前的年平均气温上升了 1.1℃,而且

1995 年之后距平均以正距平为主,特别是 2006—2008 年年平均气温正距平均超过 1.1℃,说明自 1995 年以来年平均气温呈持续偏高的趋势,且在 2006—2008 年的增温更加明显。

表 1 1971—2010 年天山北坡经济带各热量要素的年代际变化

Table 1 Interdecadal change of heat elements during 1971—2010 in

the Economic Zone of Northern Slope of Tianshan Mountain

年代 Year	年平均气温 Annual mean temperature /℃	无霜期 Frost free period /d	$\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ accumulated temperature ($^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}^{-1}$)
1971—1980	7.2	185	3641.9
1981—1990	7.5	183	3573.2
1991—2000	7.9	187	3699.5
2001—2010	8.5	193	3851.8

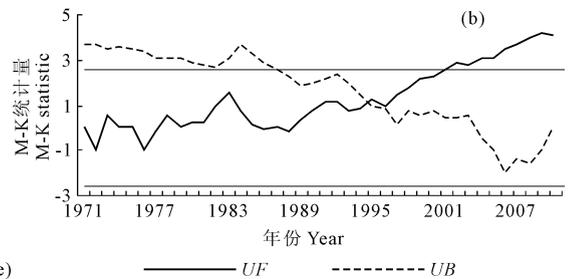
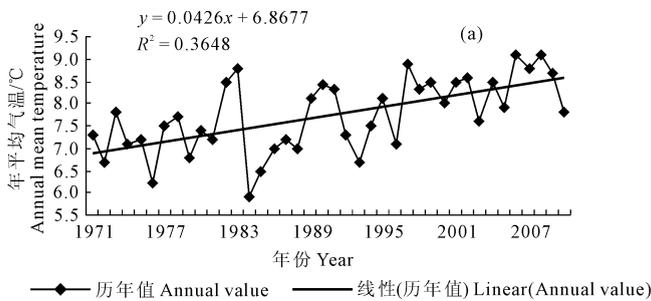


图 2 天山北坡经济带 1971—2010 年年平均气温变化情况(a)和年平均气温突变情况(b)

Fig.2 The change situation of annual mean temperature(a)and annual mean temperature mutation(b) during 1971—2010 in

Economic Zone of Northern Slope of Tianshan Mountain

2.1.2 无霜期 无霜期是指一年中终霜后至初霜前的一整段时间,是反映地区热量情况的指标之一^[27]。近 40 年天山北坡经济带无霜期平均为 187 d,最长无霜期为 215 d(1997 年),最短无霜期为 162 d(1984 年),极差是 53 d(见图 3a)。从图 3a 可知,整个天山北坡经济带的无霜期表现为明显的延长趋势,其倾向率为 $3.2\text{ d}\cdot 10\text{a}^{-1}$ ($r = 0.32$),近 40 年天山北坡经济带无霜期平均增加了 12.8 d。进一步分析各年代平均无霜期可知(图 3a),20 世纪 90 年代平均无霜期比 80 年代增加 4 d,2000 年代比 90 年代平均增加 6 d(表 1)。

通过 Mann-Kendall 法对天山北坡经济带的无霜期进行突变检验可知(图 3b),自 1990 年之后 UF 的值开始逐渐大于 0,则表明无霜期从 1990 年之后呈增加趋势。UF 和 UB 两条曲线出现多个交点且交点在临界线之间,分别是 1995 年、1996 年、2000 年和 2003 年($\alpha = 0.05$)。经 t 检验进一步分析,1995 年是无霜期的突变点($P < 0.05$)。突变年后的无霜期比突变年前的无霜期增加了 8 d,而且 1995 年之后距平均以正距平为主,特别是 1997 年、2006

年和 2009 年无霜期的正距平均超过 20 d,说明自 1995 年以后无霜期呈持续延长的趋势,且在 1997 年、2006 年和 2009 年延长的更加明显。

2.1.3 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年活动积温 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年活动积温是热量资源的一项指标,与农作物生长发育关系最为紧密,所以常用 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的年活动积温衡量大多数农作物所需的热量状况^[28]。1971—2010 年天山北坡经济带 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年活动积温平均值为 $3\ 691.6^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}^{-1}$ 。图 4a 表明,天山北坡经济带 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年活动积温以 $87.2^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}\cdot 10\text{a}^{-1}$ ($r = 0.39$) 的倾向率呈上升趋势,近 40 年 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年活动积温增加了 $348.8^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 。表 1 表明,整个天山北坡经济带 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年活动积温与无霜期的变化趋势相似,也随年代的增加呈增加趋势,90 年代平均 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年活动积温比 80 年代的平均值增加 $126.3^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$,2000 年代的平均值又比 90 年代的平均增加 $152.3^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 。

对天山北坡经济带 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年活动积温进行 Mann-Kendall 法突变检验得出(图 4b),自 1997 年之后 UF 的值开始逐渐大于 0,表明 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年活动积温从 1997 年之后呈增加趋势。UF 和 UB 两条曲线

出现多个交点且交点在临界线之间,分别是1999年、2001年和2003年($\alpha = 0.05$)。通过 t 检验进一步分析得出,1999年是 $\geq 10^\circ\text{C}$ 年活动积温的突变点($P < 0.05$)。突变年前比突变年后 $\geq 10^\circ\text{C}$ 年活动积温增加了 $239.4^\circ\text{C}\cdot\text{d}$,而且1999年之后距平均以正

距平为主,特别是2000—2009年的 $\geq 10^\circ\text{C}$ 活动积温的正距平均超过 $100^\circ\text{C}\cdot\text{d}$,说明自1999年以后 $\geq 10^\circ\text{C}$ 活动积温呈持续偏高的趋势,且在2000—2009年增加的更为明显。

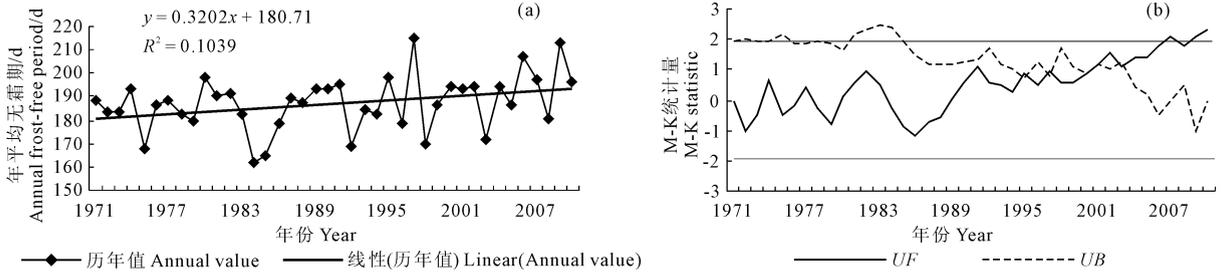


图3 天山北坡经济带1971—2010年平均无霜期变化情况(a)和年平均无霜期突变情况(b)

Fig.3 The change situation of annual mean frost free period(a) and annual mean frost free period mutation(b) during 1971—2010 in Economic Zone of Northern Slope of Tianshan Mountain

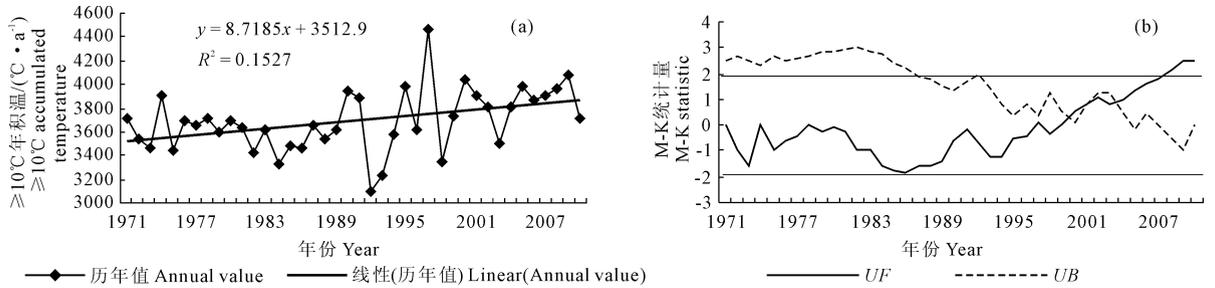


图4 天山北坡经济带1971—2010年 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温变化情况(a)和 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温突变情况(b)

Fig.4 The change situation of $\geq 10^\circ\text{C}$ accumulated temperature(a) and $\geq 10^\circ\text{C}$ accumulated temperature mutation(b) during 1971—2010 in Economic Zone of Northern Slope of Tianshan Mountain

2.2 各气象要素的空间变化特征

2.2.1 年平均气温

进一步分析近40年天山北坡经济带年平均气温空间的变化趋势。突变年前后对比(图5a和图5b)可知,突变年前整个天山北坡经济带年平均气温呈现出明显的西高东低的分布特点,其温度范围在 $6.7^\circ\text{C} \sim 8.5^\circ\text{C}$ 之间,其中乌苏市至克拉玛依市广大范围的年平均气温最高,平均在 $7.9^\circ\text{C} \sim 8.5^\circ\text{C}$ 之间。然而在突变年之后,整个天山北坡各县市的年平均气温明显增加,其温度范围增加至 $7.4^\circ\text{C} \sim 9.1^\circ\text{C}$,年平均气温的高值区已有原来的乌苏市、克拉玛依市向西扩展到精河以西广大地区,其中精河县、乌苏市、克拉玛依市和米泉市的年平均气温在 8°C 以上。同时,突变后年平均气温的低值区面积不仅明显减少,由原先的玛纳斯县以东的广大地区(除乌昌、米泉外)缩小至玛纳斯县、呼图壁县周围一带,而且低值区的年平均气温比突变前明显提高,平均提高了 $0.9^\circ\text{C} \sim 1.1^\circ\text{C}$,尤其是昌吉地区年平均气温比突变前明显提高,温度上升了 2.0°C 。

天山北坡经济带东部地区的昌吉市、阜康市和乌鲁木齐市的年平均气温的增温速率在 $0.3 \sim 0.9^\circ\text{C}\cdot 10\text{a}^{-1}$ 之间,高于中西部地区的 $0.2 \sim 0.5^\circ\text{C}\cdot 10\text{a}^{-1}$ 。其中,年平均气温最大值出现在东部昌吉地区,达到 $0.9^\circ\text{C}\cdot 10\text{a}^{-1}$ ($r = 0.83$);最小值出现在中部玛纳斯地区,仅有 $0.2^\circ\text{C}\cdot 10\text{a}^{-1}$ ($r = 0.38$)。

2.2.2 无霜期

近40年天山北坡经济带无霜期与年平均气温一样均在1995年发生了突变,并与年平均气温的空间变化相似(图6)。突变年前天山北坡经济带年均无霜期基本呈现出以沙湾县以北广大地区无霜期较长、中东部地区无霜期偏短分布特点。其中,北部的克拉玛依市部分地区无霜期最长高达 $194 \sim 198\text{d}$ 之间。然后突变年之后天山北坡经济带各地区无霜期的变化整体上均有延长趋势,年均无霜期的范围由突变年前的 $174 \sim 198\text{d}$ 延长至 $177 \sim 207\text{d}$ 。突变年后原来无霜期的低值区不仅天数延长了 $3 \sim 9\text{d}$,而且其范围明显减少,从原来的石河子市、玛纳斯县、呼图壁县、昌吉市和阜康市一带,缩小到仅只有在石河子市、玛纳斯县、呼图壁县附近,而

且东部的高值区范围向乌苏县以南方向进一步扩大,使得东部昌吉地区成为整个天山北坡经济带无霜期延长最大的地区,无霜期平均延长了 19 d。

天山北坡经济带各县市的无霜期的延长速率的分布与年平均气温的增温速率一致,东部地区昌吉市、米泉市、阜康市和乌鲁木齐市的延长速率在 $2.2 \sim 8.7 \text{ d} \cdot 10\text{a}^{-1}$ 之间,高于中西部地区的延长速率 0.9

$\sim 4.8 \text{ d} \cdot 10\text{a}^{-1}$ 。尤其是东部昌吉地区的延长速率高于其它县市,达到 $8.7 \text{ d} \cdot 10\text{a}^{-1} (r = 0.58)$;而中部玛纳斯地区的延长速率最慢,仅有 $0.9 \text{ d} \cdot 10\text{a}^{-1} (r = 0.08)$ 。

2.2.3 $\geq 10^\circ\text{C}$ 年活动积温 1971—2010 年天山北坡经济带 $\geq 10^\circ\text{C}$ 年活动积温的突变点在 1999 年。对比突变年前后(图 7a 和图 7b)可知,突变年前整个天山北坡经济带 $\geq 10^\circ\text{C}$ 年活动积温呈现西北部高

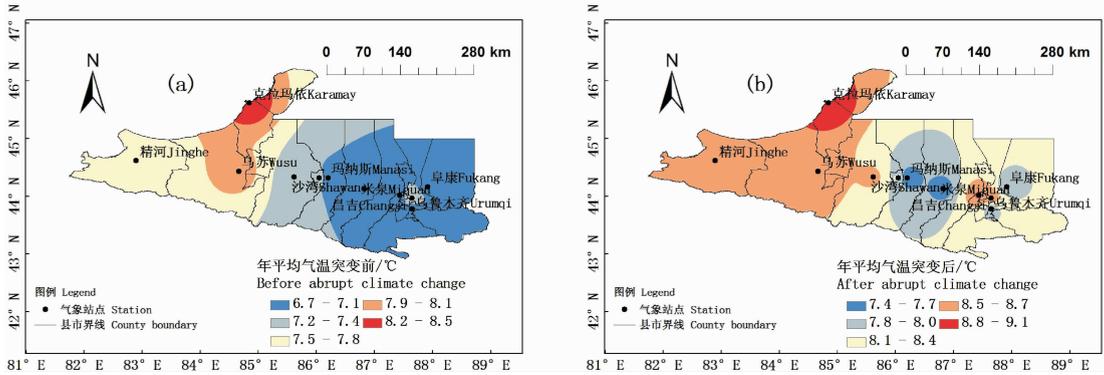


图 5 天山北坡经济带 1971—2010 年年均温突变前(a)和突变后(b)的空间分布

Fig.5 The spatial distribution of annual mean temperature before (a) and after (b) mutation during 1971—2010 in Economic Zone of Northern Slope of Tianshan Mountain

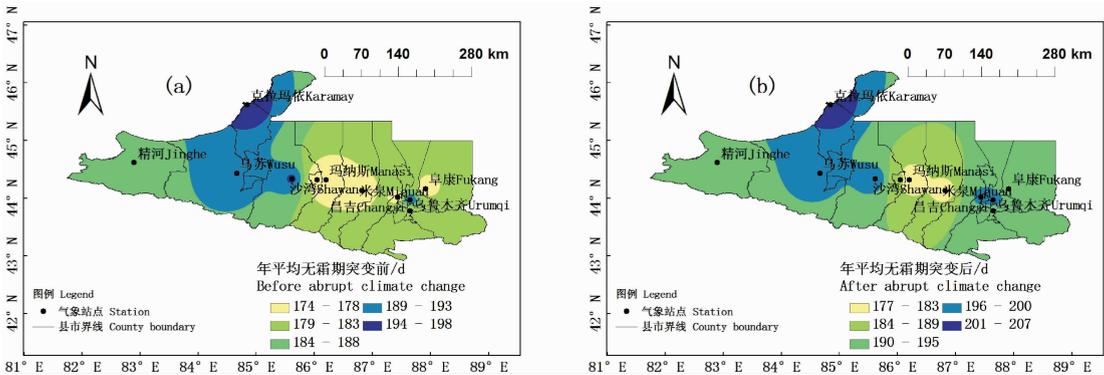


图 6 天山北坡经济带 1971—2010 年无霜期突变前(a)和突变后(b)的空间分布

Fig.6 The spatial distribution of annual frost free period before (a) and after (b) mutation during 1971—2010 in Economic Zone of Northern Slope of Tianshan Mountain

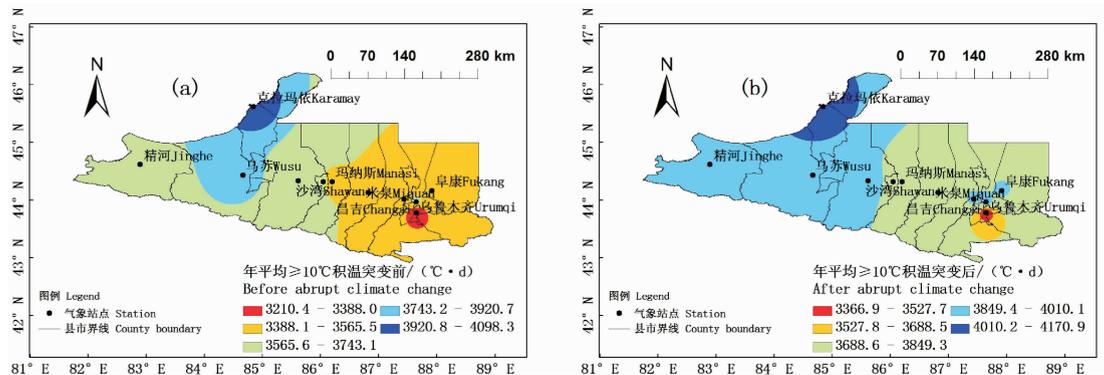


图 7 天山北坡经济带 1971—2010 年 $\geq 10^\circ\text{C}$ 的积温突变前(a)和突变后(b)的空间分布

Fig.7 The spatial distribution of $\geq 10^\circ\text{C}$ accumulated temperature before (a) and after (b) mutation during 1971—2010 in Economic Zone of Northern Slope of Tianshan Mountain

东部低的分布格局,其 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年活动积温范围在 $3210.4 \sim 4098.3^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 之间。突变年之后,整个天山北坡经济带各个县市的 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年活动积温均有增加趋势,除乌鲁木齐市、昌吉市和玛纳斯县外,其余县市均超过 $3\ 600^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$,其气候保证率超过了 50.0% 。尤其克拉玛依市的 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年活动积温最高超过 $4\ 000^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$,其气候保证率超过了 68.3% 。 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年活动积温的高值区从原来的乌苏市、克拉玛依市附近向西扩展到精河县以西、向东扩展到沙湾县的广大地区。同时,突变年后 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年活动积温的低值区面积明显减少,由原来的石河子以东大部分地区缩小至乌鲁木齐市附近。突变后曾经在低值区内的昌吉市、米泉市、阜康市的 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 活动积温增加明显,其突变前后增加了 $283.8 \sim 300.5^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 。

天山北坡经济带各县市的 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年活动积温增加速率的分布与年平均气温和无霜期的变化相似,东部地区除去乌鲁木齐市外,昌吉市、米泉市、阜康市的增加速率在 $93.6 \sim 152.7^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}\cdot 10\text{a}^{-1}$ 之间,高于中西部地区的增加速率 $41.4 \sim 119.0^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}\cdot 10\text{a}^{-1}$ 。其中,昌吉地区 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 活动积温增加速率均高于其它县市,高达 $152.7^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}\cdot 10\text{a}^{-1}$ ($r = 0.53$);而乌鲁木齐地区的增加速率最慢,仅有 $6.4^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}\cdot 10\text{a}^{-1}$ ($r = 0.02$)

3 结论与讨论

3.1 结论

(1) 近40年来,随着时间的变化天山北坡经济带热量资源总体呈较明显的增多趋势,年平均气温增加了 1.6°C ,其变化的倾向率为 $0.4^{\circ}\text{C}\cdot 10\text{a}^{-1}$,高于1960—2001年天山北坡经济带年均增温倾向率 $0.3^{\circ}\text{C}\cdot 10\text{a}^{-1}$ [21],说明近10年的增温趋势更加明显。年平均无霜期以 $3.2\text{d}\cdot 10\text{a}^{-1}$ 的速率在延长,40年来延长了 12.8d 。同时, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年活动积温的倾向率也在增加为 $87.2^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}\cdot 10\text{a}^{-1}$,40年来增加了 $348.8^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}^{-1}$,2000年以来平均已达到 $3\ 851.8^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}^{-1}$ 。

(2) 1971—2010年天山北坡经济带年平均气温、年平均无霜期和 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年活动积温的突变年分别是1995年,1995年和1999年,突变年后年平均气温上升了 1.1°C ,无霜期平均日数增加了 8d , $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年活动积温增加了 $239.4^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 。

(3) 从空间上来说,天山北坡经济带的热量资源具有显著的区域差异,年平均气温、无霜期和 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年活动积温均呈现西北部高东部低的分布格

局,尤其是突变年之后,年平均气温、无霜期和 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年活动积温的高值区已由原来的乌苏市、克拉玛依市向西扩展到精河以西地区,低值区范围由原先的玛纳斯县以东的广大地区(除乌昌、米泉外)缩小至玛纳斯县、呼图壁县周围一带,并且原热量条件较低的东部地区在突变年之后,热量资源的增加趋势更加显著,其各要素的倾向率均高于中西部地区,尤其是昌吉地区热量资源增加最快,其各项倾向率均高于其它县市。

4.2 讨论

近40年天山北坡经济带年平均气温、无霜期和 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年积温均随着时间变化呈增加趋势,说明该地区的热量资源在不断增加,使得以往因热量限制而不能种植的农作物在该地区将有可能适宜种植[29]。突变年之后克拉玛依市的 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温超过 $4\ 000^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$,已满足符合棉花中熟品种的积温要求[28],因此原先只能种植早熟棉花品种的克拉玛依市,在今后棉花种植中对品种有更大的选择空间,进一步挖掘棉花品种的内在增产潜力,从而提高棉花产量。此外,由于天山北坡整个地区热量资源的增加也会对该地区的熟制产生影响,所以原来热量条件基本满足一年两熟的精河县、乌苏市、沙湾县、克拉玛依市,逐渐增加到现在除乌鲁木齐市、昌吉市和玛纳斯县之外的整个天山北坡广大地区,这对于调整该区域的种植业结构,提高复种指数无疑是有利的。

参考文献:

- [1] IPCC. Working Group I Contribution to The IPCC Fifth Assessment Report (AR5), Climate Change 2013: The Physical Science Basis [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2013.
- [2] 薛燕,韩萍,冯国华.半个世纪以来新疆降水和气温的变化趋势[J].干旱区研究,2003,20(2):127-130.
- [3] 贺晋云,张明军,王鹏,等.新疆气候变化研究进展[J].干旱区研究,2011,28(3):499-508.
- [4] 普宗朝,张山清,杨琳.1961—2008年新疆克拉玛依市气候变化分析[J].新疆农业大学学报,2009,32(4):55-60.
- [5] 甘艳露,李宏,马勇刚,等.近50年新疆北疆地区气候变化趋势分析研究[J].云南地理环境研究,2012,24(6):80-86.
- [6] 黄海云,张山清,沙曼曼,等.1961—2008年塔城地区气候变化特征[J].新疆农业大学学报,2012,35(3):242-248.
- [7] 刘波,冯锦明,马柱国,等.1960—2005年新疆气候变化的基本特征[J].气候与环境研究,2009,14(4):414-426.
- [8] 赵俊芳,郭建平,马玉平,等.气候变化背景下我国农业热量资源的变化趋势及适应对策[J].应用生态学报,2010,21(11):2922-2930.
- [9] 肖风劲,张海东,王春乙,等.气候变化对我国农业的可能影响及适应性对策[J].自然灾害学报,2006,15(6):327-331.

参考文献:

- [1] McKee T B, Doesken N J, Kleist J. The relationship of drought frequency and duration to time scales[C]//The 8th conference on applied climatology, American Meteorological Society, 1993.
- [2] 袁文平,周广胜.标准化降水指标与Z指数在我国应用的对比分析[J].植物生态学报,2004,28(4):523-529.
- [3] 冷明珠,李林,王振宇.SPI指数在青海东部地区干旱监测中的应用及检验[J].青海气象,2007,(4):21-24.
- [4] 韩萍,王鹏新,王彦集.多尺度标准化降水指数的ARIMA模型干旱预测研究[J].干旱地区农业研究,2008,26(2):212-218.
- [5] 袁云,李栋梁,安迪.基于标准化降水指数的中国冬季干旱分区及气候特征[J].中国沙漠,2010,30(4):917-925.
- [6] 林盛吉,许月萍.基于Z指数和SPI指数的钱塘江流域干旱时空分析[J].水力发电学报,2012,31(2):20-25.
- [7] 罗艳青,邹滨,邱永红.华东地区干旱灾害时空演化特征研究[J].干旱区资源与环境,2013,27(10):58-64.
- [8] 付丽娟,曹杰,德勒格日玛.三种气象干旱指标在内蒙古地区的适用性分析[J].干旱区资源与环境,2013,27(2):108-113.
- [9] 马海娇,严登华,翁白莎.典型干旱指数在滦河流域的适用性评价[J].干旱区研究,2013,30(4):728-734.
- [10] 李伟,黎洪德.旱涝灾害的分形研究方法[J].灾害学,2000,15(2):17-22.
- [11] 李海毅,汤洁,斯蒿.分形理论在吉林西部干旱指数预测中的应用[J].东北师范大学学报(自然科学版),2007,39(1):126-130.
- [12] 丁贤法,李巧媛,胡国贤.云南省近500年旱涝灾害时间序列的分形研究[J].灾害学,2010,25(2):76-80.
- [13] 彭高辉,马建琴.黄河流域干旱时序分形特征及空间关系研究[J].人民黄河,2013,35(5):38-40.
- [14] 陈社明,卢文喜,罗建男.吉林西部气象干旱的多尺度分形特征[J].吉林大学学报(地球科学版),2013,43(1):245-250.
- [15] 严登华,袁喆,杨志勇.1961年以来海河流域干旱时空变化特征分析[J].水科学进展,2013,24(1):34-41.
- [16] 孙智辉,王治亮,曹雪梅.基于标准化降水指数的陕西黄土高原地区1971-2010年干旱变化特征[J].中国沙漠,2013,33(5):1560-1567.
- [17] 王莺,李耀辉,胡田田.基于SPI指数的甘肃省河东地区干旱时空特征分析[J].中国沙漠,2014,34(1):244-253.
- [18] 周扬,李宁,吉中会.基于SPI指数的1981-2010年内蒙古地区干旱时空分布特征[J].自然资源学报,2013,28(10):1694-1706.
- [19] Kabondan M A. Diagnosing time-series dynamical structures[J]. Chaos, Solution & Fractals, 1996,7(7):977-990.
- [10] 郑冰婵.气候变化对中国种植制度影响的研究进展[J].中国农学通报,2012,28(2):308-311.
- [11] 周曙东,周文魁,林光华,等.未来气候变化对我国粮食安全的影响[J].南京农业大学学报(社会科学版),2013,13(1):56-65.
- [12] 普宗朝,张山清,李景林,等.近48年新疆乌鲁木齐地区气候变化[J].干旱区研究,2010,27(3):422-432.
- [13] 普宗朝,张山清,宾建华,等.新疆乌鲁木齐地区热量资源精细化时空变化分析[J].中国农业气象,2011,32(4):598-606.
- [14] 普宗朝,张山清.近49年乌鲁木齐地区农业热量资源时空变化[J].干旱地区农业研究,2011,29(2):243-252.
- [15] 王胜兰,张山清,冯志敏,等.乌鲁木齐地区热量资源时空变化分析[J].沙漠与绿洲气象,2011,5(5):24-29.
- [16] 范文波,江煜,吴普特,等.新疆河套子垦区50年气候变化对棉花种植的影响[J].干旱地区农业研究,2011,29(6):244-248.
- [17] 王健,吕新,王江丽,等.石河子市近57年积温变化趋势特征研究[J].干旱区资源与环境,2013,27(6):154-159.
- [18] 丁虎.石河子地区热量条件的气候特征和变化规律分析[J].安徽农业科学,2011,39(29):18154-18157.
- [19] 蒲云锦,赵桢柳,韩春光.新疆河套子近40a气候变化特征[J].干旱气象,2008,26(4):56-60.
- [20] 李玉波,李晓东,谢国辉.天山北坡植被生长季气候因子变化特点[J].东北林业大学学报,2010,38(2):16-19.
- [21] 陈俊杰,周跃志,张燕,等.天山北坡经济带42a来气温和降水变化特征分析[J].干旱区资源与环境,2008,22(10):72-77.
- [22] 苏里坦,宋郁东,张展羽.近40a天山北坡气候与生态环境对全球变暖的响应[J].干旱区地理,2005,28(3):342-346.
- [23] 陆峰.天山北坡中段气候变化特征浅析[J].新疆水利,2010,(3):11-14.
- [24] 李瑞雪.中国天山山区气候变化的时空分布特征[D].兰州:西北师范大学,2010.
- [25] 胡刚,宋慧.基于Mann-Kendall的济南市气温变化趋势及突变分析[J].济南大学学报(自然科学版),2012,26(1):96-101.
- [26] 符淙斌,王强.气候突变的定义和检测方法[J].大气科学,1992,16(4):482-493.
- [27] 钱锦霞,张霞,张建新,等.近40年山西省初终霜日的变化特征[J].地理学报,2010,65(7):801-808.
- [28] 王立祥,李军.农作学[M].北京:科学出版社,2003.
- [29] 蔡福,明惠青,纪瑞鹏.辽宁地区近50年无霜期时空演变特征[J].中国农业气象,2010,31(2):188-193.

(上接第259页)