应用生态学报 2015年7月 第26卷 第7期
Chinese Journal of Applied Ecology, Jul. 2015, **26**(7): 2074-2082

天山北坡经济带棉花播期对气候变暖的响应*

只 娟[1] 张山清[2] 徐文修[3**] 田彦君[3] 张 娜[3] 苏丽丽[3]
([1]新疆农业大学草业与环境科学学院, 乌鲁木齐 830052; [2]新疆农业气象台, 乌鲁木齐 830002; [3]新疆农业大学农学院, 乌鲁木齐 830052)

摘 要 利用1971—2010年天山北坡经济带棉区11个代表站的气象资料,采用气候倾向率、*t*-检验和*IDW*插值方法,分析了棉区3月下旬至4月下旬各旬平均气温和≥12 ℃初日的时空变化对棉花播期的影响.结果表明:研究期间,天山北坡经济带3月下旬、4月上、中、下旬平均气温分别以0.8、0.5、0.1和0.5 ℃·(10 a)$^{-1}$的倾向率呈增加趋势,但是≥12 ℃初日却以-0.5 d·(10 a)$^{-1}$的倾向率呈提前趋势.各气象要素均在20世纪90年代发生突变,突变年后3月下旬、4月上、中、下旬平均气温依次增加2.5、1.9、1.1和1.5 ℃,分别达到7.2、10.0、13.2和15.6 ℃.3月下旬至4月下旬各旬平均气温的高值区普遍位于天山北坡东部棉花主产区的乌苏市、沙湾县和玛纳斯县站点周围,而低值区基本在东部的乌鲁木齐市附近.≥12 ℃初日的空间分布具有地区差异性,研究期间,初日日序较早的区域由精河县向西扩展到棉花主产区玛纳斯县周围,而日序较晚的区域从乌鲁木齐市以南的大部区域缩小至乌鲁木齐市周围.随着突变年后≥12 ℃初日逐年提前,大部县市棉花适宜播期在4月22—28日,采用地膜播种可使适宜播期提前至4月15—21日.

关键词 天山北坡经济带;棉花;播期;旬气温;≥12 ℃初日
文章编号 1001-9332(2015)07-2074-09 **中图分类号** S16 **文献标识码** A

Response of cotton seeding date to climate warming in Northern Slope Economic Zone of Tianshan Mountain, China. ZHI Juan[1], ZHANG Shan-qing[2], XU Wen-xiu[3], TIAN Yan-jun[3], ZHANG Na[3], SU Li-li[3] ([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*). *-Chin. J. Appl. Ecol.*, 2015, **26**(7): 2074-2082.

Abstract: Based on the meteorological date acquired from 11 meteorological stations in Northern Slope Economic Zone of Tianshan Mountain during 1971-2010 and by using the methods of linear regression, *t*-test technique and *IDW* interpolation, this paper analyzed the spatial distribution of each ten-day average temperature from late March to late April and beginning date of ≥12 ℃ to understand the effect of climate change on the cotton seeding date. Results showed that each ten-day average temperature from late March to late April increased by 0.8, 0.5, 0.1 and 0.5 ℃·(10 a)$^{-1}$, but the beginning date of ≥12 ℃ advanced by 0.5 d·(10 a)$^{-1}$ during 1971-2010. All meteorological elements in this research ascended abruptly in the 1990s. The abrupt climate change made each ten-day average temperature increasing by 2.5, 1.9, 1.1 and 1.5 ℃, to 7.2, 10.0, 13.2 and 15.6 ℃, respectively from late March to late April. The high values of each ten-day average temperature from late March to late April expanded the scope of main cotton producing areas in Northern Slope Economic Zone of Tianshan Mountain, such as Wusu, Sawan and Manasi, and the low values were observed in Urmuqi. The spatial distribution of the beginning day of ≥12 ℃ was significant different in different regions. During this study period, the early beginning dates of ≥12 ℃ expanded the scope of Jinghe and Manasi as cotton producing areas, and the late beginning dates of ≥12 ℃ narrowed to areas around Urumqi. With the advance of the beginning day of ≥12 ℃, the seeding date of cotton could start from 22nd to 28th April in most of the coun-

* 国家自然科学基金项目(31260312)和农业部公益性行业(农业)科研专项(201103001)资助.
** 通讯作者. E-mail: xjxwx@sina.com
2014-07-28 收稿,2015-03-05 接受.

ties, and mulch cover could bring forward the suitable sowing date to 15th through 21st April.

Key words: Northern Slope Economic Zone of Tianshan Mountain; cotton; seeding date; ten day average temperature; beginning date of ≥12 ℃.

近 100 年来,我国气温增加了 0.5~0.8 ℃[1],尤其是 1961—2010 年我国年均温度的气候倾向率为 0.27 ℃·(10 a)$^{-1}$,较 1961—2005 年的倾向率增加了 0.05 ℃·(10 a)$^{-1}$,说明我国近年的增暖趋势更加明显[2].近年来许多学者对新疆区域的气候变化进行大量研究的结果表明,近 50 年来新疆大部分地区气温上升[3-7]、降水增多[8-12],而天山北坡是新疆增温显著的地区之一[13-17].

棉花属于喜温作物,其生长发育很大程度上受到气温的制约,天山北坡的持续增温势必对该区棉花生产产生重要影响.国内气候变化对棉花生产的研究主要集中在黄淮、江浙和西北地区.研究结果表明,在一定范围内,温度越高,棉籽的发芽和出苗越快,棉花播种期温度每升高 1 ℃,出苗将提前 0.61~1.38 d[18-19].随着棉花播种期温度的提高,棉花生育期有延长趋势,有利于棉花产量和品质的提高[20-21].已有学者针对天山北坡的乌昌地区、玛纳斯县、石河子市和塔城地区等地气候变化对棉花生产的影响进行研究[22-25],其中,对 2009 年之前乌苏市、沙湾县和昌吉市气候对棉花播期影响有少量研究[26-28].研究结果表明,气候变暖使乌苏市、沙湾县和昌吉市棉花播期逐渐提早、棉花的全生育期天数和产量增加明显、适宜植棉的面积随着增温不断扩大.这些研究对于认识气候变化对棉花生产的影响具有重要意义,但以往的研究大多集中在气候变化对棉花生育期和产量的影响上,涉及气候变化对棉花播期的影响也仅从月平均气温、月平均降水、终霜日和≥10 ℃初日等单一气象要素对某一县市分析,而缺乏气候变化对天山北坡经济带整个区域棉花播期的可能影响.为此,本文研究了天山北坡 11 个气象台站 1971—2010 年 3 月下旬至 4 月下旬各旬气温和≥12 ℃初日的变化规律及其对棉花播期的影响,以进一步提高对天山北坡经济带气候变化规律的全面认识,同时为天山北坡经济带的棉花生产应对气候变化从而选择适宜的播期提供理论依据和参考.

1　研究地区与研究方法

1.1　研究区概况

天山北坡经济带位于新疆天山北麓、准噶尔盆地南缘(42°45′—46°8′ N,81°46′—88°58′ E),丰富的光、热、水等自然资源使其成为新疆主要的棉花产区之一.行政区划上包括乌鲁木齐市、昌吉市、米泉市、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.天山北坡经济带总面积约 9.54×10^4 km^2,占新疆总面积的 5.7%.该区域海拔低而纬度较高,属于大陆性干旱气候,年均气温 7.2 ℃[16],≥15 ℃年积温 3000~3300 ℃,昼夜温差大,热量资源较丰富,光照充足,具有发展棉花种植不可多得的气候条件.2011 年,天山北坡经济带棉花播种面积为 267800 hm^2(除石河子和米泉),占 2011 年全疆棉花总播种面积的 16.4%,较 2002 年增加了 145700 hm^2. 2011 年天山北坡经济带棉花平均单位面积产量为 1742.9 kg·hm^{-2},比 2002 年增加 292.3 kg·hm^{-2}.

1.2　资料来源

天山北坡经济带 11 个气象台站(图 1)1971—2010 年 3 月下旬至 4 月下旬各旬气温和≥12 ℃初日的气象数据源于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,本文采用这 11 个站点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.

1.3　研究方法

1.3.1 气候倾向率　气候倾向率的算法通常用一元线性方程来描述气候要素的变化趋势[29],即 $\hat{x}_i = a + bt_i (i = 1, 2, \cdots, n)$.式中:$t$ 为年序;a 为回归常数;b 为线性方程的斜率,以 b 的 10 倍作为气候要素的气候倾向率.

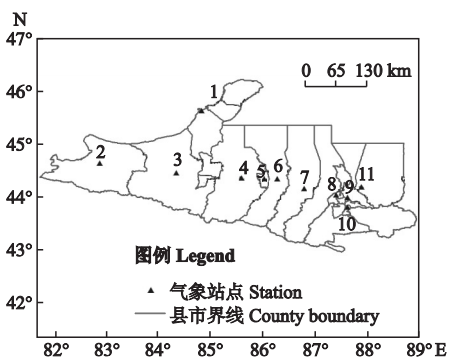


图 1　研究区域气象站点分布

Fig.1　Distribution of meteorological stations in the study area.

1) 克拉玛依 Karamay; 2) 精河 Jinghe; 3) 乌苏 Wusu; 4) 沙湾 Shawan; 5) 石河子 Shihezi; 6) 玛纳斯 Manasi; 7) 呼图壁 Hutubi; 8) 昌吉 Changji; 9) 米泉 Miquan; 10) 乌鲁木齐 Urumqi; 11) 阜康 Fukang.

1.3.2 气候要素的突变检测　本文基于 SPSS 17.0 软件,使用两独立样本的滑动 t-检验的方法检验各气象要素的突变点.对于具有 n 个样本量的时间序列 x,认为设置某一时刻为基准点,基准点前后两段子序列 x_1 和 x_2 的样本分别为 n_1 和 n_2,两段子序列平均值为 $\bar{x}_1$ 和 $\bar{x}_2$,方差为 s_1^2 和 s_2^2.定义统计量[30]:

$$t=\frac{\bar{x}_1-\bar{x}_2}{s\cdot\sqrt{\frac{1}{n_1}+\frac{1}{n_2}}}$$

$$s=\sqrt{\frac{(n_1-1)s_1^2+(n_2-1)s_2^2}{n_1+n_2-2}}$$

1.4 数据处理

本文基于 ArcGIS 9.0 软件,使用反距离空间插值法完成各气候要素空间分布模拟.

2 结果与分析

2.1 3 月下旬平均气温的变化特征

在生产上北疆棉花实际播种的起始时间一般在 4 月中、下旬,气温增暖有可能使棉花的适播期提前.从图 2 可以看出,1971—2010 年研究区 3 月下旬平均气温为5.4 ℃;3月下旬平均气温在波动中呈上升趋势,气温变化倾向率为 0.8 ℃·(10 a)$^{-1}$(r = 0.29).从 3 月下旬平均气温的累积距平得出,1999 年出现累积距平的最小值,经 t 检验得出,天山北坡经济带 3 月下旬平均气温在 1999 年发生突变性升温(t=2.197,P<0.05).突变后 3 月下旬平均气温为 7.2 ℃,比突变前升高 2.5 ℃,且 2000 年之后距平均以正距平为主,特别是 2001—2009 年的正距均超过 1.1 ℃,说明自 2000 年以来天山北坡经济带 3 月下旬平均气温呈持续增加趋势.

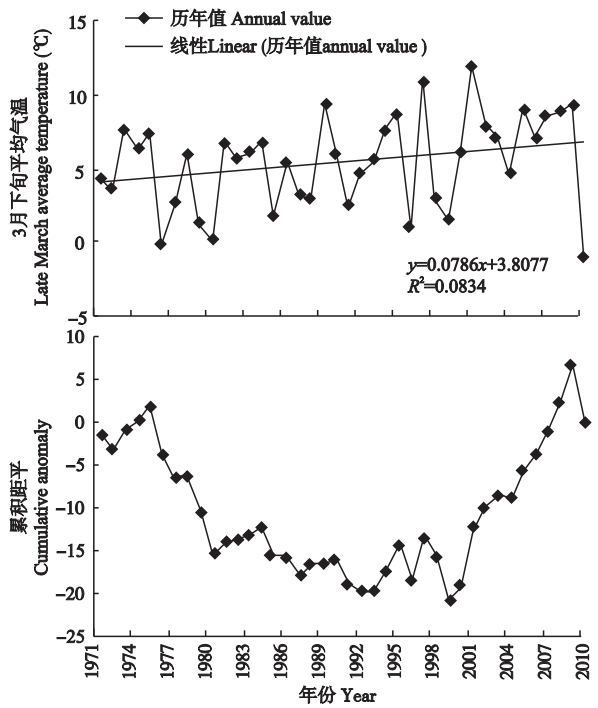


图 2 天山北坡经济带 1971—2010 年 3 月下旬平均气温和累积距平变化

Fig.2 Changes of late March average temperature and cumulative anomaly in Northern Slope Economic Zone of Tianshan Mountain during 1971-2010.

进一步比较3 月下旬气温突变年前后空间变化趋势可知,突变前整个天山北坡 3 月下旬平均气温的温度范围在 3.3~5.6 ℃,其旬气温的高值区位于天山北坡棉花主产区的乌苏市、沙湾县和玛纳斯县站点周围,其旬平均温度达到 5.2~5.6 ℃,而低值区位于天山北坡乌鲁木齐市以南,其旬平均温度仅为 3.3~4.2 ℃.随着突变年后整个天山北坡 3 月下旬平均气温的明显上升,其 3 月下旬平均气温增至 5.8~7.9 ℃(图 3),虽然突变后旬气温高值区的数量在减少,但范围却明显扩大至沙湾县和玛纳斯一带,其旬平均气温提高了 2.3~2.4 ℃,达到 7.6~7.9 ℃.同时,突变后低值区面积明显减少,由原先的乌鲁木齐

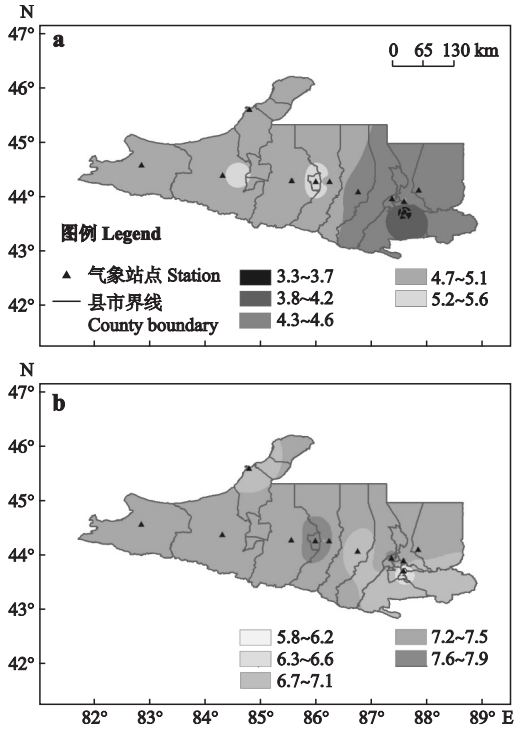


图 3 天山北坡经济带 1971—2010 年 3 月下旬平均气温突变前(a)和突变后(b)的空间分布 (℃)

Fig.3 Spatial distribution of late March average temperature before abrupt climate change (a) and after abrupt climate change (b) in Northern Slope Economic Zone of Tianshan Mountain during 1971-2010 (℃).

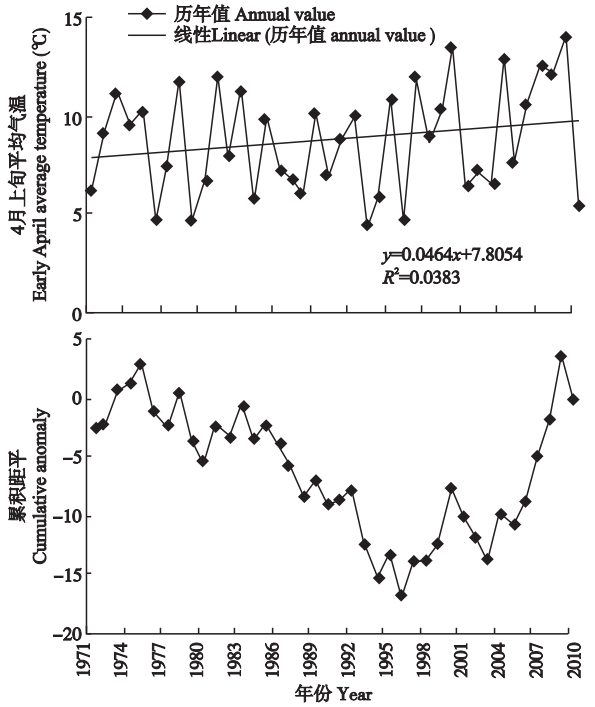


图 4　天山北坡经济带 1971—2010 年 4 月上旬平均气温和累积距平变化

Fig.4　Changes of early April average temperature and cumulative anomaly in Northern Slope Economic Zone of Tianshan Mountain during 1971-2010.

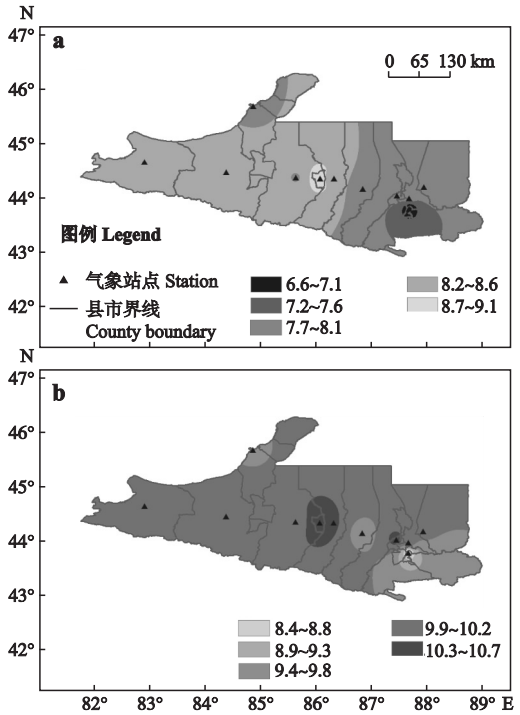


图 5　天山北坡经济带 1971—2010 年 4 月上旬平均气温突变前(a)和突变后(b)的空间分布 (℃)

Fig. 5　Spatial distribution of early April average temperature before abrupt climate change (a) and after abrupt climate change (b) in Northern Slope Economic Zone of Tianshan Mountain during 1971-2010 (℃).

市以南的广大地区缩小至乌鲁木齐市周围一带,且低值区的旬平均气温提高了 2.0~2.5 ℃,达到 5.8~6.2 ℃.由此可知,虽然天山北坡突变年后各个县市 3 月下旬平均气温均有增加,但整体上仍未达到棉花可以播种的温度条件(12 ℃)[21,31].

2.2　4 月上旬平均气温的变化特征

1971—2010 年,天山北坡经济带 4 月上旬平均气温 8.8 ℃,其气温变化倾向率为 0.5 ℃·(10 a)$^{-1}$ (r=0.19);4 月上旬平均气温的突变点在 1996 年(t= 2.553,P<0.05);突变前 4 月上旬平均气温为 8.1 ℃,突变后气温平均上升了 1.9 ℃,达到 10.0 ℃(图 4).

突变年前天山北坡大部县市 4 月上旬平均气温均在 7.7~8.6 ℃,并基本呈现西高东低的分布格局(图 5).其中,中部棉花主产区的沙湾县、石河子市附近 4 月上旬平均气温最高,其范围在 8.7~9.1 ℃.由于新疆植棉均为地膜棉,地膜的增温效应可使地温增加 2~4 ℃[32].在地膜增温的条件下,沙湾县和石河子市 4 月上旬平均气温基本达到播种棉花的温度条件,但其保证率较低,仅有 3.7%~11.1%,因此,这两个县市 4 月上旬播种棉花风险极大.突变前 4 月上旬平均气温较低的地域为呼图壁县以东的大部县市,其温度仅为 6.6~8.1 ℃,因此即使使用地膜栽培技术仍不能播种棉花.随着突变年后的增温(图 5),天山北坡各个县市 4 月上旬平均气温均有不同程度的增加,大部县市 4 月上旬平均气温在 9.9~10.2 ℃,基本达到播种地膜棉的温度条件.其中,曾经在高值区的沙湾县和石河子市 4 月上旬平均气温较突变前增加 1.6 ℃,达到 10.3~10.7 ℃,其保证率也增加了 22.2%~23.0%,达到 26.7%~33.3%;曾经在低值区的呼图壁县、昌吉市、米泉市和阜康市的 4 月上旬平均气温明显上升,达到 8.4~10.2 ℃,但其保证率仅有 2.0%~33.3%.所以整体而言,虽然突变年后天山北坡各县市 4 月上旬平均气温明显升高,且基本达到播种地膜棉的温度,但其保证率仍然很低,使得天山北坡各个县市在 4 月上旬播种地膜棉仍有很大风险.

2.3　4 月中旬平均气温的变化特征

研究期间,天山北坡经济带 4 月中旬平均气温为 12.5 ℃,总体呈平缓增加趋势,气温变化倾向率为 0.1 ℃·(10 a)$^{-1}$(r=0.06);其累积距平最低点出现在 1996 年,其突变点在 1996 年(t=-3.322,P<0.05),与 4 月上旬突变年一致;突变前 4 月中旬

平均气温是 12.1 ℃,突变后上升了 1.1 ℃,略低于 3 月下旬和 4 月上旬突变前后的增温幅度(图 6).

突变前天山北坡 4 月中旬平均气温的范围在 10.5~13.3 ℃(图 7),其高值区的平均气温达到 12.9~13.3 ℃,且仅集中在天山北坡主要植棉区的乌苏市和石河子市站点附近,虽然达到棉花的适宜播种温度,但其保证率为 55.6%~66.7%,若播种仍有遭遇低温冷害的风险.低温区主要包括克拉玛依市、呼图壁县、昌吉市、米泉市、阜康市和乌鲁木齐市广大区域,其 4 月中旬平均气温只有 10.5~12.2 ℃,其保证率仅有 29.6%~64.0%,此时播种棉花风险更大.然而突变年之后(图 7),天山北坡 4 月中旬平均气温有所增加,达到 11.5~13.7 ℃,而且高值区范围明显扩大,分别从原来的乌苏市、石河子市站点附近向呼图壁县和玛纳斯县附近扩大,该旬平均气温增加了0.4~0.5 ℃,达到 13.4~13.7 ℃,且保证率增加至 81.4%.突变后低值区范围明显减少且气温增加明显,由原来的克拉玛依市和玛纳斯县以东大部地区缩小至乌鲁木齐市附近,且气温增加了 0.6~1.6 ℃,达到 12.1~12.8 ℃,其保证率增加到 53.3%.说明 1996 年后天山北坡经济带大部县市 4 月中旬气温达到棉花播种的适宜温度,尤其是呼图壁以东的精河县、克拉玛依市、乌苏市、沙湾县、玛纳斯县和石河子市日均气温稳定通过 12 ℃以上的保证率超过了 80%,因此这些县市于 4 月中旬可以播种棉花;而昌吉市、米泉市、阜康市和乌鲁木齐市,虽然气候变暖后在 4 月中旬播种地膜棉的安全性得以提高,但其保证率均未超过 80%,所以该区域在 4 月中旬播种棉花仍有很大风险.

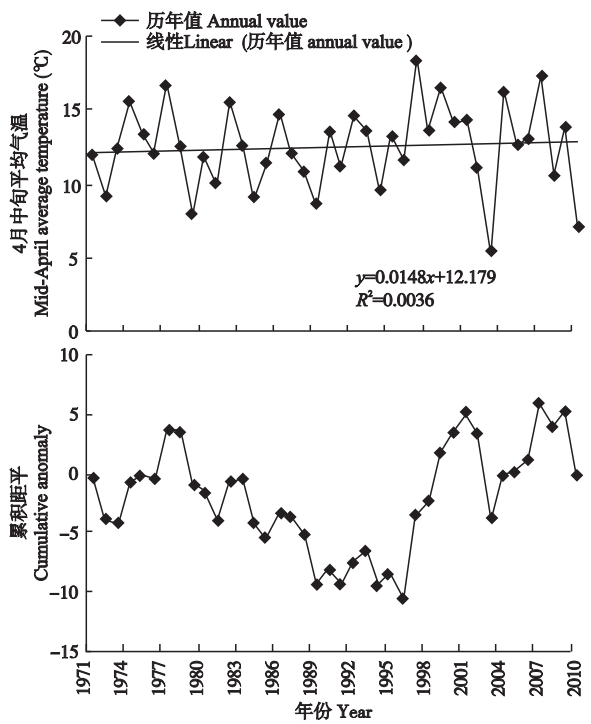


图 6 天山北坡经济带 1971—2010 年 4 月中旬平均气温和累积距平变化

Fig.6 Changes of Mid-April average temperature and cumulative anomaly in Northern Slope Economic Zone of Tianshan Mountain during 1971-2010.

2.4 4 月下旬平均气温的变化特征

1971—2010 年,天山北坡经济带 4 月下旬平均气温为 14.8 ℃,且气温稳定通过 12.0 ℃以上的平均保证率达 82.9%,整体而言,天山北坡在 4 月下旬种植棉花的安全性较高;4 月下旬平均气温呈显著上升趋势,气候倾向率为 0.5 ℃ · (10 a)$^{-1}$ (r = 0.21);4 月下旬平均气温的突变点在 1990 年(t = 2.47, P<0.05),突变年后旬平均气温上升 1.5 ℃,增至 15.6 ℃(图 8).

突变年前整个天山北坡经济带 4 月下旬平均气温在 12.4~15.2 ℃.其中,高值区仍然仅集中在乌苏市、沙湾县和石河子市站点附近,该旬平均气温达 14.7~15.2 ℃,低值区的克拉玛依市、呼图壁县、昌吉市、米泉市、阜康市和乌鲁木齐市的4月下旬平均

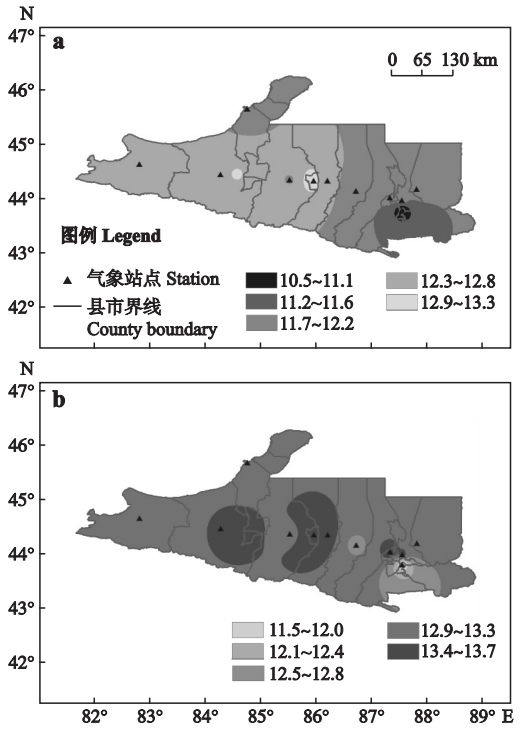


图 7 天山北坡经济带 1971—2010 年 4 月中旬平均气温突变前(a)和突变后(b)的空间分布(℃)

Fig.7 Spatial distribution of Mid-April average temperature before abrupt climate change (a) and after abrupt climate change (b) in Northern Slope Economic Zone of Tianshan Mountain during 1971-2010 (℃).

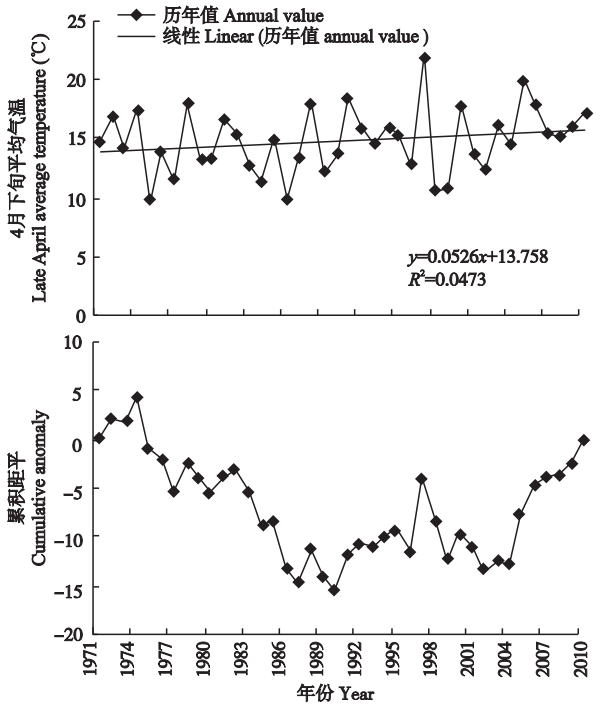


图 8　天山北坡经济带 1971—2010 年 4 月下旬平均气温和累积距平变化

Fig.8　Changes of late April average temperature and cumulative anomaly in Northern Slope Economic Zone of Tianshan Mountain during 1971-2010.

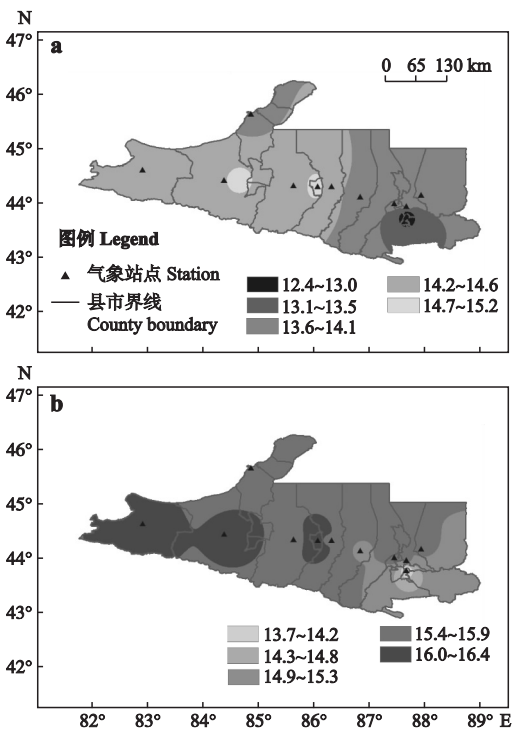


图 9　天山北坡经济带 1971—2010 年 4 月下旬平均气温突变前(a)和突变后(b)的空间分布(℃)

Fig.9　Spatial distribution of late April average temperature before abrupt climate change (a) and after abrupt climate change (b) in Northern Slope Economic Zone of Tianshan Mountain during 1971-2010 (℃).

气温只有 12.4 ~13.5 ℃.突变年之后,高值区从原来的乌苏市、沙湾县和石河子市附近向四周扩展到精河县以西、玛纳斯县以东的广大地区,突变后比突变前 4 月下旬平均温度增加了 1.2~1.3 ℃,达 16.0~16.4 ℃.同时,4 月下旬平均气温的低值区面积明显减少且温度升高,由原来的呼图壁县以东的广大地区缩小至乌鲁木齐市附近,突变后比突变前温度增加了 1.3 ℃,气温达 13.7~14.8 ℃(图 9).突变年后,整个天山北坡 4 月下旬气温稳定出现 12.0 ℃以上的保证率从突变年前的 61.9%~85.7%增加至 81.4%~90.5%.充分说明,40 年来随着气温增暖,天山北坡经济带棉花主产区 4 月下旬播种地膜棉越加安全.

2.5　≥12 ℃初日的变化特征

依据棉花播种对温度的要求,可以认为日平均气温稳定通过≥12 ℃初日是适宜棉花大面积播种的初始日[21,31],因此,在上述研究的基础上,进一步分析日平均气温稳定通过≥12 ℃初日的变化对棉花具体播期的影响.为便于统计计算,以 1 月 1 日为起点,1 月 1 日记为 1,依次类推,12 月 31 日计为 365,并将其依次转换成日序资料.

从图 10 可以看出,1971—2010 年研究区日均气温≥12 ℃的初日最早出现在4月9日(1974

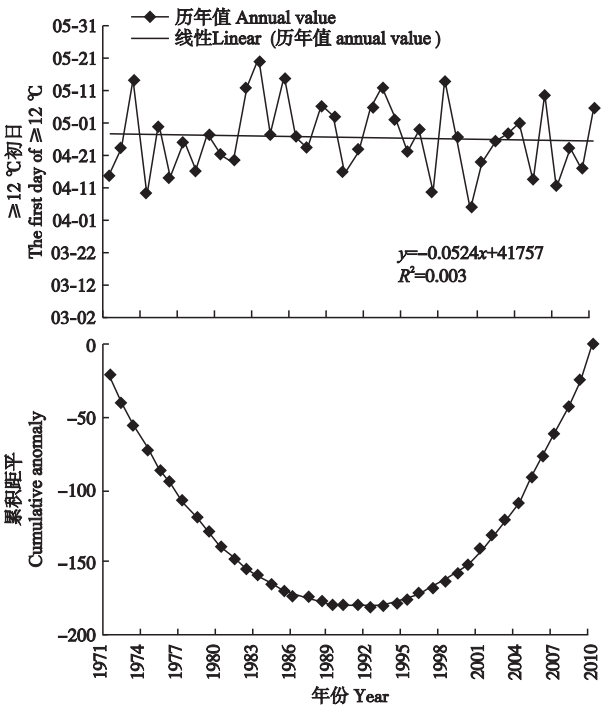


图 10　天山北坡经济带 1971—2010 年≥12 ℃初日和累积距平变化

Fig.10　Changes of the first day of ≥12 ℃ and cumulative anomaly in Northern Slope Economic Zone of Tianshan Mountain during 1971-2010.

年),最晚出现在 5 月 21 日(1983 年),历年平均值为 4 月 26 日.近 40 年来,天山北坡经济带≥12 ℃初日呈提前趋势,倾向率为-0.5 d·(10 a)$^{-1}$(r=0.05).从年代际时间变化可知,1971—1980 年研究区各县市日均气温≥12 ℃的初日平均值是 4 月 23 日,1981—1990 年≥12 ℃初日为 5 月 2 日,较 1971—1980 年推迟 9 d,1991—2000 年较 1981—1990 年提前了 5 d,为 4 月 27 日,2001—2010 年较 1991—2000 年提前 3 d,为 4 月 24 日.从空间上看,20 世纪 70 年代天山北坡大部县市≥12 ℃初日日序在 109~118,其对应的日期是 4 月 19—28 日,80 年代在 108~127,其对应的日期是 4 月 18 日—5 月 7 日,90 年代在 113~125,其对应的日期是 4 月 23 日—5 月 5 日,21 世纪初在 107~116,其对应的日期是 4 月 17—26 日,充分说明研究期间研究区除 80 年代有推迟外,其他年代≥12 ℃的初始日在不断提前(图 11).

1971—2010 年天山北坡经济带≥12 ℃初始日的突变点在 1990 年(t=-9.52,P<0.05).进一步比较≥12 ℃初始日在突变年前后的空间分布可知(图 12),突变年前≥12 ℃的初日平均值为 4 月 28 日,突变年后为 4 月 22 日,平均提前 6 d.突变前,整个天山北坡大部分县市≥12 ℃初日日序在 116~120,其对应的日期是 4 月 26—30 日.其中,日序较早的区域集中在精河县、乌苏市、石河子市站点附近,其日序在 113~115,对应的日期是 4 月 23—25 日,而日序较晚的区域位于乌鲁木齐市和昌吉市东南部,其日序在 121~124,对应日期是 5 月 1—4 日.突变后,天山北坡大部县市≥12 ℃初日日序在 107~116,对应日期是 4 月 17—26 日,说明天山北坡大部地区棉花的适宜播期从原先 4 月 26—30 日提前至 4 月 17—26 日,提前了 4~9 d.其中,突变年后日序较早的区域仍集中在棉花主产区的精河县、乌苏市、沙湾县、石河子市和玛纳斯县站点附近,并有向玛纳斯县以东区域扩大的趋势,其日序在 107~110,对应日期是 4 月 17—20 日,其中,石河子市提前的天数最多,提前 10 d,从原来的 4 月 27 日提前至 4 月 17 日.而日序较晚的地区仍位于乌鲁木齐市附近,其日序在 117~122,对应日期是 4 月 27 日—5 月 2 日.

近 40 年,天山北坡各个县市≥12 ℃初日的气候保证率为 80%的具体日期略有不同,克拉玛依市出现最早,是 4 月 22 日;乌鲁木齐市最晚,为 5 月 2 日.大部县市棉花适宜播期在 4 月 22—28 日,其中,克拉玛依市、精河县、乌苏市、沙湾县、石河子市和玛纳斯县在 4 月 22—26 日,而呼图壁县、昌吉市、米泉市、阜康市和乌鲁木齐市在 4 月 28 日—5 月 2 日.由

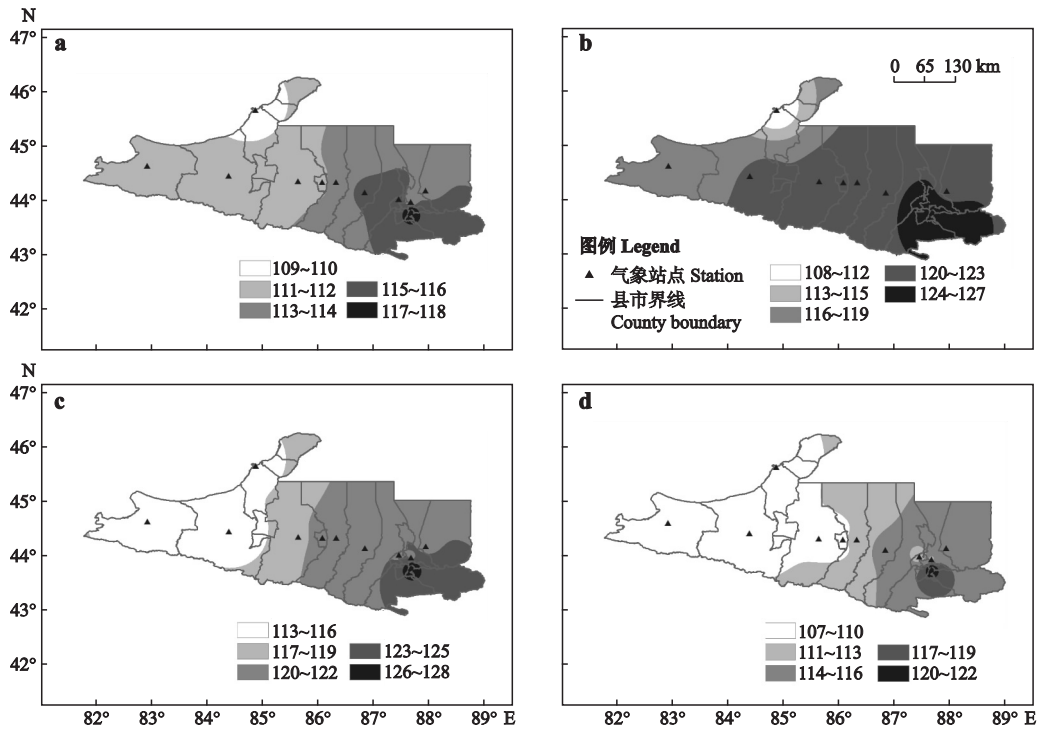


图 11 天山北坡经济带 1971—2010 年≥12 ℃初日各年代际的空间分布 (d)

Fig.11 Spatial distribution of the first day of ≥12 ℃ in Northern Slope Economic Zone of Tianshan Mountain during each era in 1971-2010 (d).

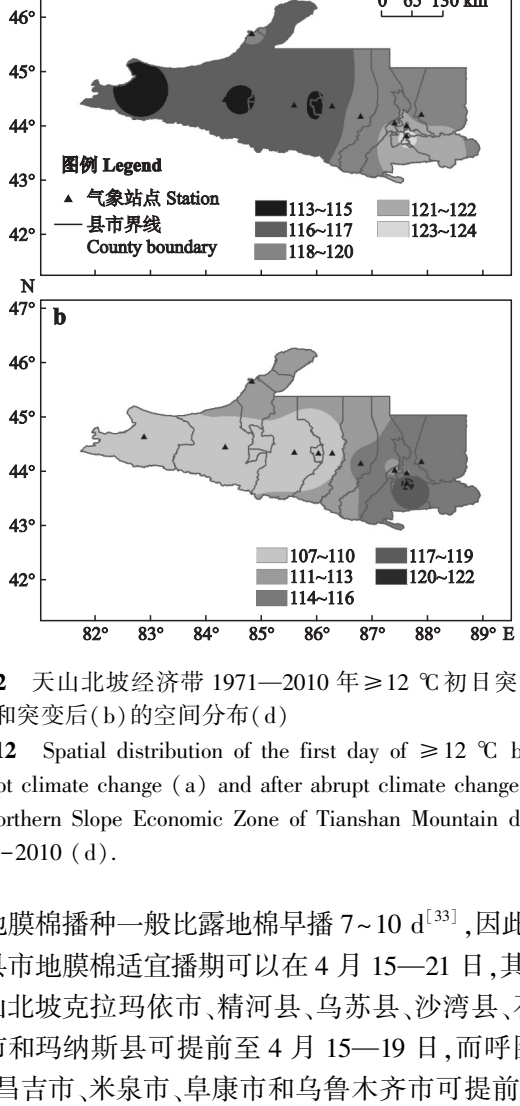


图 12　天山北坡经济带 1971—2010 年≥12 ℃初日突变前(a)和突变后(b)的空间分布(d)

Fig.12　Spatial distribution of the first day of ≥12 ℃ before abrupt climate change (a) and after abrupt climate change (b) in Northern Slope Economic Zone of Tianshan Mountain during 1971-2010 (d).

于地膜棉播种一般比露地棉早播 7~10 d[33]，因此，大部县市地膜棉适宜播期可以在 4 月 15—21 日，其中，天山北坡克拉玛依市、精河县、乌苏县、沙湾县、石河子市和玛纳斯县可提前至 4 月 15—19 日，而呼图壁县、昌吉市、米泉市、阜康市和乌鲁木齐市可提前至 4 月 21—25 日.目前，天山北坡大部县市均可在 4 月 15—21 日播种棉花，相比 20 世纪 90 年代天山北坡经济带主要种植棉区(精河县、乌苏市、沙湾县和石河子市)的实际播种日期(4 月 21—24 日[26-28])提前了 3~6 d，进一步说明随着气候变暖，天山北坡经济带主要种植棉区的棉花适播期正在提前.

3　结　　论

1971—2010 年，天山北坡经济带 3 月下旬、4 月上、中、下旬平均气温倾向率均呈增加趋势，倾向率分别为 0.8、0.5、0.1 和 0.5 ℃ · (10 a)$^{-1}$，且各旬平均气温均在 20 世纪 90 年代发生突变.突变年后比突变年前，各旬平均气温分别增加 2.5、1.9、1.1 和 1.5 ℃，分别达到 7.2、10.0、13.2 和 15.6 ℃.其中，4 月中、下旬平均气温已超过 12 ℃棉花可播种时的温度条件，但 4 月中、下旬稳定通过 12 ℃以上的保证率为 80%的县市略有不同，其中，4 月中旬仅精河县、克拉玛依市、乌苏市、沙湾县、玛纳斯县和石河子市，稳定通过 12 ℃以上的保证率超过了 80%，而 4 月下旬则基本覆盖整个天山北坡经济带，说明天山北坡经济带呼图壁县、昌吉市、米泉市、阜康市和乌鲁木齐市的棉花适播期是 4 月下旬，而精河县、克拉玛依市、乌苏市、沙湾县、玛纳斯县和石河子市的棉花适播期可提前至 4 月中旬.

有学者对天山北坡的乌苏市、沙湾县和昌吉市 1961—2009 年气候变化对棉花播期的影响进行研究得出，4 月气温上升和 10 ℃初日提前有助于棉花播期提前，将 4 月中旬末至 4 月下旬中定为乌苏市、沙湾县和昌吉市棉花大面积播种的黄金时间[26-28].本文对整个天山北坡经济带 11 个县市的研究结果表明，随着气候变暖，天山北坡棉花播期总体呈不断提前趋势，可提前至 4 月 22—28 日.如果考虑地膜栽培，天山北坡的精河县、克拉玛依市、乌苏县、沙湾县、玛纳斯县和石河子市的棉花具体适播期为 4 月 15—19 日，尤其是石河子市的棉花适播期提前最多，可提前 10 d，从原来的 4 月 27 日提前至 4 月 17 日，而呼图壁县、昌吉市、米泉市、阜康市、乌鲁木齐市的棉花播期可提前至 4 月 21—25 日.棉花播种的提前，为北疆棉花生长赢得了更长的生长季，不仅有利于棉花品质和产量的提高，也有利于棉花品种的更换，可由原来种植的新陆早系列的特早熟陆地棉向早熟陆地棉发展.

参考文献

[1] Xiao F-J (肖风劲), Zhang H-D (张海东), Wang C-Y (王春乙), *et al*. Impact of climatic change on agriculture and its adaptation countermeasures in China. *Journal of Natural Disasters* (自然灾害学报), 2006, **15**(6): 327-331 (in Chinese)

[2] Li S (李　硕), Shen Y-J (沈彦俊). Impact of climate warming on temperature and heat resource in arid Northwest China. *Chinese Journal of Eco-Agriculture* (中国生态农业学报), 2013, **21**(2): 227-235 (in Chinese)

[3] Cao Y-J (曹亚娟), Yan J-P (延军平). A comparison on characteristics of climate change in the north and south of Tianshan Mountain. *Journal of Arid Land Resources and Environment* (干旱区资源与环境), 2011, **25**(12): 92-96 (in Chinese)

[4] Li J-L (李景林), Zhang S-Q (张山清), Pu Z-C (普宗朝), *et al*. Spatial-temporal variation of seasonal and annual air temperature in Xinjiang during 1961-2010. *Arid Land Geography* (干旱区地理), 2013, **36**(2): 228-237 (in Chinese)

[5] Erkejan (叶尔克江), Apar (阿帕尔), Yin J-X (尹建新), *et al*. Characteristic analysis of the precipitation in Xinjiang in the past 50 years. *Journal of Shihezi University* (Natural Science) (石河子大学学报:自然科学版), 2011, **29**(6): 737-741 (in Chinese)

[6] Xu C-H (许崇海), Xu Y (徐　影), Luo Y (罗　勇). Climate change of the 21st century in Xinjiang with SRES scenarios. *Desert and Oasis Meteorology* (沙漠与

绿洲气象), 2008, **2**(3): 1-7 (in Chinese)
[7] Liu B (刘 波), Feng J-M (冯锦明), Ma Z-G (马柱国), *et al*. Characteristics of climate changes in Xinjiang from 1960 to 2005. *Climatic and Environmental Research* (气候与环境研究), 2009, **14**(4): 414-426 (in Chinese)
[8] Gan Y-L (甘艳露), Li H (李 宏), Ma Y-G (马勇刚), *et al*. Trend analysis of climate change in north Xinjiang during the last 50 years. *Yunnan Geographic Environment Research* (云南地理环境研究), 2012, **24**(6): 80-86 (in Chinese)
[9] Pu Z-C (普宗朝), Zhang S-Q (张山清). Analysis of spatial-temporal variation of agricultural-heat resources in recent 49 years in Urumqi region. *Agricultural Research in the Arid Areas* (干旱地区农业研究), 2011, **29**(2): 243-252 (in Chinese)
[10] Pu Z-C (普宗朝), Zhang S-Q (张山清), Bin J-H (宾建华), *et al*. Analysis of fine spatial-temporal variation of agro-climatic heat resource in Urumqi-Changji Region of Xinjiang. *Chinese Journal of Agrometeorology* (中国农业气象), 2011, **32**(4): 598-606 (in Chinese)
[11] Fan W-B (范文波), Jiang Y (江 煜), Wu P-T (吴普特), *et al*. Impacts of climate change on planting proportion of cotton in Shihezi area in the recent 50 years. *Agricultural Research in the Arid Areas* (干旱地区农业研究), 2011, **29**(6): 244-248 (in Chinese)
[12] Wang J (王 健), Lv X (吕 新), Wang J-L (王江丽), *et al*. The variation tendency of accumulated temperature of Shihezi City in recent 57 years. *Journal of Arid Land Resources and Environment* (干旱区资源与环境), 2013, **27**(6): 154-159 (in Chinese)
[13] Pu Z-C (普宗朝), Zhang S-Q (张山清), Yang L (杨琳), *et al*. Climatic change in Karamay City of Xinjiang during 1961-2008. *Journal of Xinjiang Agricultural University* (新疆农业大学学报), 2009, **32**(4): 55-60 (in Chinese)
[14] Xin Y (辛 渝), Zhang G-X (张广兴), Liu X-W (刘兴旺), *et al*. Spatial-temporal changes of the agricultural heat factors over the prefecture of Bortala in Xinjiang from 1961 to 2005. *Journal of Glaciology and Geocryology* (冰川冻土), 2008, **30**(3): 440-451 (in Chinese)
[15] Huang H-Y (黄海云), Zhang S-Q (张山清), Sha M-M (沙曼曼), *et al*. Climatic change characteristics in Tacheng Region from 1961 to 2008. *Journal of Xinjiang Agricultural University* (新疆农业大学学报), 2012, **35**(3): 242-248 (in Chinese)
[16] Chen J-J (陈俊杰), Zhou Y-Z (周跃志), Zhang Y (张 燕), *et al*. Analysis on the characteristics of temperature and precipitation in the Northern Slope Economic Zone of Tianshan Mountain in recent 42 years. *Journal of Arid Land Resources and Environment* (干旱区资源与环境), 2008, **22**(10): 72-77 (in Chinese)
[17] Su L-T (苏里坦), Song Y-D (宋郁东), Zhang Z-Y (张展羽). Response of the climate and ecological environment in northern slope of the Tianshan Mountains to global warming since recent 40 years. *Arid Land Geography* (干旱区地理), 2005, **28**(3): 342-346 (in Chinese)
[18] Gou L-Y (苟烈瑛), Meng Z-W (孟之万), Ma J-F (马俊福), *et al*. Response of Shihezi cotton sowing. *Xinjiang Agricultural Sciences* (新疆农业科学), 1994 (1): 22-23 (in Chinese)
[19] Wang Z-W (王志伟), Ma Y-L (马雅丽), Wang R-Y (王润元), *et al*. Impacts of climate warming on the main growth periods of cotton in the northwest region. *Chinese Agricultural Science Bulletin* (中国农学通报), 2012, **28**(15): 42-45 (in Chinese)
[20] Wang Y-H (王友华), Zhou Z-G (周治国). Effect of climate changing on cotton fiber production. *Journal of Agro-Environment Science* (农业环境科学学报), 2011, **30**(9): 1734-1741 (in Chinese)
[21] Zhao H (赵 鸿), Wang R-Y (王润元), Wang H-L (王鹤龄), *et al*. Assessment index system for impact of climate change on cotton in region of northwest China. *Arid Meteorology* (干旱气象), 2008, **26**(4): 29-34 (in Chinese)
[22] Fu W-D (傅玮东), Yao Y-L (姚艳丽), Mao W-Y (毛炜峰). Prefecture and its effect on cotton production. *Arid Zone Research* (干旱区研究), 2009, **26**(1): 142-148 (in Chinese)
[23] Pu Z-C (普宗朝), Zhang S-Q (张山清), Bin J-H (宾建华). The impact of global warming to cotton yield in Changji region of Xinjiang-Manasi and Hutubi counties. *Journal of Arid Land Resources and Environment* (干旱区资源与环境), 2012, **26**(10): 28-35 (in Chinese)
[24] Tang X-L (唐湘玲), Lv X (吕 新). The relationship between climate change and yield of cotton in Shihezi Region. *Hubei Agricultural Sciences* (湖北农业科学), 2011, **50**(8): 1533-1536 (in Chinese)
[25] Pu Z-C (普宗朝), Zhang S-Q (张山清), Bin J-H (宾建华), *et al*. Impact of global warming on cotton-planting zoning in the Urumqi-Changji Region of Xinjiang. *Advances in Climate Change Research* (气候变化研究进展), 2012, **8**(4): 257-264 (in Chinese)
[26] Li Y-C (李迎春), Xie G-H (谢国辉), Wang R-Y (王润元), *et al*. Climatic change during Apr. to Oct. in recent 47 years and its effects on growing period of cotton in Beijiang cotton planting region. *Agricultural Research in the Arid Areas* (干旱地区农业研究), 2011, **29**(2): 253-258 (in Chinese)
[27] Yang H (杨 华), Wang Q-L (王巧莲), Gou H-B (勾洪波), *et al*. Studies on climatic conditions of cotton growth period in Changji Cotton Planting Region. *Desert and Oasis Meteorology* (沙漠与绿洲气象), 2007, **1**(3): 49-52 (in Chinese)
[28] Li Y-J (李彦杰), Bai X-F (白学甫), Ma L (马琳), *et al*. The effect of temperature changes in spring on the sowing date of cotton in Southern Cotton-Planting Area of Tacheng. *Journal of Anhui Agricultural Sciences* (安徽农业科学), 2010, **38**(28): 15745-15746 (in Chinese)
[29] Ye Q (叶 清), Yang X-G (杨晓光), Li Y (李勇), *et al*. Changes of China agricultural climate resources under the background of climate change. Ⅷ. Change characteristics of heat resources during the growth period of double cropping rice in Jiangxi Province. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2011, **22**(8): 2021-2030 (in Chinese)
[30] Fu C-B (符淙斌), Wang Q (王 强). The definition and detection of the abrupt climatic change. *Scientia Atmospherica Sinica* (大气科学), 1992, **16**(4): 482-493 (in Chinese)
[31] Mao W-Y (毛炜峰), Cao Z-Z (曹占洲), Zou C (邹陈), *et al*. Analysis and application about the climate service index of cotton's seedtime in Xinjiang. *Desert and Oasis Meteorology* (沙漠与绿洲气象), 2010, **4**(6): 1-5 (in Chinese)
[32] Tang H-M (唐海明), Yu X-N (余筱南). The status Quo and prospect of cotton's film mulching. *Jiangxi Cotton* (江西棉花), 2004, **26**(5): 7-12 (in Chinese)
[33] Han A-H (韩爱华). Cotton mulching techniques. *Agricultural Technology Service* (农技服务), 2010, **27**(8): 991-998 (in Chinese)

作者简介 只 娟,女,1988 年生,硕士研究生. 主要从事农业生态研究. E-mail: xndzhijuan@sina.com

责任编辑 杨 弘