

阿克苏河流域气候变化特征 及其对农业生产的影响*

阿曼妮萨·库尔班, 满苏尔·沙比提, 赵景啟, 艾克旦·依萨克

新疆师范大学地理科学与旅游学院, 新疆 乌鲁木齐 830054

摘要: 利用1967—2019年阿克苏、柯坪气象站逐日气温、日照时数等气候数据和部分农业数据, 按月、季节和年进行统计, 采用一元线性回归、累计距平、Mann-Kendall (M-K) 趋势分析和突变检验等方法, 试图揭示阿克苏河流域气候变化对其农业气候资源和农业生产条件的影响。结果显示: ① 1967—2019年研究区气温增长, 阿克苏、柯坪站增温倾向率为0.515、0.023 °C/10a; 阿克苏、柯坪站日照时数呈减少趋势, 倾向率分别为3.806、-32.916 h/10a; 阿克苏站气温在1997年发生突变, 柯坪站日照时数在1990年发生一次突变。② 1967—2019年间研究区 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温的平均值为4 240 °C/d, 平均持续时间为210.6 d; 1997年发生突变后, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温的平均值从1967—1996年的4 143 °C/d增加到4 369 °C/d, 持续日数从209 d增加到214.9 d, 对农作物生长营造了良好的生长环境。③ 近40年研究区单位面积化肥施用量从1978年的63.8 kg/hm²增加到2018年的1 369 kg/hm², 棉花单产量从1967年的288 kg/hm²增加到2018年的1 218 kg/hm², 以约262 kg/10a的倾向率增加。棉花播种期提前了9 d, 停止生长期推迟了3 d, 生育期延长了6 d。④ 随着研究区气候的变化、技术的不断改善, 气温的变暖会提高产量和品质, 有利于发展阿克苏河流域农业生产。

关键词: 气候; 变化特征; 农业生产; 阿克苏河流域

中图分类号: P432; P436.615 **文献标志码:** A **文章编号:** 0529-6579(2021)06-0102-08

The characteristics of climate change and its influence on the agricultural production in Aksu river basin

KUERBAN Amannisa, SHABITI Mansuer, ZHAO Jingqi, YISAKE Aikedan

College of Geographic Science and Tourism, Xinjiang Normal University, Urumqi 830054, China

Abstract: To investigate the impact of climate change on agricultural production in the Aksu river basin, climate data of daily air temperature, hours of sunshine, and some of the agriculture data from Aksu and Keping weather stations during 1967–2019 were analyzed for month, season and year by using methods of the single linear regression, accumulative anomaly, Mann-Kendall (M-K) trend analysis, and mutation test. The results show that: (1) The temperature in the study area increased from 1967 to 2019, and the warming tendency rate of Aksu and Keping stations were 0.515 and 0.023 °C/10a, respectively; the sunshine hours of Aksu and Keping stations showed a decreasing trend, and the trend rates were 3.806 and -32.916 h/10a, respectively. The temperature of Aksu station had a sudden change in 1997, and the sunshine hours of Keping station had a sudden change in 1990. (2) From 1967

* 收稿日期: 2020-08-25 录用日期: 2020-10-14 网络首发日期: 2021-05-25

基金项目: 国家自然科学基金(41661100, 41461107)

作者简介: 阿曼妮萨·库尔班(1998年生),女;研究方向:干旱区绿洲环境演变;E-mail: Amannisa024@163.com

通信作者: 满苏尔·沙比提(1963年生),男;研究方向:干旱区绿洲资源、环境与可持续发展;

E-mail: mansursa@163.com

to 2019, the average accumulated temperature $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ in the study area was $4\ 240\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{d}$, and the average duration was 210.6 d. After the mutation occurred in 1997, the average value of accumulated temperature $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ increased from $4\ 143\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{d}$ to $4\ 369\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{d}$ from 1967 to 1996, and the duration of days increased from 209 d to 214.9 d, which created a good growth environment for crops. (3) In recent 40 years, the amount of chemical fertilizer per unit area in the study area increased from $63.8\text{ kg}/\text{hm}^2$ in 1978 to $1\ 369\text{ kg}/\text{hm}^2$ in 2018, an increase of $1\ 304\text{ kg}/\text{hm}^2$; the cotton yield per unit area increased from $288\text{ kg}/\text{hm}^2$ in 1967 to $1\ 218\text{ kg}/\text{hm}^2$ in 2018, with an increase of $930.2\text{ kg}/\text{hm}^2$ and a tendency rate of $262\text{ kg}/10\text{a}$. The sowing date of cotton was advanced by 9 d, while the stopping growth period was delayed by 3 d, thus the growth period was extended by 6 d. (4) With the change of climate in the research area and the continuous development of technology, the warming of temperature increases the yield and quality, which is conducive to the development of agricultural production in the Aksu river basin.

Key words: climate; change characteristics; agricultural production; Aksu river basin

近年来气候变化研究渐渐成为生态学的一个热点,从20世纪80年代以来,有许多气候学家对全球气候变化做了不少研究^[1],IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change,联合国政府间气候变化专门委员会)第5次报告指出,全球气候变化依然是一个世界性的问题(IPCC,2013),1951—2012年全球平均地表温度的升温速率为 $0.12\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,其中2000—2010年为最温暖的10 a^[2-3]。在全球气候变化背景下,我国在水资源领域、林业和生态环境、海岸带、海域、城市领域,特别对农业结构、布局和生产带来很大影响^[4]。我国大部分干旱、半干旱地区分布在西北地区,施雅风等在西北气候变化研究中指出,西北地区的气候可能由暖干向暖湿转型^[5]。新疆是受气候变化影响最严重的区域之一,最近几年来许多研究者对新疆气候的变化特征及其带来的影响进行了大量研究^[6-12]。研究表明,气候变暖对干旱半干旱区农业的农业气候资源和农业生产条件带来影响,主要表现为积温增加、生育期延长,像棉花、小麦等喜温性农作物适宜区面积扩大、产量增加等^[13]。张雪琪等在叶尔羌河平原绿洲的研究中,同样提出气候变化对农作物生育期、化肥施用量和产量的影响^[14]。阿克苏河流域是一个独立的生态系统,姜海波等提出阿克苏河流域气温呈上升趋势^[15]。该流域是新疆主要的灌溉绿洲农业区和重要的粮食、瓜果生产基地之一,也是中国重要的棉花生产区,气候变暖不仅会导致阿克苏河流域农作物产量的增加,也会促进棉花、小麦等喜温作物适宜区面积的扩大^[15]。本文以阿克苏河流域为研究区,分析近50多年来气候变化特征及其对农业生产的影响,为研究区未来的农业发展和农业结构优质化、多样化提供科学参考依

据,并对未来气候预测与评价提供科学依据。

1 研究区概况

阿克苏河流域位于新疆维吾尔自治区西部、塔里木盆地西北部,地处塔里木河上游平原地区,地理位置为 $75^{\circ}35'\sim 80^{\circ}59'\text{E}$, $40^{\circ}17'\sim 42^{\circ}27'\text{N}$ 。流域面积 5.0 万 km^2 。阿克苏河由发源于吉尔吉斯斯坦境内昆马力克河和托什干河两大干流汇流而成^[16]。流域气候属温带大陆性干旱气候,气候干燥、少雨,多年平均降水量约 45 mm , 20 m^2 水面蒸发量 $1\ 500\text{ mm}$,流域多年平均气温 $9.2\sim 11.5\text{ }^{\circ}\text{C}$,流域地形是西北高、东南低^[17]。受地形影响,阿克苏河流域垂直地带性规律非常显著,托木尔峰和汗腾格里附近高山区的年降水量在 900 mm 以上,而海拔约 $1\ 000\text{ m}$ 的区域年降水量仅 50 mm 左右,年降水量随高程的递增率约 $16.8\text{ mm}/(100\text{ m})$,终年降水较稀少^[18]。据统计年鉴数据显示,2017年该流域常住人口为141百万人,农作物播种面积为 37.5 万 hm^2 ,农业产值为 11.3×10^4 万元,主要以种植小麦、玉米、棉花为主(图1)。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

气象资料来源于中国气象数据网(<http://data.cma.cn/>),选取1967—2019年阿克苏河流域阿克苏站($41^{\circ}07'\text{E}$, $80^{\circ}23'\text{N}$,海拔 $1\ 107\text{ m}$)和柯坪站($40^{\circ}30'\text{E}$, $79^{\circ}03'\text{N}$,海拔 $1\ 162\text{ m}$)逐日气象实测数据按月、季节、年进行统计整理。研究中划分四季,以3~5月为春季,6~8月为夏季,9~11月为秋季,12月和次年1月、2月为冬季^[19-20]。数据经极值、最大值检验、时间一致性检验、手动抽查均无误。1967—2018年的农作物播种面积、

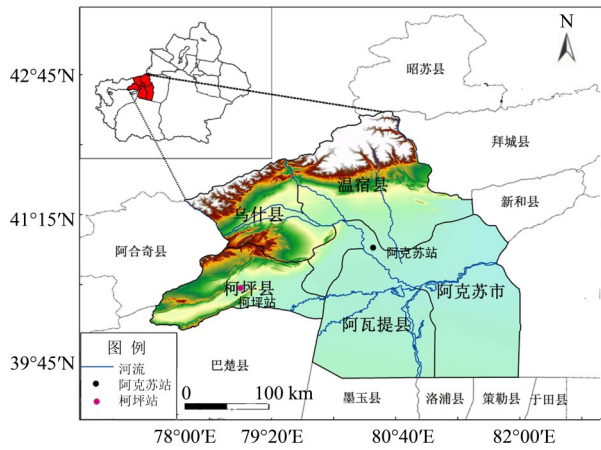


图1 研究区概况图

Fig. 1 Overview of the research area

单产、施肥量等农业数据来源于《阿克苏辉煌50年》^[21]与新疆2000—2019年统计年鉴^[22]。

2.2 研究方法

本文利用计算的气象要素时间序列,建立一元回归方程,得出研究区气温、日照时数演变趋势与变化倾向率。运用SPSS对气温、日照时数与棉花单产量进行相关性分析,得出气象要素变化与棉花单产量之间的相关性关系。

为研究气象要素 y 在气候变化中的长期变化趋势,一般采用一元回归方程来描述,公式为

$$y = at + b, \quad t = 1, 2, \dots, n, \quad (1)$$

其中 y 为时间序列(年); b 为回归系数,反映变化趋势,正为增加,负为减少,通常用 $\times 10$ 来表示气象要素的变化速率,即气候倾向率^[23]。

气象要素的突变检验采用Mann-Kendall趋势检验分析法,借助累计距平法确定突变年份,选择研究区内2个气象站检测1967—2019年的年平均气温、日照时数进行突变分析,借助累计距平

法确定突变年份。其原理是对于时间序,构造一个秩序列以反映第 k 个样本的累计数,定义统计量

$$UF_k = \frac{[S_k - E(S_k)]}{\sqrt{\text{Var}(S_k)}}, \quad k = 1, 2, \dots, n, \quad (2)$$

组成一个UF曲线,通过信度检验可得出其是否有明显的变化趋势。式中, S_k 是第 i 个时刻数值大于 j 个时刻时,数值个数的累加; $E(S_k)$ 和 $\text{Var}(S_k)$ 分别是 S_k 的均值和方差。把研究区1967—2019年的气温和日照时数数据运用到反序列当中,计算得到另一条曲线UB,则这两条曲线在置信区间内的交点确定为突变点。当UF或UB的值大于0,表示序列呈上升趋势,反之,序列则呈下降趋势^[24]。

累积距平是判断气候变化的一种方法,对研究区的突变点进行分析时可用累积距平法。对于序列 x ,某一时刻 t 的累积距平表示为

$$\chi = \sum_{i=1}^t (x_i - \bar{x}), \quad (3)$$

式中 x_i 为第 i 年的气候要素, \bar{x} 为多年的气候要素平均值,算出各个时刻的累计距平值,即可绘出累积距平曲线进行分析。累积距平曲线呈上升趋势,表示增加,反之减小。

3 结果与分析

3.1 气候变化特征分析

3.1.1 气温变化

1) 趋势分析。从阿克苏站、柯坪站气温变化图(图2 a)可知,在1967—2019年间阿克苏站的气温以 $0.515^\circ\text{C}/10\text{a}$ 的倾向率增加,近50多年平均气温为 10.7°C ,年平均气温1967年为 9.1°C ,2019年为 12°C ;年平均气温最高值出现在2016

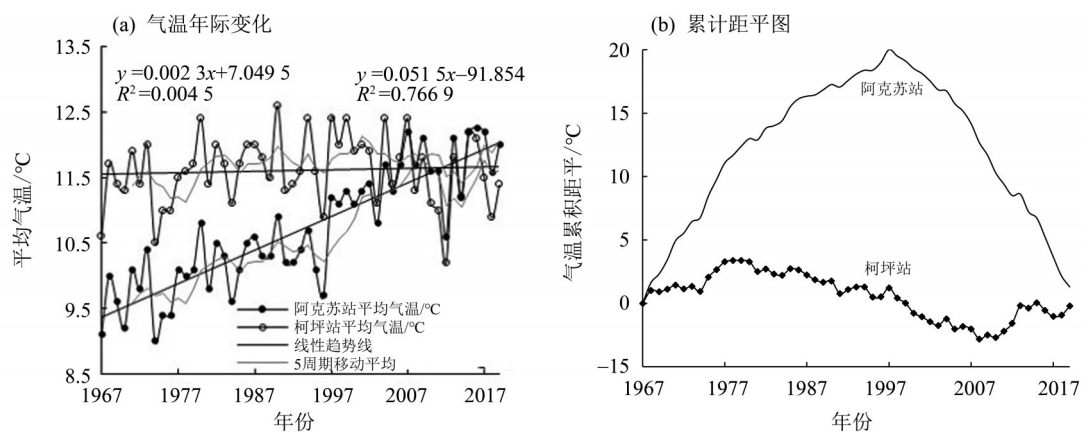


图2 阿克苏、柯坪站气温年际变化(a)和累计距平图(b)

Fig. 2 Annual temperature variation (a) and cumulative anomaly (b) of Aksu and Keping stations

年, 为 12.3 °C, 年平均最低气温出现在 1974 年, 为 9 °C, 最高值与最低值相差 3.3 °C。柯坪站在研究期间平均气温为 11.6 °C, 倾向率为 0.023 °C/10a, 年平均气温从 1967 年的 10.6 °C 增加到 2019 年的 11.4 °C, 只增加了 0.8 °C; 年平均气温最高值出现在 1990 年, 为 12.6 °C; 年平均最低气温出现在 2012 年, 为 10.2 °C, 最高值与最低值相差 2.4 °C。阿克苏站、柯坪站日最高气温出现在 2017 年和 1983 年, 分别为 39.7 和 42.7 °C, 日最低气温都出现在 1967 年, 即 -26.8 和 -29.3 °C。阿克苏站将 1997 年作为一个转折点, 1996—1997 年平均气温从 9.7 °C 直接增加到 11.1 °C; 1997—2019 年共 23 年间, 年平均气温为 11.6 °C; 1967—1996 年平均气温增加了 1.6 °C, 而柯坪站气温变化呈不显著增长趋势。

表 1 和表 2 分别为两个气象站的季际、年代际

变化表。从表 1 可以看出, 阿克苏站年代际气温变化趋势与年际变化趋势基本一致, 即增加趋势(图略)。春季至冬季平均气温分别为 14.0、23.3、10.5 和 -5 °C, 从 20 世纪 70 年代的 13.3、22.6、9.7 和 -6.2 °C 增加到 2010—2019 年的 15.5、24.4、11.6 和 -4.8 °C, 1967—2019 年以 0.543、0.455、0.544 和 0.39 °C/10a 的倾向率增加。而柯坪站春、夏、秋、冬季平均气温分别为 14.9、24.7、11.4 和 -4.8 °C, 从 1967 年的 14.6、25.4、10.4 和 -5.2 °C 依次增加到 2019 年的 15.3、24、11 和 -4.8 °C。春季和冬季气温表现出以 0.159 和 0.234 °C/10a 的倾向率增加, 夏季和秋季气温分别以 -0.234 和 -0.412 °C/10a 的倾向率减少; 柯坪站近 50 多年来的平均气温, 20 世纪 70 年代和 2000 年代均为 11.4 °C, 20 世纪 90 年代则为 11.8 °C。70 年代的春、冬季气温从 14.7 和 -5.6 °C 升高到 2011—2019

表 1 1967—2019 年阿克苏站年代际、季际气温 $T(^{\circ}\text{C})$ 、日照时数 $S_d(\text{h})$ 变化表

Table 1 Interseasonal temperature & sunshine hours of Aksu station during 1967—2019

项目		1967—1980	1981—1990	1991—2000	2001—2010	2011—2019	1967—2019
春季	T	13.3	13.2	13.7	14.8	15.5	14
	S_d	724.1	684.5	739.3	689.2	746.7	716.7
夏季	T	22.6	22.9	23.1	24.1	24.3	23.3
	S_d	891.3	873.9	921.9	854.5	871.1	883.4
秋季	T	9.7	9.8	10.3	11.6	11.6	10.5
	S_d	736	682.5	723.8	718.4	733	719.8
冬季	T	-6.2	-4.7	-4.5	-4.4	-4.8	-5
	S_d	567	499.2	528	502.4	552.6	532.2
平均	T	9.7	10.3	10.6	11.5	11.7	10.7
	S_d	2 915.6	2 748.6	2 909.9	2 760.7	2 916.1	2 853.9

表 2 1967—2019 年柯坪站年代际、季际气温 $T(^{\circ}\text{C})$ 、日照时数 $S_d(\text{h})$ 变化表

Table 2 Interseasonal temperature $T(^{\circ}\text{C})$, sunshine hours $S_d(\text{h})$ of Keping station during 1967—2019

项目		1967—1980	1981—1990	1991—2000	2001—2010	2011—2019	1967—2019
春季	T	14.7	14.8	14.6	15.3	15.3	14.9
	S_d	662	700.9	607.9	666.9	650.6	658.1
夏季	T	25.1	25.3	24.9	24.5	23.2	24.7
	S_d	859.2	842.2	781.6	816.1	775.2	819
秋季	T	11.7	11.6	11.9	11.8	10	11.4
	S_d	739.8	709.4	647.1	708.8	692.8	702.7
冬季	T	-5.6	-4.4	-4.2	-5	-4.4	-4.8
	S_d	561.8	548.1	533.9	537.7	511.1	540.8
平均	T	11.4	11.8	11.8	11.7	11.4	11.6
	S_d	2 815.2	2 816.4	2 560.4	2 727.4	2 677.3	2 727.4

年的15.3和-4.4℃,而夏、秋季气温从25.1和11.7℃减少到23.2和10℃。

2) 突变分析。从图3中可以看出,阿克苏站平均气温UF曲线在1967—2019年间表现出增加趋势,UF和UB曲线在1997年附近相交,相交点在信度线以外,之后UF持续上升,并远远超过信度线,而且累计距平最大值也出现在1997年,为20℃(图2b),从1998年开始累计距平值逐渐减少,因此,可以认为阿克苏站气温在1997年发生一次突变。从柯坪站UF曲线变化趋势来看,从1967—1990年UF曲线呈增加趋势,1991—1996年呈减少趋势,1997—2002年有呈增加趋势,2003年开始逐渐减少,并且没有超过信度线;UF、UB曲线在1974年和2018年附近相交,柯坪站年平均气温最小值出现在2012年,累计距平最小值出现在2012年,因此可以认为柯坪站气温变化趋势不明显,而且没有发生突变。

3.1.2 日照时数变化

1) 趋势分析。从阿克苏、柯坪气象站1967—2019年间年际变化趋势可知(图4a),年年平均日

照时数分别为2853.9和2727.4h,总体呈减少趋势,倾向率分别为3.806和-32.916h/10a。阿克苏站1967年日照时数为3035h,2019年日照时数为2728.9h,年总日照时数呈减少趋势,减少了306.1h,1970年代日照时数总体上呈增加趋势,到了1980年代后呈减少趋势,1995年出现了日照时数峰值,为3136.6h;1995—2008年阿克苏站日照时数呈减少趋势,出现了日照时数最小值,即为2504.6h;柯坪站日照时数从1967年的2736.4h减少到2019年的2596h,1998年的日照时数最少,为2217.6h,2014年的最多,为3168.3h;从1967年开始一直到90年代初,变化波动比较小,但是1990—2019年日照时数变化趋势呈波动式变化。从5年移动平均法来看,研究期间内阿克苏站和柯坪站日照时数都在2010年和2015年附近变化比较明显。

从四季变化趋势来看(表1和表2),研究区日照时数总体上呈增加趋势,阿克苏站、春、秋季日照时数以4.032、0.838h/10a的倾向率增加,夏、冬季日照时数以-6.946和-3.619h/10a减少,

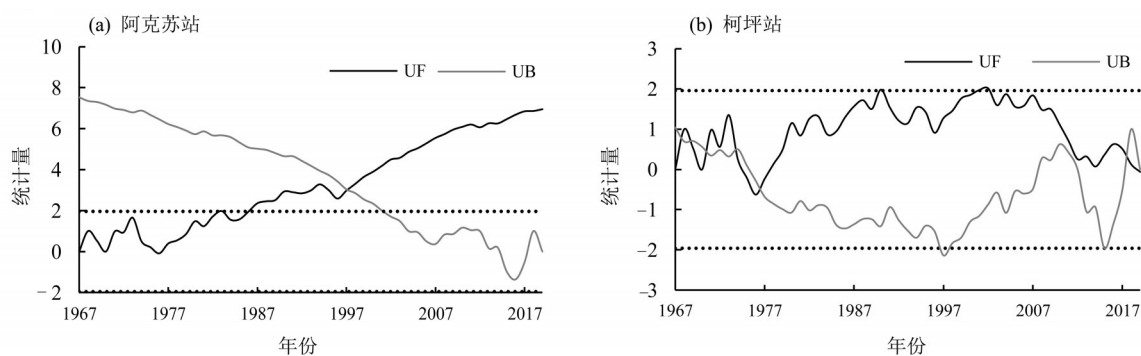


图3 阿克苏和柯坪站气温突变检验

Fig. 3 Abrupt temperature change test at Aksu(a) and Keping(b) stations

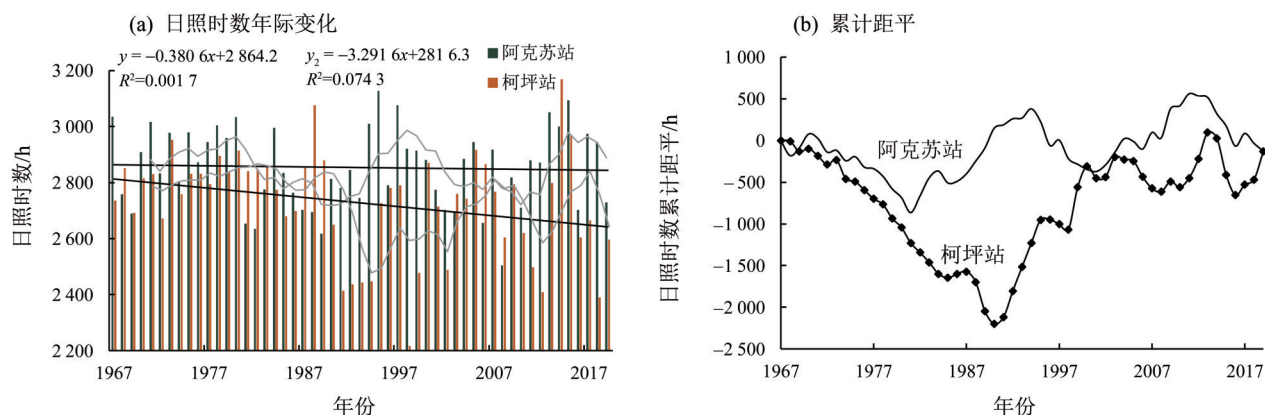


图4 阿克苏、柯坪站日照时数年际变化和累计距平图

Fig. 4 Annual variation (a) and cumulative anomaly (b) of sunshine hours at Aksu and Keping stations

春、秋季日照时数从70年代的724.1 h和736 h增加到2010~2019年的736.7和739 h, 夏、冬季日照时数从70年代的891.3和567 h减少到2010—2019年的883.4和532.2 h。柯坪站四季日照时数以-3.15、-18.489、-9.931和-8.712 h/10a倾向率减少。总体来说, 阿克苏河平原绿洲年代际、季际总体变化趋势是平均气温增加、日照时数减少, 而气候的季节性变化直接影响到农业生产条件和农业气候资源条件, 从而导致农业生产的变化。

2) 突变分析。如图5所示, 阿克苏站日照时数UF、UB曲线在信度线内发生变化, 说明阿克苏站日照时数变化趋势不显著, 累计距平最小

值-864.4 h出现在1988年, 1967—2019年间, 平均日照时数最小值出现在2008年, 为2 504.6 h; 为此, 从阿克苏站的日照时数趋势变化和突变检验、累计距平值(图4b)相结合分析, 可以认为未发生突变。从柯坪站日照时数突变检验中可以看出, UF曲线在1967—198年间呈上升趋势, 从1989年开始逐渐下降趋势, 而且UF、UB曲线在1990年相交, 从1989年开始发生了一次转折, 累计距平值也在1990年出现最小值, 即2 198.3 h, 因此基本上可以认为柯坪站日照时数在1990年发生了一次突变。

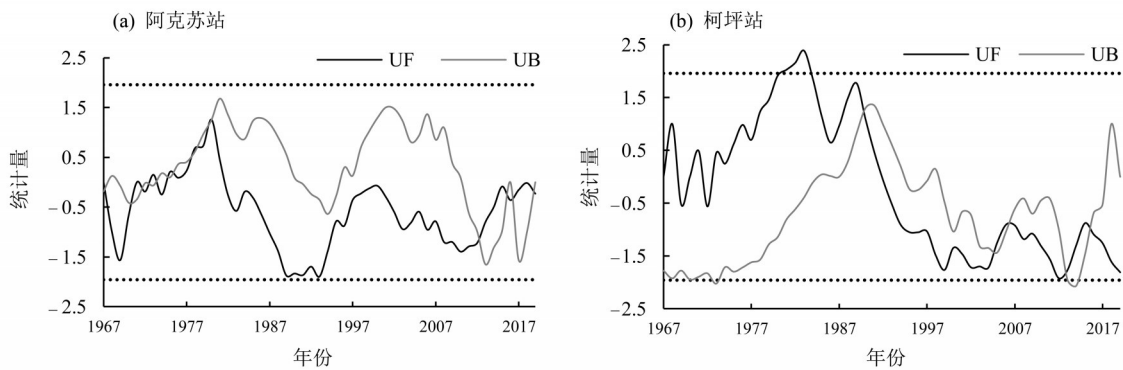


图5 阿克苏站和柯坪站日照时数突变检验

Fig. 5 Abrupt change of sunshine hours at Aksu (a) and Keping (b) stations

3.2 气候变化对农业生产的影响

3.2.1 农业气候资源的变化 从研究区 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温在近50多年的空间分布图(图6)与变化曲线图(图7a)得知, 阿克苏、柯坪站 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温与年平均气温表现出明显的趋同性, 即随着气温的升高 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温及其持续时间亦不断增大。从研究区1967—2019年间的 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温变化趋势(图7a)可以发现, 阿克苏、柯坪站 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温的多年平均值为4 240.1 $^{\circ}\text{C}/\text{d}$, 多年平均持续日数为210.6 d;

1997年发生突变之前的30年内, 有22年的 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温小于平均值, 只有8年的 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温大于平均值; 1997年之后的23年内只有3年的 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温小于平均值, 20年的 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温大于平均值。研究区 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温的持续日数在突变年份之前的20年小于平均值210.6 d, 只有6年大于平均值; 1997年之后的23年内有18年的 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温持续日数大于平均值, 6年的 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温持续日数小于平均值。可以说明, 研究区气温的增加导致 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温与持续

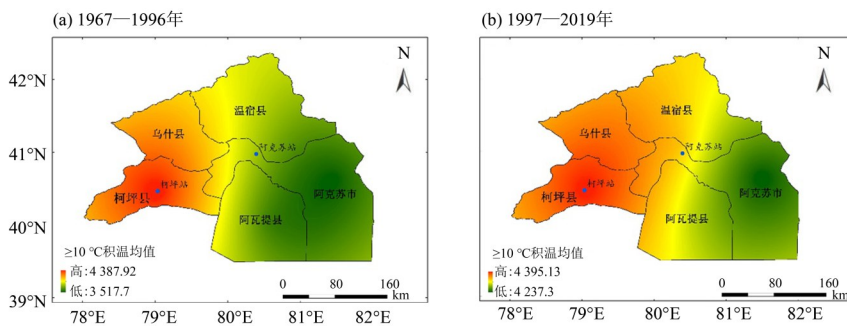


图6 1967—1996年和1997—2019年研究区 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温空间分布

Fig. 6 Spatial distribution of accumulated temperature $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ during 1967-2019

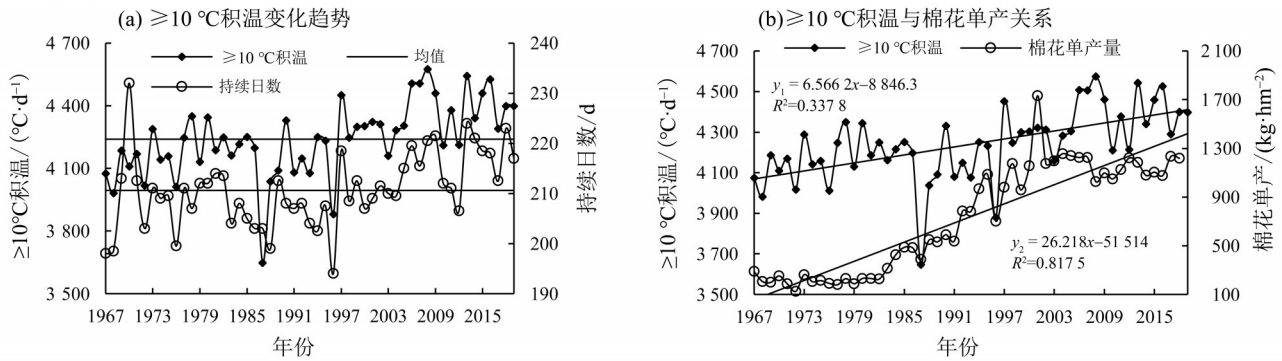


图7 阿克苏河流域 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温变化趋势及其与棉花单产关系图

Fig. 7 Variation trend of accumulated temperature $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ (a) in Aksu River Basin and its relation to cotton yield per unit area (b)

日数的不断增大,也会推进同期负积温的减少,尤其是在1996年气温发生突变之后, $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温明显增加(图6),从而给农作物的生长具备良好的生长环境和越冬环境的同时,提前了农作物播种期和生育期。

3.2.2 农业生产条件的变化

1) 化肥施用量的变化。研究区的主要生产方式和生产活动以农业为主,该区粮食性农作物和经济性农作物的生产质量和速度对经济发展有直接的影响。气候变暖,土壤有机质的微生物分解加快,肥效保持时间缩短,尤其是氮肥,温度每升高 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$,释放周期缩短 3.6 d ^[25]。从研究区最近30年来化肥施用量变化情况来看,化肥施用量从1978年约 $9\ 900\text{ t}$ 迅速增加到2018年的 41 万 t ,单位面积化肥施用量从1978年的 63.8 kg/hm^2 增加到2018年的 $1\ 367.8\text{ kg/hm}^2$ 。化肥使用量的增加促进土壤有机质含量的减少、提高农业成本,进而导致产量和农业产值,对流域生态环境也带来破坏。

2) 生长发育期变化。阿克苏河流域是我国著名的棉花生产基地,因此,在气候变化对生长发育期的影响分析中,以棉花的春季播种期和秋季停止生长期及其与研究区气候变化的关系为例,探讨近50年来研究区气温增长对棉花生育期的影响。研究期间内,阿克苏、柯坪站春秋季平均气温在不断升高,春季气温从 13.3 和 $14.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ 升高到 15.9 和 $15.6\text{ }^{\circ}\text{C}$,秋季气温从 8.7 和 $10.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 升高到 12 和 $11\text{ }^{\circ}\text{C}$,从而导致研究区春季农作物播种期提前和秋季早霜期推迟,致使棉花的生长发育期延长。阿克苏河流域棉花播种期从20世纪60年代的4月17日提前到2010—2018年的4月8日,停止生长期从9月7日推迟到9月10日,生育期从 175 d 延长到 191 d 。生育期的延长为棉花生长和发育提供了更多的热量资源和生长条件,有利于棉花的

生产速度和质量。

3) 单产的变化。气温、日照时数等气候因素的变化直接影响农作物的生长和生产,气温的增加对棉花等喜温作物提供良好的生长条件,进而提高质量和产量,日照时数的减少会影响农作物的光合作用,从而对不同的作物带来不同程度的影响。研究区气温不断增加,日照时数呈减少趋势,由图6可以发现, $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温与棉花单产呈正相关关系。研究期间阿克苏、柯坪站平均 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温以 $65.7\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 的倾向率在增长,1967—1996年研究区 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温增长速度缓慢,同期棉花单产增长速度也慢,而从1997年开始,即气温发生一次突变之后随着 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的增长棉花单产量都快速增加,棉花单产量从1967年的 287.8 kg/hm^2 增加到2018年的 $1\ 218\text{ kg/hm}^2$,以 $262.18\text{ kg}/10\text{ a}$ 的倾向率增加;多年平均单产量为 726.2 kg/hm^2 ,1992年以前的棉花单产量均小于平均值,之后的26年棉花单产量均大于平均值。因此,20世纪90年代以来研究区气温不断增长,给农作物提供了良好的农业气候资源,从而提高产量。

4 结论

通过采用一元线性回归、M-K检验和突变分析等方法,对阿克苏河近50多年来气温、日照时数等气候因素变化对农业生产的影响进行分析和研究,得出以下结论:

1) 研究区1967—2019年气候变化趋势明显,即气温升高、日照时数减少。阿克苏站、柯坪站增温倾向率分别为 0.515 、 $0.023\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,年平均气温为 10.7 和 $11.6\text{ }^{\circ}\text{C}$;阿克苏站春、秋季增温趋势明显,为 0.543 和 $0.544\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,柯坪站春、冬季气温变化明显,表现出以 0.159 和 $0.234\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 的倾向率增加。阿克苏、柯坪站日照时数呈减少趋势,倾向率分别为 3.806 和 $-32.916\text{ h}/10\text{ a}$,平均

日照时数为2 853.9和2 727.4 h;阿克苏站秋季日照时数变化明显,增加幅度表现为0.838 h/10a,柯坪站夏季变化幅度最大,为-18.489 h/10a减少。阿克苏站气温在1997年发生突变,柯坪站日照时数在1990年发生一次突变。

2) 气候变暖对农业气候资源影响明显。1967~2019年间研究区 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温的平均值为4240.2 $^{\circ}\text{C}/\text{d}$,平均持续时间为210.6 d;1997年发生突变后, $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温的平均值增加到4 368.8 $^{\circ}\text{C}/$

d,持续日数增加到214.9 d。

3) 气候变化对农业生产条件的影响明显。研究区化肥施用量从1978年的63.8 kg/hm^2 增加到2018年的1 368.8 kg/hm^2 ,近40年增加了1 304 kg/hm^2 ,棉花单产量从1967年的287.8 kg/hm^2 增加到2018年的1 218 kg/hm^2 ,以262.18 $\text{kg}/10\text{a}$ 的倾向率增加,提高了930.2 kg/hm^2 。棉花播种期提前了9 d、停止生长期推迟了3 d、生育期延长了6 d,为植物的营养吸收和更多资源营造了机会。

参考文献:

- [1] 张强,邓振镛,赵映东,等. 全球气候变化对我国西北地区农业的影响[J]. 生态学报,2008,28(3):1210-1218.
- [2] 孙康慧,曾晓东,李芳. 1980~2014年中国生态脆弱区气候变化特征分析[J]. 气候与环境研究,2019,24(4):455-468.
- [3] 刘盛梅,刘莉,张红. 气候变化对农业生产影响的区域差异分析[J]. 吉林农业,2019(17):109.
- [4] 买合皮热提·吾拉木,玉苏甫·买买提,满苏尔·沙比提. 渭干河-库车河三角洲绿洲棉花种植面积时空变化特征分析[J]. 干旱地区农业研究,2014,32(3):214-219.
- [5] 刘德祥,董安祥,邓振镛. 中国西北地区近43年降水资源变化对农业的影响[J]. 干旱地区农业研究,2005(4):179-185.
- [6] 刘卫平,魏文寿,杨青,等. 新疆阿克苏河流域近40年来气温和降水变化[J]. 干旱区研究,2007(3):339-343.
- [7] 玉苏甫·买买提,买合皮热提·吾拉木,满苏尔·沙比提. 气候变暖对渭干河-库车河三角洲绿洲棉花生产的影响[J]. 地理研究,2014,33(2):251-259.
- [8] 满苏尔·沙比提,玉苏甫·买买提,阿依图尔荪·哈力穆拉提. 渭-库三角洲绿洲不同连作年限棉田土壤理化特征分析[J]. 土壤通报,2017,48(4):868-874.
- [9] 柏玲. 气候变化对天山南坡典型流域径流过程的影响[D]. 上海:华东师范大学,2016.
- [10] 张雪琪,满苏尔·沙比提,马国飞. 叶尔羌河平原绿洲气候变化对粮食生产的影响[J]. 干旱区研究,2018,35(3):705-712.
- [11] 王志成,蒋军新,方功焕,等. 水资源约束下的阿克苏河流域适宜绿洲规模分析[J]. 冰川冻土,2019,41(4):986-992.
- [12] 黄国强. 近50年来阿克苏河径流演变特征分析[J]. 地下水,2019,41(5):132-135.
- [13] 常浩娟,刘卫国. 新疆生产建设兵团地区气候资源变化及其对农业生产效率的影响[J]. 科学技术与工程,2019,19(20):97-103.
- [14] 张雪琪,满苏尔·沙比提,马国飞. 叶河平原绿洲气候变化及其对农业生产的影响[J]. 西北大学学报(自然科学版),2018,48(2):299-305.
- [15] 姜海波,何新林,刘兵,等. 气候变化背景下阿克苏河流域平原水库蒸发规律研究[J]. 水资源与水工程学报,2014,25(5):81-84+88.
- [16] 刘新华,徐海量,张青青,等. 气候变化对阿克苏河流域径流过程的影响[J]. 自然资源学报,2012,27(11):1931-1939.
- [17] ZHANG S H, LIU S X, MO X G, et al. Assessing the impact of climate change on potential evapotranspiration in Aksu River Basin [J]. Journal of Geographical Sciences, 2011, 21(4):609-620.
- [18] 聂艳,马泽玥,周道峰. 阿克苏河流域土壤湿度反演与监测研究[J]. 生态学报,2019,39(14):5138-5148.
- [19] 刘盛梅,张红,刘莉. 试论气候变化对农业生态的影响——以乌鲁木齐地区为例[J]. 吉林农业,2019(18):112.
- [20] 赵彦茜,肖登攀,唐建昭,等. 气候变化对我国主要粮食作物产量的影响及适应措施[J]. 水土保持研究,2019,26(6):317-326.
- [21] 阿克苏地区统计局. 阿克苏辉煌50年[R],1999.
- [22] 新疆统计局. 新疆统计年鉴[R],2019.
- [23] 刘德祥,董安祥,陆登荣. 中国西北地区近43年气候变化及其对农业生产的影响[J]. 干旱地区农业研究,2005(2):195-201.
- [24] 陈青青,陈超群,杨志勇,等. 阿克苏河径流演变及其对气候变化的响应[J]. 水资源与水工程学报,2017,28(1):88-93+99.
- [25] 胡江玲,满苏尔·沙比提,娜斯曼·那斯尔丁. 新疆阿图什市气候变化特征及其对农业生产的影响[J]. 干旱地区农业研究,2010,28(4):258-263+268.