

分类号:

密 级:

学号: 1076212009413

单位代码: 10762

# 新疆师范大学

## 2012 届硕士学位论文

### 新疆阿克陶县近 50 年气候变化特征研究

### Characteristics of Climate Change in Akto County

### for Recent 50 Years

研究生姓名: 古丽巴哈尔·吾布力

学科、专业: 自然地理学

研 究 方 向: 气候与环境变化研究

院系、年级: 地理科学与旅游学院 2009 级

指 导 老 师: 王晓峰      教授

新疆师范大学

2012 年 6 月 2 日







## 中文摘要

本文利用新疆阿克陶县气象局提供的气象数据，首先对气温、降水、蒸发量、日照时数等气象要素进行年际、年代、季节变化分析，利用累积距平信噪比、M-K检验法、滑动t检验、Yamamoto检验等方法检测这些要素的突变年分。其次，利用无霜期、初终霜日、风速、大风日数、积温、相对湿度、沙尘暴日数等其它气象要素资料，应用Spss、Excel等软件，对这些数据进行趋势、相关分析。最后对阿克陶县与近邻市、县的气温、降水变化进行比较。研究结果表明：

(1) 近50年来阿克陶县的年均气温总体呈下降趋势，其变化倾向率为 $-0.01^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ，春、夏、秋三个季节气温均呈下降趋势，冬季的气温呈上升趋势，60年代和70年代的平均气温比近50年的平均气温均高，80年代和90年代平均气温有所下降，21世纪以来气温呈上升趋势。年气温突变点出现在1980-1984年之间，春季突变年接近年气温突变，其它三季突变年份提前。

(2) 近50年来阿克陶县年降水量总体呈增多趋势，其变化倾向率为 $8.75\text{mm}/10\text{a}$ ，春、夏、秋、冬四个季节的降水均呈增多趋势，从60年代至70年代末，年降水量变化不大，波动中略有增多。从80年代至21世纪初年降水量呈增多趋势。年降水量的可靠突变点在1980-1986年之间，春季降水量没有检测到突变点，夏季突变发生在1981年，秋季和冬季突变年份滞后出现在2000-2002年。

(3) 阿克陶县近46年来年蒸发量呈显著下降趋势，其变化倾向率为 $-263.17\text{mm}/10\text{a}$ ，夏季平均蒸发量减少最多，春、秋季之次，冬季平均蒸发量减少最少。从60年代至90年代年蒸发量一直在减少，不过近几十年来蒸发量略有增加的趋势。蒸发量在1971年和1982年发生突变，与春季突变年份一致，夏、冬季突变年份滞后。

(4) 阿克陶县日照时数逐年减少的趋势比较明显，尤其是90年代以后日照时数的减少幅度比较大。日照时数最多年份为1963年，最少年份为2009年。春、夏、秋、冬四季平均日照时数的变化倾向率分别为 $-17.88\text{h}/10\text{a}$ 、 $-28.17\text{h}/10\text{a}$ 、 $-26.59\text{h}/10\text{a}$ 、 $-27.58\text{h}/10\text{a}$ 。日照时数突变发生在1983-1984年，春季发生在1982-1989年，夏季发生在1985-1993年，秋季发生在1991-1992年，冬季发生在1983-1990年。

(5) 多年来阿克陶县初霜日期以 $1.2\text{d}/10\text{a}$ 的速度提前，终霜日以 $1.03\text{d}/10\text{a}$ 的速度推迟，无霜期以 $9.6\text{d}/10\text{a}$ 的速度缩短， $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温呈下降趋势，变化倾向率为 $-58.6^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 。平均风速、大风日数都呈下降趋势，变化倾向率分

别为 $-0.44\text{m}\cdot\text{s}^{-1}/10\text{a}$ 、 $-5.9\text{d}/10\text{a}$ 。平均相对湿度总体呈升高趋势，其变化倾向率为 $2.9\%/10\text{a}$ ，沙尘暴日数总体呈下降趋势，其变化倾向率为 $-5.2\text{d}/10\text{a}$ 。

(6) 喀什市，阿图什市，莎车县的气温均呈上升趋势，其中喀什市的气温增幅最大，阿克陶县的气温则呈下降趋势；降水量都呈增加趋势，增加幅度最大的是阿图什市，最小的是莎车县。

**关键词：**阿克陶县；气候变化；气候突变

## Abstract

This article uses the meteorological data provided by the met office in Akto County in Xinjiang, first analyzed the inter-decadal, inter - annual and seasonal climate change characteristics on temperature, precipitation, evaporation, annual sunshine hours. abrupt of climate were analyzed respectively by slide test, Yamamoto , M-K test, moving t-test to detect these elements. Secondly, the annual and seasonal changes of frost-free period, last frost date, days of wind speed, relative humidity, dust storm days and other meteorological information, analyzed by employing the software of Spss, Excel. Finally analysis the effects of climate change on food production in recent 25 years. Research results show that:

(1) During the last 50 years, the temperature of the study area shows a trend of decreasing, and the decreasing rate was  $-0.11\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ . It had a tendency of increasing in winter, and decreasing in summer, autumn and spring. The average temperature in the 60s and 70 s are high than the average temperature, 80s and 90s average temperature has dropped; the temperature is rising in the 21st century. Temperature mutations appeared in between 1980-1984 years, mutations in the spring close to the annual temperatures mutations, the other three quarters ahead.

(2) During the last 50 years, the precipitation of the study area had a trend of increasing, and the increasing rate was  $8.74\text{ mm}/10\text{a}$ . seasons of spring, summer, autumn and winter precipitation showed an increasing trend. Reliable mutation of annual precipitation between 1980-1986, does not detect the mutations points of precipitation in spring, mutations in summer occurred in 1981, autumn and winter occurred in 2000-2002.

(3) Annual and seasonal evaporation had a trend of decreasing and the decreasing rate was  $-263.17\text{ mm}/10\text{a}$ , the summer evaporation reduces the most, the winter evaporation to reduce at least. The evaporation in the 1960s has been reduced, but has slightly increasing trend in recent decades. The mutation points of evaporation occurred in 1971 and 1982, consistent with the spring, summer and winter catastrophe year lag.

(4) Annual and seasonal sunshine hours have been decreasing trend in the past 50 years, has larger reductions in 1990s. Sunshine hours up to the year 1963, at least the year 2009. Sunshine hour's mutation occurred in 1983-1984, the spring mutation occurred in 1982-1989, summer mutation took place in 1985-1993, and the autumn

mutation occurred in 1991-1992, the winter mutation occurred in the 1983-1990.

(5)Over the years the first frost date to speed ahead of 1.2d/10a, Last frost date postponed at a 1.03d/10a rate, Frost at a 9.6d/10a speed short,  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  accumulated temperature has downward trend, rates of change for  $-58.6^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ .the average wind speed and the number of gale days a downward trend ,speed as  $-0.44\text{m}\cdot\text{s}^{-1}/10\text{a}$ ,  $-5.9\text{d}/10\text{a}$ .the average relative humidity showed an increasing trend,rates of change for  $2.9\%/10\text{a}$ .days of sandstorm has declined, rates of change for  $-5.2\text{d}/10\text{a}$ .

(6)Temperatures have increasing trend in Kashi city, Atushi city, Shache County, the larges temperature increasing occurred in Kashi city. Temperature showed a downward trend in Akto County. Precipitation has increasing trend, the greatest increases in Atushi City, and the smallest in Shache County.

**Keywords:** Climate Change, Akto County, the climate abrupts

# 目录

<b>1 绪论</b> .....	1
1.1 选题依据 .....	1
1.2 研究意义 .....	2
1.3 研究动态 .....	3
1.3.1 国外气候研究现状 .....	3
1.3.2 国内气候研究现状 .....	4
1.3.3 西北地区气候研究现状 .....	6
1.3.4 新疆地区气候研究现状 .....	6
1.3.5 南疆地区气候变化研究动态 .....	7
1.4 研究内容 .....	8
1.5 本文研究解决的问题 .....	8
1.6 本文研究思路和技术路线如图 .....	10
<b>2 研究区概况、研究资料和研究方法</b> .....	11
2.1 研究区自然环境及社会经济概况 .....	11
2.1.1 自然环境概况 .....	11
2.1.2 气候概况 .....	11
2.1.3 水文概况 .....	12
2.1.4 社会经济概况 .....	12
2.2 有关数据与资料来源 .....	12
2.3 研究方法 .....	13
<b>3 阿克陶县气温变化特征</b> .....	17
3.1 阿克陶县气温年际变化特征 .....	17
3.2 阿克陶县气温季节变化特征 .....	18
3.3 阿克陶县气温突变分析 .....	19
3.4 气温变化小结 .....	21
<b>4 阿克陶县降水量变化特征</b> .....	23
4.1 阿克陶县降水年际变化特征 .....	23
4.2 阿克陶县降水季节变化 .....	24
4.3 阿克陶县降水突变分析 .....	26
4.4 降水变化小结 .....	28
<b>5 阿克陶县蒸发量变化特征</b> .....	29
5.1 阿克陶县蒸发量年变化特征分析 .....	29
5.2 阿克陶县蒸发量年代变化特征分析 .....	29
5.3 蒸发量季节变化特征分析 .....	30
5.4 阿克陶县蒸发量突变分析 .....	31
5.6 蒸发量变化小结 .....	32
<b>6 阿克陶县日照时数变化特征</b> .....	34

6.1 日照时数年变化特征分析 .....	34
6.2 日照时数年代变化特征分析 .....	34
6.3 日照时数季节变化特征分析 .....	35
6.4 阿克陶县日照时数突变分析 .....	36
6.6 日照时数变化小结 .....	38
<b>7 阿克陶县其它气象因子的变化特征</b> .....	<b>39</b>
7.1 初终霜日、无霜期的变化特征 .....	39
7.1.1 初霜日 .....	39
7.1.2 终霜日 .....	39
7.1.3 无霜期 .....	40
7.2 阿克陶县积温变化特征 .....	41
7.3 阿克陶县风的气候变化特征 .....	42
7.3.1 平均风速的变化 .....	42
7.3.2 大风日数的变化 .....	44
7.3.3 风向的变化特征 .....	45
7.4 阿克陶县相对湿度的变化特征 .....	45
7.4.1 相对湿度的年际变化 .....	45
7.4.2 相对湿度的年内变化 .....	46
7.5 阿克陶县沙尘暴的变化特征 .....	47
7.6 本章小结 .....	48
<b>8 阿克陶县气候变化与近邻市、县比较</b> .....	<b>50</b>
8.1 阿克陶县气候变化与近邻市、县比较 .....	50
8.1.1 气温比较 .....	50
8.1.2 降水量比较 .....	50
8.2 本章小结 .....	51
<b>9 全文总结与展望</b> .....	<b>52</b>
9.1 全文总结 .....	52
9.1.1 气温变化总结 .....	52
9.1.2 降水变化总结 .....	52
9.1.3 蒸发量变化总结 .....	53
9.1.4 日照时数变化总结 .....	53
9.1.5 其它气象要素变化总结 .....	53
9.1.5 阿克陶县气候变化与近邻市、县比较总结 .....	54
9.2 本文特色及创新点 .....	55
9.3 存在的问题及下一步工作计划 .....	55
<b>参考文献</b> .....	<b>56</b>
<b>在读期间发表的论文</b> .....	<b>60</b>
<b>致谢</b> .....	<b>61</b>

# 1 绪论

## 1.1 选题依据

气候变化是 20 世纪 70 年代起世界气象学家一直关注的问题之一，它与人类现时的生产、生活有密切关系，同时与未来的长远规划也有关，具有重要的意义<sup>[1]</sup>。面对气候变化，未来可能出现的环境变化，人类社会如何适应以及如何有效地利用变化的环境，就显得更重要。气候变化具有区域差异性，对区域气候变化进行研究，对区域经济发展甚至对国家的可持续发展战略都具有深刻的意义。目前对中国西北地区气候变化作了大量研究，并取得了许多重要成果。但是针对小区域气候变化的研究并不是很全面和深入，而研究小区域气候变化对水资源、农业生产、作物布局及灾害预防有极为重要的作用。气候变化具有地域差异，不同地区气候变化趋势是不一样的。新疆地域宽广，地形地貌相差悬殊，南北疆气候差异大，不同区域对全球变化的响应程度不同，在区域的社会经济发展和生态、环境建设中，必须关注区域的气候变化，因而开展区域研究是有现实意义的。新疆阿克陶县地处中纬度，紧靠欧亚大陆中心，由于南、西、北分别有昆仑山、帕米尔高原、以及天山的屏障作用和东临塔克拉玛干大沙漠，且地域辽阔、地形复杂、海拔高度差异大、远离海洋的特殊地形，使温暖空气不易流入，大气中的水汽来源少，属温暖大陆性干旱气候。阿克陶县作为我国最西北部典型的小区域气候类型区之一，近年来随着其区域经济的发展，过度开采矿产资源，造成生态环境严重破坏，直接影响着其区域气候的变化和农业生产，对这些问题还没有相关的解决措施，而且目前也没有有关阿克陶县气候变化的，比较全面和系统的定量研究。本文选择阿克陶县的气候变化作为研究对象，对该县气温、降水量、蒸发量、日照时数、相对湿度、风速、积温、无霜期等气象要素的变化特征进行全面分析，研究气温、降水等要素的变化特征及其趋势，揭示该县在全球气候变化条件下的响应特征，为了正确的进行作物布局和种植结构调整，为农业可持续发展提供科学依据。同时探讨该县的无霜期、风速、积温等气象要素在全球、全国气候变暖的背景下所发生的变化特征。因为阿克陶县粮食产量很大程度上取决于气候条件，所以研究气候变化特征，为正确指导农业生产和促进该县经济发展及城市规划等提供科学依据。

## 1.2 研究意义

气候变化是因大气的组成改变而造成的，而人类活动直接或间接的改变了地球大气的组成。气候变化是威胁生态环境、人类健康和社会经济发展的危险因素之一，因此，气候变化已经是各国政府和科学家普遍关注的问题。气候研究在全球气候变化中起了决定性的作用。

以气候变暖为标志的全球变化已经发生，并将继续到可预见的将来。气候变化将可能带来不可逆的全球尺度的气候系统的变化，这种变化可能带来益处，也可能带来巨大的灾难。据北半球代表性数据分析<sup>[2]</sup>，20世纪是过去1000年增温最大的100年。而1998年是1860年以来居第一位的高温年，2001年居第二位。以1961—1990年平均气温为标准，2001年气温超过平均值0.42℃。在过去的141年中，世界上曾出现过23个高温年，仅20世纪90年代就有9个。研究表明<sup>[3]</sup>：自1860年以来，全球平均温度升高了0.8℃。最近100年，中国的平均气温也升高了0.8℃。研究结果表明，未来50-100年全球将继续变暖，亚洲及我国也不例外。王绍武<sup>[4]</sup>研究发现近百年来全球气候变化的主要特征是变暖，我国的气温变化与全球大体相同，却并不总是一致。我国华北、东北及新疆的变暖可能与北半球一致，但长江流域气温反而有所下降。气候变暖对我国生态系统也产生了严重影响，近50年来我国海平面呈上升趋势；现代冰川退缩，冰川面积近300余年间已减少了24.7%，与气候变暖有密切关系的极端天气事件，如干旱、暴雨、沙尘暴、台风、森林火灾等的发生频率也在增加。具体表现为极端降水事件趋多趋强；长江及长江以南地区强降水事件的发生频率有所增加，年降水量和极端降水量增多；江淮流域暴雨洪涝事样发生频率增加。气候变暖导致区域性干旱事件连年发生。

全球变暖对人类社会带来的危害日益显著，尤其是由气候变暖而引起的食物、水资源和生态环境危机将会影响民族生存和发展。因此，关注气候变化，开展对气候变化趋势、原因研究，对社会的可持续发展和国家安全有非常深刻的意义。胡汝骥等<sup>[5]</sup>提到：气候变化是一个非常复杂的科学问题。此问题对于干旱区的经济发展，生态与环境保护，洪水、干旱灾害预防，改善人民生活是非常重要的，因此很有必要加强对气候、生态、水资源等方面的综合研究，为当地的社会经济发展与城市规划提供理论和科学依据。

对气候变化进行分析，可以为当地农业的规划、布局作物和管理农作物栽培等服务，还可以合理利用气候资源、规避不利气象因素、正确指导农业生产，调整作物布局和种植结构，以降低成本、促进丰产，提高效益。因此对区域气候变化进行研究具有实践意义。阿克陶县气候总特点是：光照充足、温度偏低、一年二熟，降水少且年内分配不均。近几年来该县为了快速发展经济，

过度开采矿产资源，因为技术水平落后，开发方式粗放，加重了河流污染、生态环境破坏，植被锐减，影响了区域的气候变化。有关部门曾对气候进行研究，但目前还没有阿克陶县气候变化的深入研究。

本文的分析结果将会给以上所述的各方面提供可参考的理论基础。县政府非常关心自己管辖范围内的气候变化趋势，也希望知道气候变化会不会对该区域的生态环境和经济发展的可持续性构成危害。而且该县干旱缺水、适应能力比较差、生态环境比较脆弱，因此气候变化可能会带来风险，本文的研究目的是为该县政府能够应对气候变化、做好防灾工作、城市规划、保护生态环境等提供科学依据。掌握本地区农业气候特征，对于农、牧、林业的合理布局，提供可靠的农业气候信息及准确的农业气候数据，为农业现代化建设的总体规划提供必不可少的科学依据，因此有极其重要的现实意义。

### 1.3 研究动态

#### 1.3.1 国外气候研究现状

气候学家们早就注意了关于气候变化的研究，特别是在20世纪80年代以后引起了更多气候学者的重视。发达国家对气候变化开展了比较全面的研究工作，从各个方面探讨了气候变化的原因和事实，现已开始了对气候变化的过程进行研究。IPCC2001年发表的第三次评估报告<sup>[6]</sup>指出：20世纪的100年平均气温上升 $0.6\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ ，90年代是近1000年中最暖的10年，1998年是最暖的1年。近100年来全球增暖发生在两个时期：一是20世纪10年代至40年代；二是从70年代后期开始到现在。前一时期的增暖区域主要是北大西洋，而从40年代到70年代，北半球大部分地区的温度则有所下降。从1976年以来，北半球大陆地区呈增暖趋势，而北太平洋中部，南大西洋地区，北美大陆东北部等则略变冷。

Plummer N, Suppiah R, Hemmessy K and Salinger M J 等<sup>[7]</sup>利用长序列资料进行研究，结果指出：新西兰、南太平洋地区和澳大利亚，在1951~1993年，平均气温上升了 $0.4\sim 0.8^{\circ}\text{C}$ ，20世纪平均气温上升了 $0.7^{\circ}\text{C}$ 。也有学者建立了500年、1000年和2000年的时间序列来解释气候的变暖，其中著名的有Mann<sup>[8-9]</sup>建立600年的气温序列，逐渐推广到1000年。Jones<sup>[10]</sup>等用了17个气象站的资料建立了1000年的全球气温序列。Crowley<sup>[11]</sup>等用15个站的数据建立了近1000年来北半球的气温序列。Briffa<sup>[12]</sup>用树木年轮数据建立了北半球的气温序列。Gruza G, Razuvaev, Rankova E 等<sup>[13]</sup>利用1886-1996年俄罗斯西部地区观测资料进行研究：在全年、冷季与暖季气温都有增温趋势，冷季最强，暖季最弱。IPCC第四次评估报告<sup>[14]</sup>指出：1906~2005年全球地表温度上升了

0.74℃，从 1850 年以来最暖的年份有 12 个，其中 11 个出现在 1995—2006 年，1961 年以后观测的结果指出：20 世纪全球海平面上升约 0.17m。预测结果指出：21 世纪末全球平均地表温度上升 1.1~6.4℃，海平面上升约为 0.18~0.59m，在未来 20 年中，平均气温以 0.2℃/10a 的速度升高。全球变暖最后结果是总降水量的增加，在 20 世纪全球陆地降水约增加了 2%<sup>[15]</sup>。

在降水方面，Hulme 和 Jones 等<sup>[16~17]</sup>的研究指出：20 世纪以来，全球陆地降水量增加了 1%，在 30-85°N 降水量增加了 7-12%，在 5-50°S 增加了 2-3%，北半球中纬地区降水量的增加发生在秋冬季，而副热带地区从 80 年代到 90 年代降水量减少。Bradley<sup>[18]</sup>利用降水量的 Y 指数研究了 1855-1984 年北半球年降水量变化的特征，结果表明：1884 年以前 35-70°N 的中高纬度降水量呈增加趋势，5-35°N 的副热带降水量呈减少趋势。施能、陈绿文<sup>[19]</sup>等研究了 1920-2000 年陆地年降水量的变化，研究指出北半球高纬度降水量略有增多，其它纬度带的降水量都在减少，其中降水量减少最为显著的是 35°S-35°N，而热带地区降水量减少最多。热带地区比较湿润，降水量从赤道向南向北递减，季风区是降水量最大的区域。黄先香、施能等<sup>[20]</sup>研究了 7 个大尺度区域 1948-2001 年 6-8 月降水量的变化特征，结果表明南、北半球陆地 6-8 月降水量都呈减少趋势，但是南半球降水量的减少趋势在统计上不是很明显。进一步分析了我国夏季降水量的变化特征，指出夏季降水量的年代变化显著，但没有明显的趋势变化。

20 世纪 90 年代以后，变化趋势和变化原因是研究蒸发量的主要两个趋势。Hulme 等<sup>[21]</sup>认为导致蒸发增加的主要原因是全球气温增高，但好多研究结果与其相反，引起蒸发量减少的原因不一样；Peterson 等<sup>[22]</sup>研究表明造成前苏联和美国蒸发量下降的原因是云量的增加；Chattopadhyay 等<sup>[23]</sup>指出造成印度蒸发皿蒸发和潜在蒸发减少的主要因素是辐射和相对湿度；Roderick 等人<sup>[24~25]</sup>指出从 70 年代以来新西兰和澳大利亚的蒸发量呈下降趋势，这变化与北半球相似，结果表明造成蒸发量下降的原因是云量和气溶胶浓度增加；Cohen 等<sup>[26]</sup>认为 1964~1998 年以色列的蒸发量呈增加趋势，但因为影响蒸发的动力因素发生变化而潜在蒸散没发生变化。

### 1.3.2 国内气候研究现状

中国气象学家对我国的气温变化做了不少的研究，唐国利等<sup>[27]</sup>建立了我国近 100 年的地表气温序列，并对气温变化趋势进行了再分析，指出：从 1905 年以来我国地表气温明显增暖，增温速率为 0.08℃/10a，比同期全球平均略高，近 100 年来我国冬季和春季的气温明显增温，夏季却略有变凉趋势，20 世纪 30—40 年代地表增温比较明显，50—60 年代则地表气温变冷趋势比同期全球显著得多。

陈隆勋等<sup>[28]</sup>对我国近80年来的气候变化进行了研究，中国地区40和90年代出现了2个暖期及50—60年代相对冷期，50年代为多水年代，以后缓慢减少，70年代以后由华北南部移到长江中下游，这些气候变化特征明显的滞后于全球变暖，并且出现变冷带等明显差异。于淑秋<sup>[29]</sup>利用我国近50年的日平均温度资料，研究了日平均温度的变化趋势。指出：近50年来我国大部分地区夏季最高日平均气温呈上升趋势，黄淮的部分地区和新疆南部呈下降趋势；最低日平均气温北方地区呈上升趋势，长江流域及新疆南部则呈下降趋势；在冬季，最高日平均气温和最低日平均气温都呈以上升为主的变化趋势，北方最明显。王翠花等<sup>[30]</sup>采用近50年来我国241个测站日最低气温资料，对不同季节的日最低气温的变化趋势进行了研究。研究表明：在全球变暖的背景下，日最低气温的上升趋势是非常明显的，特别是80年代以后，北方的最低气温上升比南方和青藏高原更加显著。70年代中期前后，日最低气温发生了的第一次变暖突变，但变暖的趋势不是很明显，80年代中期后，发生了趋势非常明显的第二次变暖突变；在青藏高原和南方地区夏季日最低气温则有下降的趋势。任国玉<sup>[31]</sup>利用中国大陆近54年的地面资料，分析了我国主要气候要素变化的时空特征，指出：我国近50年来地表气温呈上升趋势，增温速率约 $0.21^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ，明显高于全球同期平均增温速率。王绍武、蔡静宁等<sup>[32]</sup>对中国不同时间尺度的气温变化进行了分析，指出20世纪以来中国气温呈上升趋势，升温速率为 $0.44^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ，20—30年代上升明显，与东亚的上升趋势一致，1998年是全球有观测记录以来最暖的一年，20世纪90年代是最暖的10年，这与全球平均气温变化的趋势一致。李克让等人<sup>[33]</sup>的研究表明，中国气候变化有一定的地理差异，东北、新疆、西北和华北的变化趋势与全国基本一致，南部的华南和西南，特别是西南是另一种趋势。升温具有季节差异，北部地区的增暖主要集中在冬春两个季节。

中国降水变化的研究领域也取得了重要的成果。近100年来，我国的年降水量变化趋势不明显，但呈现明显的年际与年代际变化。在上世纪30—40年代和80—90年代降水偏多，其它年代降水偏少。任国玉等<sup>[34]</sup>采用1951—1996年我国气象资料，算出了全年和季节降水变化趋势特征指数。指出：我国长江中下游地区降水量呈显著的增加趋势；黄河流域降水略有减少趋势，辽宁和山东夏季降水量呈减少趋势；内蒙古、新疆、东北和华北北部降水量或者增加，或者变化趋势不明显；降水的季节性也发生了变化，长江中游地区和黄河中上游地区秋、春季降水量显著减少，辽宁西部、河北东部春季降水增加。王颖等<sup>[35]</sup>采用1954—2000年的气象资料，分析了我国年、季、月雨日的时空变化特征。指出：我国年雨日呈减少趋势，雨日的减少趋势比降水量的减少趋势更显著，减少速率为 $3.8\text{d}/10\text{a}$ ，各季的雨日都呈减少趋势，其中雨日减少最多的是秋季，雨日减少最明显的是夏季。雨日变化趋势有显著的空间变化，雨日减少最多的是华北、

东北和西南地区，每10年平均减少7—10天；雨日的变化趋势与降水量的变化趋势并不完全致，雨日的减少趋势比降水的减少趋势范围广且强度大。

近几十年来，我国的很多学者根据中国的实际情况引用国外学者普遍使用的公式对蒸发进行计算工作，这些公式对我国蒸发研究起到非常重要的推动作用。朱岗毫与杨纫章<sup>[36]</sup>应用彭曼方法分析了我国蒸发量的年、季节变化及分布特征；吴绍洪等人<sup>[37]</sup>指出近30年来我国大部分地区蒸散呈减少趋势，以青藏高原、西南、东北南部和华中中部地区呈明显的减少趋势；谢贤群等<sup>[38]</sup>指出我国北方近50年蒸发皿蒸发量呈下降趋势，风速、日照时数下降和湿度增加直接影响了蒸发量的变化。

### 1.3.3 西北地区气候研究现状

于淑秋等<sup>[39]</sup>对我国西北地区近50年降水和温度的变化进行了分析，结果表明：该地区在1986年前后发生了一次明显的气候跃变，要比全国气候跃变晚6~8年；跃变后比跃变前的平均气温上升了0.51℃，年降水量上升了52%。徐影、丁一汇等<sup>[40]</sup>对西北地区未来21世纪冬夏季的气候变化情景进行了分析。结果发现：西北地区的变暖趋势与全球和中国一致，但变暖幅度比全球和中国更高。未来100年季节线性倾向的研究发现，西北地区冬季变暖最大，约5—8℃/100a，其中最大的变暖区为新疆地区。赵庆云等<sup>[41]</sup>指出西北地区年降水量的空间分布异常型为全区一致的少雨或多雨型，是西北区的气候特征，西北地区降水量较明显的转折期发生在70年代后期至80年代初期间。杨晓丹、翟盘茂<sup>[42]</sup>研究了近50年西北区年降水量变化趋势。分析指出：西北西部年降水量呈增多趋势，降水强度呈增强趋势，降水频率呈增加趋势，西北地区降水增多是西部降水量的增多引起的；西北东部降水强度增强，但降水频率呈明显的减少趋势。张存杰等<sup>[43]</sup>分析了在全球变暖背景下，西北地区秋季降水的时空变化特征，研究表明：在四季中季均降水量突变现象最为显著的是秋季，在年代际尺度上西北地区西部和东部的降水量具有相反的变化趋势。

### 1.3.4 新疆地区气候研究现状

杨青，魏文寿<sup>[44]</sup>通过对新疆1961—2000年气候资料的分析，指出近40年新疆气候存在着明显的变暖、变湿的总趋势。气候变暖的幅度北疆大于南疆；变暖的季节主要在冬季。南疆降水偏多幅度大于北疆；降水量偏多主要表现在冬季和夏季，但秋季降水是偏少的。按照变化趋势进行推算，到2070年，北疆地区将比现在增温1.7℃，南疆地区将增加1.9℃，天山山区将增加1.4℃；到

2070 年前后新疆年降水量将分别比现在增加约 49.0%，56.1% 和 21.4%。魏文寿等<sup>[45]</sup>分析表明新疆的气候增暖趋势与中国和全球的变暖基本一致，在年内变化中升温趋势极为显著的是冬季；降水呈增加趋势；沙尘暴自 1995 年后呈波动式增加趋势，是由气温升高、相对湿度减小而造成的。胡汝骥等<sup>[46]</sup>利用新疆比较完整的气象观测记录，分析新疆近 50 年的温度与降水的时空变化，指出新疆气候变化与全球和全国气候变化趋势基本一致，但又具有显明的区域性特点。杨青<sup>[47]</sup>在《近 10 年新疆气候变化特征》一文中着重分析了近 10 年新疆气候的冷暖变化和干湿变化，并与前 20 年进行了比较，对气候突变作了检测试验。苏宏超等<sup>[48]</sup>提出 90 年代与多年平均值相比，北疆地区冬季平均气温偏高 1.6℃，南疆地区偏高 1.2℃，天山山区偏高 0.9℃，而其它季节气温偏高幅度远不如冬季。徐羹慧<sup>[49]</sup>研究表明：1987—1996 年北疆年降水量达 229mm，比前两个 10 年分别增加 16.2% 和 18.0%，南疆年降水量达 95mm，比前两个 10 年增加 23.2% 与 30.1%。袁玉江，何清，魏文寿等<sup>[50]</sup>采用新疆 1959-1998 年的气象资料，分析了天山山区近 40a 来各季节气候变化的基本特征，并与南北疆进行了比较，还揭示出天山山区气候变化的新事实。徐贵青等<sup>[51]</sup>指出新疆年均气温呈稳定的上升趋势；南北疆降水增加明显，东疆则变化不大，并且指出气温降水的变化对新疆生态环境具有一定正面的影响。

### 1.3.5 南疆地区气候变化研究动态

刘明哲，魏文寿等<sup>[52]</sup>利用南疆 1942—2001 年的气象实测资料，研究了南疆近 60 年来的气温、降水、大风和沙尘暴的年代变化特征。结果表明：南疆的气候变暖减弱了冷空气活动，从而使得南疆大风发生日数减少；近几十年来降水量的增加和近地表风速的降低增加了地表土壤湿度，同时也增加了地表植被覆盖度。葛朝霞，曹丽青等<sup>[53]</sup>选择 1951~2006 年逐月降水和温度资料，计算出南疆年平均蒸发量及可利用降水量，详细分析了 50 a 来南疆地区降水、气温、蒸发及可利用降水量变化特征。结果表明：20 世纪 70 年代以后南疆地区的温度、降水和蒸发变化基本呈上升态势，可利用降水量却呈现出偏多和偏少交替的波状变化特征。郑红莲，严军等<sup>[54]</sup>使用南疆地区 7 个气象站 1951 - 2008 年的月平均气温和降水资料，对南疆地区的月平均气温和降水的变化趋势进行了分析研究。研究表明：趋势分析中，南疆地区平均温度年际变化呈上升趋势；平均降水量年际变化呈增加趋势，表明南疆地区气候已呈现出较明显的变暖变湿趋势。马荣<sup>[55]</sup>选取和田地区 1975~2005 年的日平均气温数据资料，分析近 30 年来和田市平均气温的趋势变化以及对农业生产的影响。结果表明：和田市近 30 年的气温总体呈现上升趋势，春夏两季温度上升幅度变化不大，秋冬年平均

气温上升幅度比较显著。刘海涛, 李绣东等<sup>[56]</sup>应用和田地区六个代表气象站 1960 — 2008 年逐月平均气温、降水量和相对湿度资料, 分析了 49a 来和田地区气温、降水、相对湿度三要素年及四季的时空变化, 结果表明: (1)气温、降水、相对湿度呈线性增暖、增多、增大的变化趋势, 尤以冬季气温增暖、相对湿度增大, 夏季降水增多较为明显; (2)49a 来气温、降水、相对湿度均有突变发生, 各要素年、季突变点及突变性有差异。胡江玲、满苏尔·沙比提等<sup>[57]</sup>利用阿图什市气象站 1960~2006 年气温和降水观测资料, 分析了阿图什市近 47 a 来气温和降水的年际和季节变化特征及其对农业生产的影响。分析结果显示: 近 47 a 来阿图什市年均气温总体呈增加趋势, 降水量总体呈增多趋势。赵霞, 张中伟等<sup>[58]</sup>对喀什市 1971~2007 年的气候特征、气候变化趋势、重大气象灾害进行统计分析。结果表明: 从 20 世纪 70 年代到 21 世纪, 气温呈上升趋势, 降水量呈增多势态, 沙尘日数呈减少状态, 特别是 21 世纪, 气温升高明显, 降水量增多显著, 沙尘日数大为减少。

### 1.4 研究内容

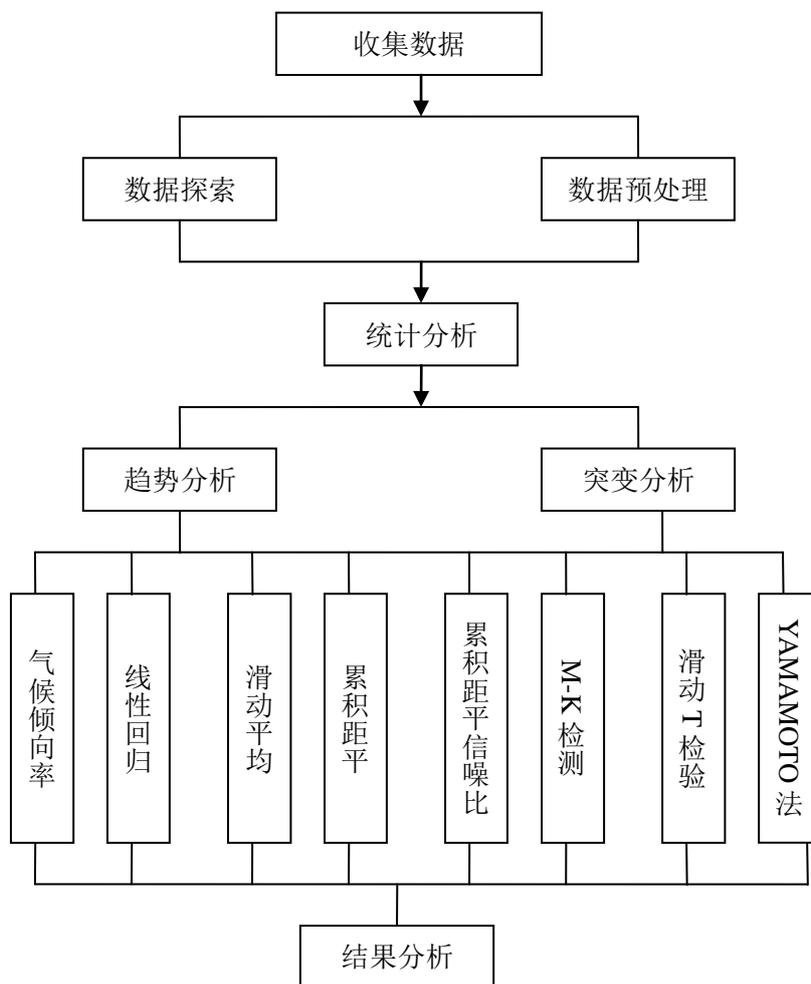
- (1) 主要对阿克陶县平均气温的年际、年代、季节变化特征进行了统计并对气温进行突变检测分析。
- (2) 分析了阿克陶县降水量年际、年代、季节变化特征进行分析, 并对降水进行突变检测分析。
- (3) 分析了阿克陶县蒸发量、日照时数, 年际、年代、季节变化特征进行分析, 并对蒸发量、日照时数进行突变检测分析。
- (4) 对阿克陶县其它气候要素如风速、沙尘暴、相对湿度、无霜期、积温等的变化特征进行了简单分析。
- (5) 对阿克陶县与喀什市、阿图什市、莎车县的气温, 降水变化进行比较分析。

### 1.5 本文研究解决的问题

目前, 对新疆及南疆地区近代气候变化规律作了不少研究, 并取得了许多重要成果, 但是针对小区域气候变化的研究还不够全面和深入。气候变化具有地域特点, 不同地区气候变化趋势是不一样的。位于新疆西南部的阿克陶县具有非常重要的地理位置, 但目前还没有人对阿克陶县气候变化进行详细、系统地分析研究, 这方面的文章几乎是空白。因此, 本文选择阿克陶县的气候变化特征作为研究对象, 采用阿克陶县的气象站的历史气象资料, 力求对该县气温、降水量、日照、蒸发量等气象要素的长期变化进行较为系统的分析, 一方面对

降水的趋势变化进行详细地讨论，另一方面对阿克陶县气温的变化特征进行分析，可以详细地了解在全球气候变化背景下的区域响应特征。同时初步研究在全球、全国气候变暖的大气候背景下，阿克陶县的初终霜、无霜期、积温是如何变化的？阿克陶县农业生产主要是在自然环境中进行，粮食生产很大程度上依赖于气候条件的变化，所以气候变化将首先对农业产生影响。气候变化对粮食生产有怎样的影响？这也是迫切需要研究的问题。气候对农业生产的影响十分显著，要更好地发展农业，必须充分利用气候资源，所以全面了解当地气候，分析阿克陶县在全球气候变化背景下的气候变化特征，了解其变化趋势，对于当地的社会和经济发展以及环境生态保护等方面都具有十分重要的意义。

1.6 本文研究思路和技术路线如图



## 2 研究区概况、研究资料和研究方法

### 2.1 研究区自然环境及社会经济概况

#### 2.1.1 自然环境概况

阿克陶县位于我国的西北边陲帕米尔高原东部，塔里木盆地西部边缘，距新疆维吾尔自治区首府乌鲁木齐市直线距离为 1058 km，东西长为 282 km，南北宽为 216 km，总面积为 24176 km<sup>2</sup>。地理位置北纬 37°41'28"- 39°29'55"，东经 73°36'05"- 76°41'30"，绝对海拔 1180 - 7719m，西南高东北低，截然分为平原农区与山间牧区两部分。农区位于帕米尔高原东北破，塔里木盆地西北边缘、盖孜、库山两河冲积而成，属喀什冲积平原的一部分，自西南向东北倾斜，海拔 1180—1500m，占全县总面积的 3.16%。牧区是天山与昆仑山交接部分（帕米尔高原）西南高，东北低，海拔 1500—7719m，一般 2800—4800m。县境内的公格尔主峰绝对海拔 7719m，慕士塔格山主峰绝对海拔 7356m，山势雄伟，沟壑交错，山峰陡峭，冰川林立，并有大面积的常年积雪覆盖，常年湖泊镶嵌其中，占全县总面积的 96.39%。

阿克陶县北部与乌恰县和疏附县为邻，东北部以岳普湖河为界与疏附县相望，东部与英吉沙县，沙车县相连，南部与塔什库尔干县相接。西部，西南部分别与吉尔吉斯坦和塔吉克斯坦接壤。本县现辖 11 乡、2 镇、19 个村委会、556 个村民小组。农区乡镇场有 7 个：玉麦乡、阿克陶镇、皮拉克乡、巴仁乡、加马铁热克乡，喀热开其克乡、托塔依农场；牧区乡镇场有 8 个：奥依塔克镇、克孜勒陶乡、布伦口乡、恰尔隆乡、库斯拉甫乡、木吉乡、塔尔塔吉克民族乡，阿克塔拉牧场。

#### 2.1.2 气候概况

阿克陶县地处中纬度，紧靠欧亚大陆中心，由于南、西、北分别有昆仑山，帕米尔高原，以及天山的屏障作用和东临塔克拉玛干大沙漠，远离海洋的特殊地形，使温暖空气不易流入，大气中的水汽来源少，属温暖大陆性干旱气候。1600m 以下的平原农区热量丰富，昼夜温差大，无霜期较长，光能资源丰富，蒸发量大，空气干燥，降水量少且年内分配不均匀，多浮尘和沙暴天气。1700-4000m 的中心区属寒温带，热量不足，降水较多，年降水量在 160 mm 左右，夏季凉爽，冬季较严寒。4000m 以上属高寒山区，终年被积雪覆盖。农区平原

地带的四季分明，春季气温回升快，但不稳定，多风和浮尘，夏长而干热，多阵性风雨，秋凉降温迅速，冬季少雪较寒冷。平原区多年平均气温 11.01℃, 年均降水量为 75.5 mm, 蒸发量 1971.2 mm, 无霜期平均 198d, 年均日照时数 2719h, 太阳辐射年总量 140.3 千卡/cm<sup>2</sup>, ≥10℃的积温为 3994℃。

### 2.1.3 水文概况

阿克陶县冰川多分布在 5500m 以上，有近 40 余条，面积 600 km<sup>2</sup> 以上，积雪面积 790 km<sup>2</sup>，是盖孜河，库山河，依格孜牙河，叶尔羌河，玛尔坎苏河等水系的发源地。全县河川地表水总径流量 26.236 亿立方米，其中山区河川径流量 26.676 亿立方米，泉水 1.56 亿立方米。库山河，盖孜河流域均有良好的地下水储存条件和补给水源。地下水储量，库山河流域 1.61 亿立方米，盖孜河流域 1.2 亿立方米，全县合计 3.61 亿立方米左右。地下水的质量较好，矿化度 0.5-0.8 克/升。全县水资源总量约为 31.8 亿立方米。

### 2.1.4 社会经济概况

阿克陶县有柯尔克孜族、维吾尔族、塔吉克族、汉族、回族，等 13 个民族。据 2009 年底统计共有 18.10 万人，少数民族 174371 人，占总人口的 96.3%。人口出生率 15.3%（少数民族 15.56%）死亡率 4.98%（少数民族 5.15%）自然增长率 10.32%（少数民族 10.41%）。农业人口 15.27 万人，非农业人口 2.83 万人。城镇人口 3.58 万人（非农业人口 1.69 万人），乡村人口 14.52 万人（牧业人口 34421 人）。

2009 年全县完成生产总值 69880 万元，其中第一产业增加值 22128 万元，增长率为 1.6%，第二产业增长值 18342 万元，增长率为 20.4%，第三产业增长值 29410 万元，增长 9.4%。

## 2.2 有关数据与资料来源

文中所用气象数据为阿克陶县气象观测站的历史气象资料，其中包括 1960~2009 年逐月气温、降水、日照时数、相对湿度、大风日数、沙尘暴日数等气象资料，1964-2009 年逐月蒸发量资料，1963-2009 年积温、无霜期、初终霜期资料，1961-2009 最多风向、风速资料。

气温资料方面：在年代划分上，采用每 10 年作为一个年代，1960-1969 年为 60 年代，1970-1979 年为 70 年代、1980-1989 年为 80 年代、1990-1999 年为 90 年代，2000-2009 年作为 21 世纪初；在季节的划分上，用 3-5 月的平均气温

代表春季气温，6-8 月则代表夏季，9-11 月代表秋季，12 月至翌年的 2 月当年的冬季。

降水资料方面：在年代的划分方面与气温资料的处理方法相同，用当年 1-12 月份的降水量之和作为全年的降水量；在季节的划分方面把 3-5 月的降水量之和看作是当年春季的降水量，6-8 月之和代表夏季的降水量，9-11 月降水量之和为秋季的降水量，12 月到翌年的 2 月份降水量之和看作是当年冬季的降水量。

蒸发量资料方面：年代划分方面 1964-1969 年为 60 年代，其它年代的处理方法和季节的划分方法与降水量的处理方法相同。

日照时数资料方面：在年代的划分和季节的划分方面与降水资料的处理方法相同。积温、无霜期、风速、相对湿度、沙尘暴日数等其他气象资料在年代的划分方面与气温资料的处理方法相同。计算气温、降水等距平所涉及的平均值是以 1960-2009 年 50 年间气象要素的平均值作为标准的。其它要素的平均值也是多年间气象要素的平均值作为标准的。

## 2.3 研究方法

### (1) 气候资料序列的线性趋势<sup>[59]</sup>

利用气象要素的时间序列，以时间为自变量，要素为因变量，建立一元回归方程。设  $y$  为某气象变量， $t$  为时间（本文为年或月），建立  $y$  与  $t$  之间的一元线性回归方程：其趋势变化率为：

$$y(t)=a+bt$$

把  $b \times 10$  称为变化倾向率，单位为  $^{\circ}\text{C}/10\text{a}$  或  $\text{mm}/10\text{a}$ 。趋势方程中  $b$  的计算式为：

$$\frac{dy(t)}{dt} = b \quad (1)$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^t (t_i - \bar{t})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})} \quad (2)$$

$b$  为某气温序列的趋势变化率，也称变暖率， $b > 0$  表示气温呈上升趋势， $b < 0$  表示气温呈下降趋势， $b$  值绝对值的大小可以衡量其趋势上升、下降的幅度。

## (2) 累计距平

累积距平曲线的变化可以作为气候趋势分析的又一种方法。对于序列  $x$ ，其某一时刻  $t$  的累计距平表示为：

$$y_t = \sum_{i=1}^t (x_i - \bar{x}) \quad (t=1,2, \dots, n) \quad \text{其中} \quad \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^t x_i$$

将  $n$  个时刻的累计距平值全部算出，即刻绘出累计距平曲线进行趋势分析，累计距平曲线呈上升趋势，表示距平值增加，呈下降趋势则表示距平值减小。从曲线明显的上下起伏，可以判断其长期显著的演变趋势及持续性变化，甚至还可以诊断出发生突变的大致时间。

## (3) 滑动平均

滑动平均是趋势拟合技术最基础的方式，它相当于低通滤波器。用确定时间序列的平滑值来显示变化趋势。对样本量为  $n$  的序列  $x$ ，其滑动平均序列表示为：

$$x_j = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k x_{i+j-1} \quad (j=1,2, \dots, n-k+1)$$

式中  $k$  为滑动长度。作为一种规则， $k$  最好取奇数，已使平均值可以加到时间序列中项的时间坐标上。可以证明，经过滑动平均后，序列中短于滑动长度的周期大大削弱，显现出变化趋势。为了消除时间序列固有周期，突出长期趋势。本文采用 5a 滑动平均辅助分析气候变化长期趋势。

## (4) 突变分析

气候突变是指在较短时期内由一种相对稳定的气候状态，过渡到另一种气候状态的变化，它是气候系统非线性性质的一种表现。目前检测突变的方法有多种，这里采用多数人认为理论基础和应用效果好的 Mann-kendall 法，对阿克陶县的气候变化进行突变检验。

从任一时间序列是否有假定样本的分布形态来说，统计检验方法主要分为参数统计检验方法及非参数统计检验方法。Mann - Kendall 法为非参数统计检验方法。具体计算方法如下：

对于具有  $n$  个样本量的时间序列  $x$  构成一秩序列：

$$S_k = \sum_{i=1}^k r_i \quad (k = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

其中

$$r_i = \begin{cases} 1 & x_i > x_j \\ 0 & x_i \leq x_j \end{cases} \quad (j = 1, 2, \dots, i)$$

可见，秩序列  $S_k$  是第  $i$  时刻值大于第  $j$  时刻值个数的累计数。

在时间序列随机独立的假定下，定义统计量：

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

式中： $UF_1 = 0$ ； $E(S_k)$ 、 $Var(S_k)$  分别为累计数  $S_k$  的均值和方差，在  $x_1, x_2, \dots, x_n$  相互独立且有相同连续分布时，可由下式算出：

$$\begin{cases} Var(S_k) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{72} \\ E(S_k) = \frac{n(n-1)}{4} \end{cases} \quad (3)$$

$UF_k$  为标准正态分布，它是按时间序列  $x$  的顺序  $x_1, x_2, \dots, x_n$  计算出的统计量序列，给定显著性水平  $\alpha$ ，查正态分布表，若  $|UF_k| > U\alpha$ ，则表明序列存在明显的趋势变化。

按时间序列  $x$  的逆序  $x_n, x_{n-1}, \dots, x_1$ ，再重复上述过程，同时使  $UB_k$  (序列的逆序值) =  $-UF_k$  ( $k = n, n-1, \dots, 1$ )， $UB_1 = 0$ 。

计算步骤：

- (1) 计算时间序列的秩序列  $S_k$ ，并按 (2) 式计算  $UF_k$ 。
- (2) 计算逆时间序列的秩序列  $S_k$ ，并按 (3) 式计算  $UB_k$ 。
- (3) 给定显著性水平，将  $UF_k$  和  $UB_k$  这两个统计量曲线和显著性水平线绘在一个图上。(常用的显著性水平有  $\alpha=0.05$ ，临界值  $u_{0.05}=\pm 1.96$ ； $\alpha=0.01$ ，临界值  $u_{0.01}=\pm 2.56$ )。

计算结果分析：

分析绘出的  $UF_k$  和  $UB_k$  曲线图，若  $UF_k$  或  $UB_k$  的值大于 0，则表明序列呈上升趋势，小于 0 则表明呈下降趋势。当它们超过临界直线时，表明上升或下降趋势显著。超过临界线的范围确定为出现突变的时间区域。如果  $UF_k$  和  $UB_k$  两条曲线出现交点，且交点在临界线之间，那么交点对应的时刻便是突变开始的时间。

(5) Yamamoto 法：是从气候信息与气候噪声 2 部分来讨论突变问题。人为设置某一时刻为基准点，取前后长度分别为  $n_1$ 、 $n_2$  的两子序列(一般取  $n_1 = n_2$ )，连续设置基准点，滑动计算各区域的信噪比，得到信噪比 SNR 序列。

当  $SNR > 1.0$ ，认为有突变发生，当  $SNR > 2.0$  则认为有强突变发生。

$$SNR = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{s_1 + s_2}$$

(6) 滑动 t 检验：考察两组样本平均值的差异是否显著。对于具有 n 个样本量的时间序列 x，人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  $s_2^2$ 。

其中

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{s \cdot \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \quad s = \sqrt{\frac{n_1 s_1^2 + n_2 s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}$$

统计量遵从自由度为  $n_1 + n_2 - 2$  的 t 分布。

### 3 阿克陶县气温变化特征

#### 3.1 阿克陶县气温年际变化特征

在全球气温逐渐变暖的大背景条件下<sup>[61]</sup>,我国大部分地区年均气温呈上升趋势,但局部地区有较小的气温下降趋势。长江中上游、中下游及西南区均为负倾向率,最大降温在长江中上游区,达到 $-0.141^{\circ}\text{C}/10$ 年。位于我国西北地区的新疆阿克陶县年均气温也有逐年下降的趋势。阿克陶县近50年平均气温为 $11.01^{\circ}\text{C}$ ,气温变化总体呈下降趋势(见图3-1),变化倾向率为 $-0.01^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ,与南疆地区40年(1961—2001) $0.3^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 的平均增温率相反。

由表3-1和图3-1可以看出:近50年来,阿克陶县的平均气温变化较大。60年代和70年代的平均气温比近50年的平均气温均高 $0.34^{\circ}\text{C}$ 、 $0.19^{\circ}\text{C}$ ,其中1963年和1973年的平均气温为 $12.1^{\circ}\text{C}$ ,比平均气温高 $1.09^{\circ}\text{C}$ ,是近50年中最高平均气温。80年代和90年代平均气温有所下降,平均气温比近50年的平均气温低 $0.11^{\circ}\text{C}$ 、 $0.41^{\circ}\text{C}$ ,其中1996年平均气温 $9.85^{\circ}\text{C}$ ,比近50年平均气温低 $2.16^{\circ}\text{C}$ 。比起90年代21世纪以来气温呈上升趋势但比近50年平均气温低 $0.01^{\circ}\text{C}$ 。

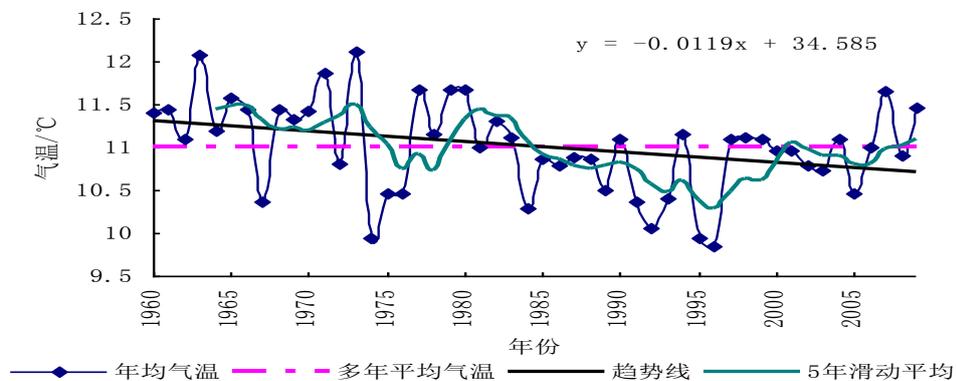


图3-1 阿克陶县气温年际变化曲线

表3-1 阿克陶县年代际平均气温及其与50年均值相比较的距平值(°C)

时段	年均		春季		夏季		秋季		冬季	
	气温	距平								
1960~1969	11.34	0.34	13.94	0.18	24.21	0.76	11.44	0.56	-4.25	-0.2
1970~1979	11.2	0.19	14.04	0.28	24.03	0.58	11.39	0.51	-4.82	-0.77
1980~1989	10.9	-0.11	13.56	-0.2	23.37	-0.08	10.45	-0.42	-3.67	0.38
1990~1999	10.6	-0.41	13	-0.76	22.69	-0.76	10.38	-0.49	-3.59	0.46
2000~2009	11.0	-0.01	14.25	0.49	22.94	-0.51	10.72	-0.15	-3.91	0.14
1960~2009	11.01	—	13.76	—	23.45	—	10.87	—	-4.05	—

### 3.2 阿克陶县气温季节变化特征

阿克陶县各季平均气温变化差异显著，冬季的增温趋势较为明显，夏季和秋季气温呈下降趋势，春季气温也呈下降趋势但不是很明显。由近50年来的季节变化曲线（图3-2）和平均气温距平（表3-1）可得出以下几点：

春季（图 3-2a）平均气温略有降低，但下降幅度不大，线性变化倾向率为 $-0.047^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 。60年代和70年代，春季气温在平均值附近波动，变化不大。80年代和90年代，春季气温波动显著，近50年中的春季最高气温出现在1981年，为 $15.47^{\circ}\text{C}$ ；自80年代中期开始，春季气温急剧下降，1996年出现了50年中的最低气温，为 $11.83^{\circ}\text{C}$ ，导致80年代和90年代春季气温低于50年平均值。21世纪初春季平均气温开始上升，超过近50年春季平均值 $0.49^{\circ}\text{C}$ 。

夏季（图 3-2b）是四季中降温变幅最大的季节，平均气温下降趋势显著，线性变化倾向率为 $-0.385^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 。60年代和70年代夏季平均气温呈上升趋势，平均气温均比近50年夏季平均气温高，其中1973年出现近50年之中的最高气温，为 $25.23^{\circ}\text{C}$ 。从80年代至90年代末，夏季平均气温波动幅度较大，而且在波动中继续下降，其中1993年夏季平均气温为 $21.73^{\circ}\text{C}$ ，是近50年中的最低气温。自21世纪以来相对稳定，波动不大。

秋季（图 3-2c）平均气温明显下降，线性变化倾向率为 $-0.229^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 。60年代和70年代气温在波动中明显升高，秋季平均气温均比近50年平均气温高，其中1963年平均气温为 $12.7^{\circ}\text{C}$ ，是近50年之中最高气温。从80年代至90年代末气温呈下降趋势，其中1981年出现了近50年最低气温，为 $9.36^{\circ}\text{C}$ 。自21世纪以来秋季气温略有升高，但上升幅度不大。

冬季（图 3-2d）平均气温略有升高，但升高幅度不大，线性变化倾向率为 $0.184^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 。60年代冬季平均气温相对稳定，基本保持多年平均水平。70年代气温变化幅度特别大，呈下降趋势。1974年冬季平均气温为 $-8.83^{\circ}\text{C}$ ，是近50年之中最低气温，1979年冬季平均气温为 $-1.9^{\circ}\text{C}$ ，是近50年之中最高气温。自20世纪80年代以来，冬季平均气温在多年平均气温值附近波动升高，21世纪初的平均气温比多年平均值高 $0.14^{\circ}\text{C}$ ，说明冬季变暖现象越来越明显。

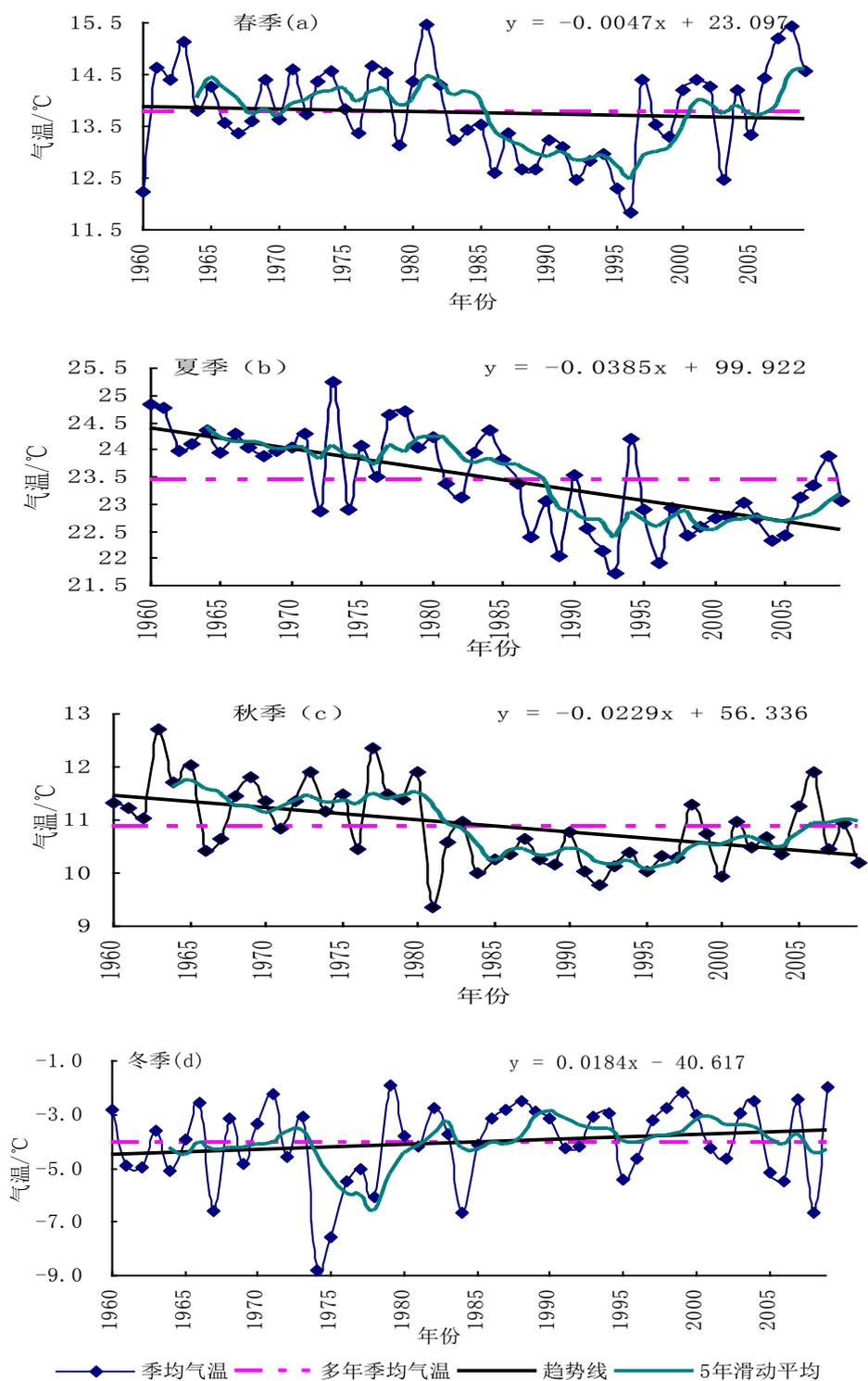


图3-2 阿克陶县气温季节变化曲线

### 3.3 阿克陶县气温突变分析

由图 3-3 中图 a 可以看出，阿克陶县气温累计距平曲线的绝对最大值出现在 1983 年，这次转折是气温从偏高期转为偏低期。为了检验上述转折是否达到

气候突变的标准，计算了 1983 年气温的信噪比(为 4.3)，且  $S/N > 1$ ，可以认为是气候突变年。突变年前后平均值的差值为  $0.5^{\circ}\text{C}$ 。由图 b 可知，80 年代至 21 世纪初，阿克陶县年平均气温呈下降趋势，在  $\pm 1.96$  临界线之间 UF 和 UB 相交于 1978 和 1980 年，且 UF 曲线在 1991 年超过信度线，表明阿克陶县年平均气温在 1978–1980 年发生了突变现象。由图 c 可知，1984 年、1997 年发生突变。由图 d 也可以看出，1984 年、1997 年发生突变。分析四种突变检验结果，1980–1984 年互相吻合的，因此基本可以得出阿克陶县的年平均气温的可靠突变点在 1980–1984 年之间。

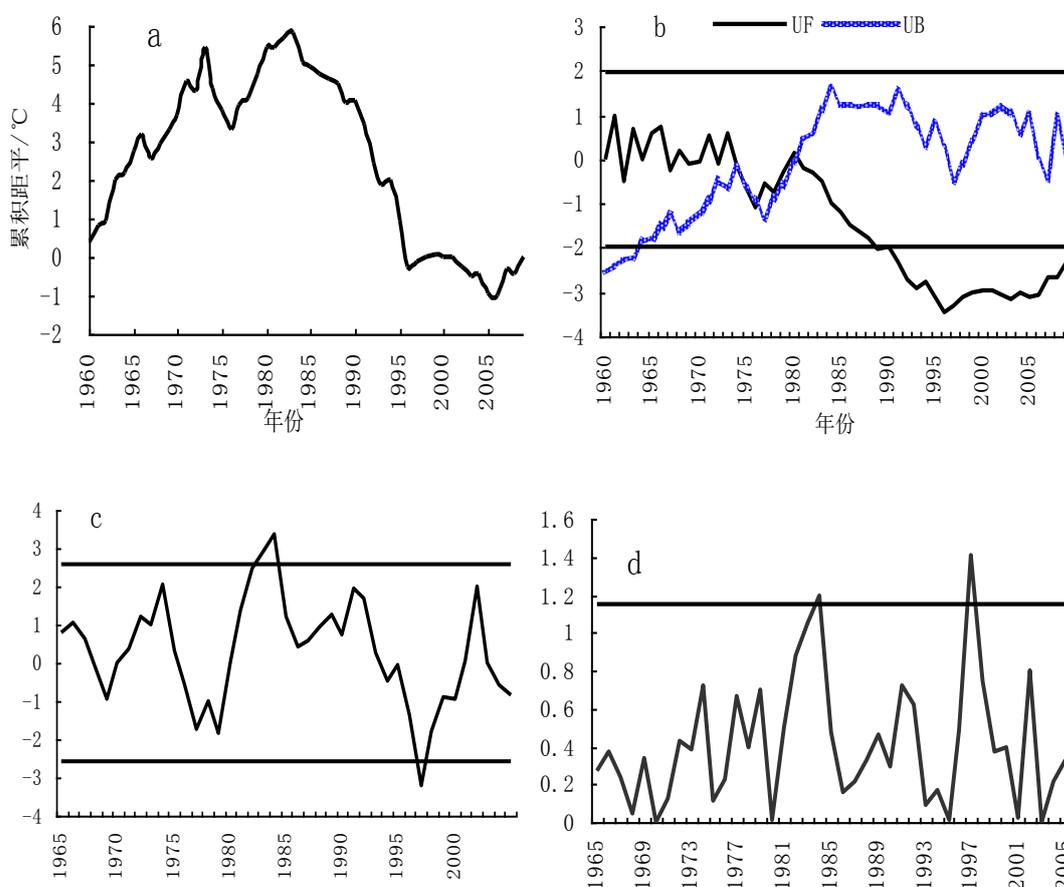


图 3-3 阿克陶县年平均气温突变检验图

注：(a: 累积距平；b: MK 检验结果，直线为  $\alpha=0.05$  显著性水平临界值；c: 滑动 t 检验结果，取  $n_1=n_2=5$ ，d: Yamamoto 检验结果。)

由阿克陶县春季平均气温突变检验图 a (图略) 可以看出，阿克陶县春季气温累计距平曲线的绝对最大值出现在 1982 年。为了检验上述转折是否达到气候突变的标准，计算了 1982 年春季气温的信噪比(为 3.3)，且  $S/N > 1$ ，可以认为是气候突变年。突变年前后平均值的差值为  $0.59^{\circ}\text{C}$ 。图 b 可知，在  $\pm 1.96$

临界线之间 UF 和 UB 虽然相交于多处,但 UF 仅在 1989-2006 年超过了信度线,说明春季平均气温虽出现降低趋势但在 0.05 显著水平下不显著。图 c 可知,1966、1983、1986、1997 年发生突变。由图 d 可以看出,1997 年发生突变。综合上述情况可初步判定 1982-1983 年阿克陶县春季气温发生了突变,但未达到强突变。

夏季平均气温突变检验图表明(图略);由图 a 可知,阿克陶县夏季气温累计距平曲线的绝对最大值出现在 1985 年。1985 年夏季气温的信噪比(为 5.5),且  $S/N > 1$ ,可以认为是气候突变年。由图 b 可知,UF 和 UB 在  $\pm 1.96$  临界线之间相交于一点,交点对应于 1981 年,UF 曲线在 1989 年超过信度线,表明阿克陶县夏季平均气温下降显著,在 1981 年发生了突变现象。图 c 可知,1987 年发生突变。由图 d 可以看出,1987 年发生突变。综合上述情况可初步判定 1981-1987 年阿克陶县夏季气温发生了突变。

秋季平均气温突变检验图表明(图略);由图 a 可知,阿克陶县秋季气温累计距平曲线的绝对最大值出现在 1980 年。1980 年秋季气温的信噪比(为 13.1),且  $S/N > 1$ ,可以认为是气候突变年。由图 b 可知,UF 和 UB 在  $\pm 1.96$  临界线之间相交于两点,交点对应于 1976 年和 1978,UF 曲线在 1988 年超过信度线,表明阿克陶县秋季平均气温下降显著,在 1976、1978 年发生了突变现象。图 c 可知,1981 年发生突变。由图 d 可以看出,1979、1981、1985、1998 年发生突变。综合上述情况可初步判定 1978-1981 年阿克陶县秋季气温发生了突变。

冬季平均气温突变检验图表明(图略);由图 a 可知,阿克陶县冬季气温累计距平曲线的绝对最大值出现在 1978 年。1978 年冬季气温的信噪比(为 1.9),且  $S/N > 1$ ,可以认为是气候突变年。由图 b 可知,在  $\pm 1.96$  临界线之间 UF 和 UB 虽然相交于两处,但是 UF 曲线始终未超过信度线,说明这一系列的变化不存在突变现象。图 c 可知,1974、1979 年发生突变。由图 d 可以看出,1974、1979 年发生突变。综合上述情况可初步判定 1978-1979 年阿克陶县秋季气温发生了突变。

### 3.4 气温变化小结

(1) 近 50 年来阿克陶县的年均气温总体呈下降趋势,年均气温线性变化率为  $-0.01^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ,气温年际变化与我国西北地区气温变化趋势相反。年内气温变化存在季节差异,春、夏和秋三个季节气温均呈下降趋势,冬季的气温降呈上升趋势,其中,夏和秋季对全年平均气温降低贡献较大。

(2) 60 年代和 70 年代的平均气温比近 50 年的平均气温均高  $0.34^{\circ}\text{C}$ 、 $0.19^{\circ}\text{C}$ ,80 年代和 90 年代平均气温有所下降,平均气温比近 50 年的平均气温低  $0.11^{\circ}\text{C}$ 、

0.41℃，比起 90 年代 21 世纪以来气温呈上升趋势但比近 50 年平均气温低 0.01℃。

(3) 年气温在突变点出现在 1980-1984 年之间，春季平均气温突变点出现在 1982-1983 年，夏季 1981-1987 年，秋季 1978-1981 年，冬季 1978-1979 年。其中春季突变年接近年气温突变，其它三季突变年份提前。

## 4 阿克陶县降水量变化特征

### 4.1 阿克陶县降水年际变化特征

在我国西北地区气候变湿的大背景下，阿克陶县的降水量也呈逐年增长的趋势，不过变化倾向率比阿图什市的变化倾向率（9.38mm/10 a）小。1960-2009年，阿克陶县的年降水量总体趋势是在波动中明显增加，与新疆降水的整体变化趋势一致。近50年来年均降水量为75.52 mm，阿克陶县的降水量以8.75mm/10 a的平均速度增加，变湿趋势较为显著。

由表4-1和图4-1可以看出：从60年代至70年代末期，年降水量变化不大，波动中略有增多，平均降水量60年代的58.68 mm增加到70年代的60.73 mm。80年代年降水量呈增多趋势，平均降水量比50年的平均值高4.32 mm。90年代以来年降水量的波动幅度较大，且波动增长趋势显著，其中1994年出现了50年中的最小降水量，为26.8 mm 1996年出现了50年中的最大降水量，为222.5 mm。降水量比90年代的87.09 mm增加到21世纪初的91.29 mm，比多年平均值高15.76 mm。

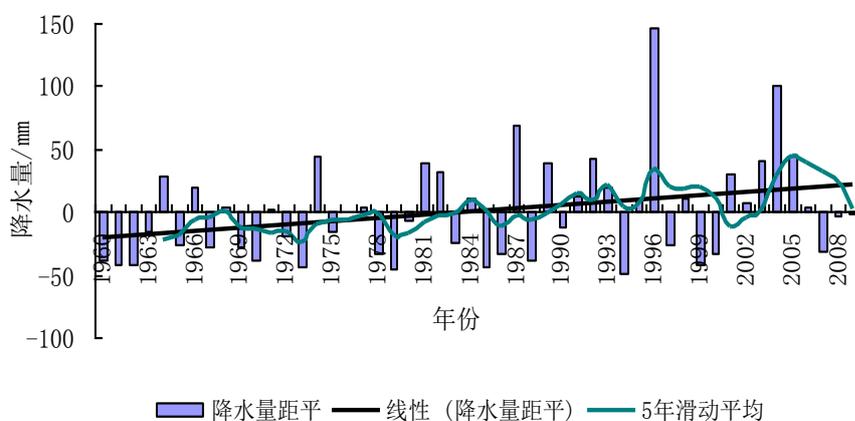


图 4-1 阿克陶县年降水距平值变化

表 4-1 阿克陶县年代平均降水及其与 50 年均值相比较的距平值 (mm)

时段	年均		春季		夏季		秋季		冬季	
	降水	距平	降水	距平	降水	距平	降水	距平	降水	距平
1960~1969	58.68	-16.85	31.12	5.63	12.87	-12.27	8.11	-5.81	6.58	-4.4
1970~1979	60.73	-14.79	15.67	-9.82	17.07	-8.07	12.76	-1.16	15.23	4.25
1980~1989	79.85	4.32	22.64	-2.85	33.27	8.13	17.03	3.11	6.91	-4.07
1990~1999	87.09	11.56	33.73	8.24	34.15	9.01	8.35	-5.57	10.86	-0.12
2000~2009	91.29	15.76	24.3	-1.19	28.33	3.19	23.35	9.43	15.31	4.33
1960~2009	75.53	—	25.49	—	25.14	—	13.92	—	10.98	—

## 4.2 阿克陶县降水季节变化

从各个季节降水量变化趋势来看，夏季和秋季的增长趋势较为明显，线性倾向率分别为  $4.64\text{mm}/10\text{a}$  和  $2.68\text{mm}/10\text{a}$ ；春季和冬季的增长趋势较弱，线性倾向率分别为  $0.25\text{mm}/10\text{a}$  和  $1.18\text{mm}/10\text{a}$ 。从近 50 年来的降水量季节变化曲线和年代平均降水量及其距平（表 4-1）可得出以下几点：

阿克陶县春季（图 4-2）降水量略有增加，而且增长率在全年各季节中最小。60 年代秋季降水波动较大，且在波动中明显增加。从 70 年代至 80 年代末降水量明显减少，70 年代的降水量比多年平均值低  $9.82\text{mm}$ ，出现春季干旱期。90 年代春季降水大幅度波动，1997 年春季出现了 50 年春季的最低降水量，为  $0\text{mm}$ ，2004 年出现了 50 年春季最高降水量，为  $80.7\text{mm}$ 。21 世纪以来春季降水呈减少趋势，平均降水量比 50 年的平均值低  $1.19\text{mm}$ 。

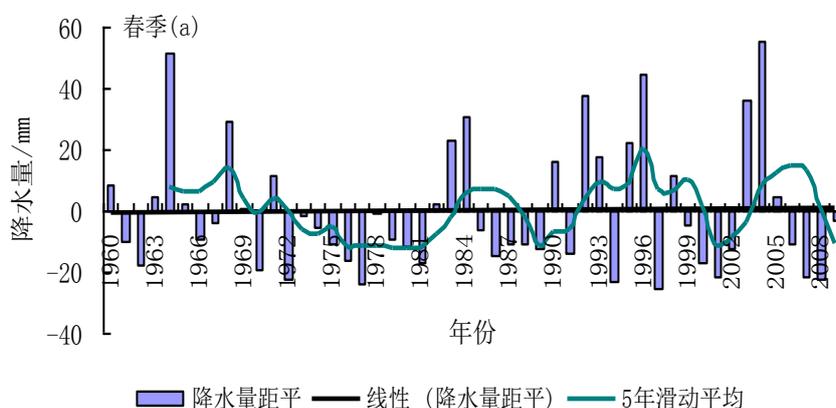


图 4-2 阿克陶县春季降水距平值变化

夏季（图 4-3）是四季中增湿变幅最大的季节。从 60 年代至 80 年代中期夏季降水波动不大，并且波动中略呈增多，但平均降水量比多年平均值低，其中 1983 年出现近 50 年夏季最低降水量，为  $0.2\text{mm}$ 。从 1985 年至 2005 年降水量变化幅度较大，并且呈增多趋势，其中 1996 年出现了近 50 年夏季最高降水量，为  $119.1\text{mm}$ 。从 2005 年起降水量呈减少趋势，平均降水量比多年平均值低。

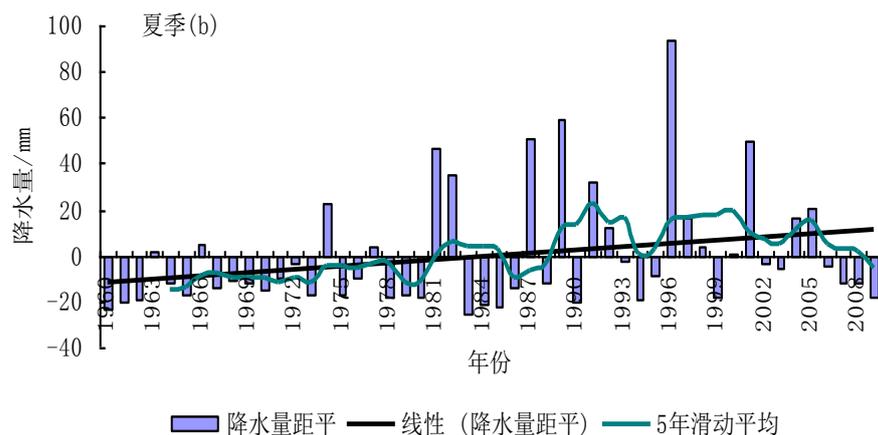


图 4-3 阿克陶县夏季降水距平值变化

秋季（图 4-4）降水呈明显增多趋势。60 年代至 80 年代末降水波动较大，呈增加趋势。90 年代降水量呈波动减少，其中 1990 年出现近 50 年最低降水量，为 0 mm。21 世纪以来，秋季降水在波动中明显增加，均降水量比 50 年平均值高 9.43 mm，是 50 年来最高的时段，为相对丰水期。

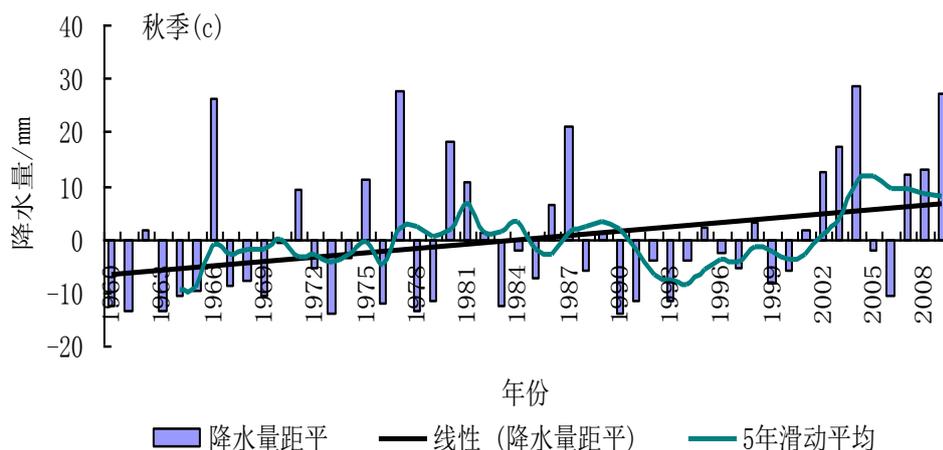


图 4-4 阿克陶县秋季降水距平值变化

冬季（图 4-5）降水呈增长趋势。60 年代冬季降水相对稳定，并且波动中略有增多。70 年代降水波动幅度大，出现 50 年中最高值和最低值，而且波动中明显增加。80 年代和 90 年代降水量呈减少趋势，平均降水量比 50 年平均值低。21 世纪以来降水量开始增多，平均降水量比 50 年平均值高 4.33 mm。

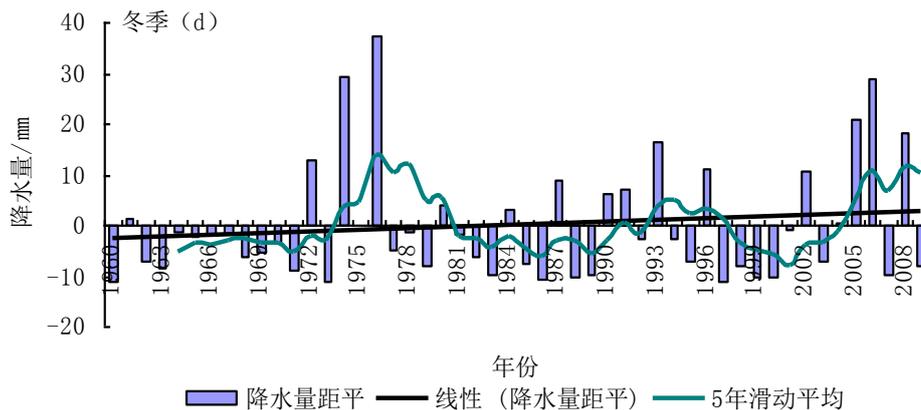


图 4-5 阿克陶县冬季降水距平值变化

### 4.3 阿克陶县降水突变分析

由图 4-6 中图 a 可以看出，阿克陶县年降水量累计距平曲线的绝对最大值出现在 1986 年，1986 年降水量的信噪比(为 1.3)，且  $S/N > 1$ ，可以认为是气候突变年。由图 b 可知，80 年代至 21 世纪初，阿克陶县年降水量呈增多趋势，在  $\pm 1.96$  临界线之间 UF 和 UB 相交于 1966、1974、1976、1980 年，最后一个交点 1980 年，且 UF 曲线在 2003 年超过信度线，表明阿克陶县年降水量在 1980 年发生了突变现象。由图 c 和图 d 可知，没有检测到突变点。分析四种突变检验结果，1980-1986 年互相吻合的，因此基本可以得出阿克陶县的年降水量的可靠突变点在 1980-1986 年之间。

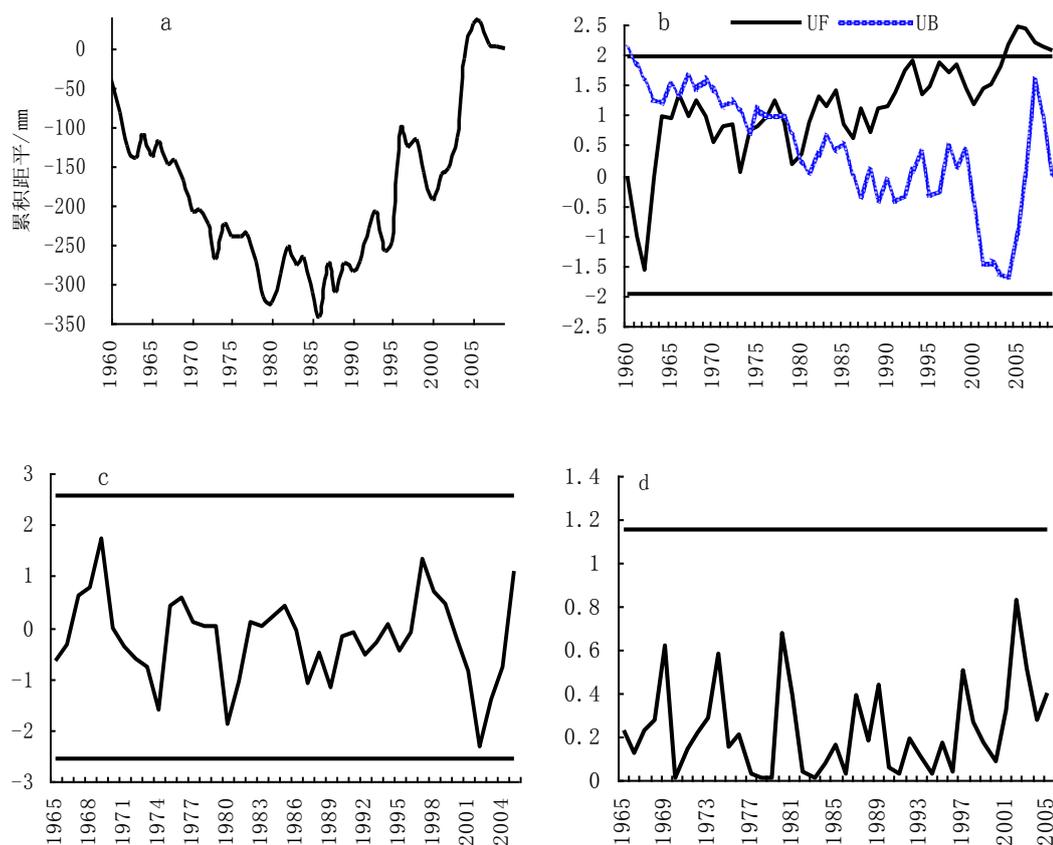


图 4-6 阿克陶县年降水量变检验图

注：(a: 累积距平；b: MK 检验结果，直线为  $\alpha=0.05$  显著性水平临界值；c: 滑动 t 检验结果，取  $n_1=n_2=5$ ，d: Yamamoto 检验结果。)

由阿克陶县春季降水量突变检验图 a (图略) 可以看出，阿克陶县春季降水量累计距平曲线的绝对最大值出现在 1989 年，1989 年降水量转折的信噪比(为 0.7)，且  $S/N < 1$ ，所以降水量突变不明显。图 b 可知，在  $\pm 1.96$  临界线之间 UF 和 UB 虽然相交于多处，但 UF 没有超过了信度线，说明春季降水量的变化不存在突变现象。由图 c 和图 d 可知，没有检测到突变点。分析四种突变检验结果春季降水量没有发生突变现象。

夏季降水量突变检验图表明 (图略)；由图 a 可知，阿克陶县夏季降水量累计距平曲线的绝对最大值出现在 1980 年。1980 年夏季降水量的信噪比(为 0.7)，且  $S/N < 1$ ，所以降水量突变不明显。由图 b 可知，UF 和 UB 在  $\pm 1.96$  临界线之间相交于一点，交点对应于 1962 年，UF 曲线在 2000 年超过信度线，表明阿克陶县夏季降水量在 1981 年发生了突变现象。由图 c 和图 d 可知，没有检测到突变点。分析四种突变检验结果夏季降水量可能在 1962 年发生突变。

秋季降水量突变检验图表明 (图略)；由图 a 可知，阿克陶县秋季降水量累计距平曲线的绝对最大值出现在 2000 年，2000 年降水量的信噪比(为 7.6)，且

$S/N > 1$ ，可以认为是气候突变年。由图 b 可知，在  $\pm 1.96$  临界线之间 UF 和 UB 相交于多处，最后一个交点 2000 年，且 UF 曲线在 2003 年超过信度线，表明阿克陶县年降水量在 2000 年发生了突变现象。图 c 可知，2001 年发生突变。由图 d 可以看出，2000 年发生突变。综合上述情况可初步判定 2000-2001 年阿克陶县秋季降水量发生了突变。

由阿克陶县冬季降水量突变检验图 a（图略）可以看出，阿克陶县冬季降水量累计距平曲线的绝对最大值出现在 1971 年，1971 年降水量转折的信噪比（为 0.63），且  $S/N < 1$ ，所以降水量突变不明显。图 b 可知，在  $\pm 1.96$  临界线之间 UF 和 UB 虽然相交于多处，但 UF 没有超过了信度线，说明冬季降水量的变化不存在突变现象。由图 c 可知，2002 年发生突变。图 d 可知，没有检测到突变点。分析四种突变检验结果冬季降水量可能在 2002 年发生突变现象。

#### 4.4 降水变化小结

（1）近 50 年来阿克陶县年降水量总体呈增多趋势，年均降水量线性变化率为  $8.75\text{mm}/10\text{a}$ ，变湿趋势较为显著，结果与我国西北地区气候变湿的趋势一致。年内降水量变化有明显的季节差异，春、夏、秋、冬四个季节的降水均呈增多趋势，不过变化幅度不一样，其中夏、秋两季对全年降水量增多贡献较大，春季降水变化不大。

（2）从 60 年代至 70 年代末期，年降水量变化不大，波动中略有增多。80 年代年降水量呈增多趋势，平均降水量比 50 年的平均值高  $4.32\text{mm}$ 。90 年代以来年降水量的波动幅度较大，且波动增长趋势显著。21 世纪以来降水量比 90 年代的  $87.09\text{mm}$  增加到 21 世纪的  $91.29\text{mm}$ ，比多年平均值高  $15.76\text{mm}$ 。

（3）阿克陶县的年降水量的可靠突变点在 1980-1986 年之间，春季降水量没有检测到突变点，夏季突变发生在 1981 年，秋季和冬季突变年份滞后出现在 2000-2002 年。

## 5 阿克陶县蒸发量变化特征

### 5.1 阿克陶县蒸发量年变化特征分析

从阿克陶县蒸发量年际变化曲线（图 5-1）中可以看出：阿克陶县多年平均蒸发量为 1971.2 mm，近 46 年以来蒸发量总体呈明显的下降趋势，变化倾向率为-263.17 mm/10a，结果与南疆地区 70 年代以后蒸发量上升的趋势相反。近 46 年来蒸发量最少值出现在 1996 年，为 1414.9 mm，比平均值少 556.3 mm，最多值出现在 1966 年，为 2913.8 mm，比平均值多 942.6 mm，最多最少年蒸发差值达 1498.9 mm。

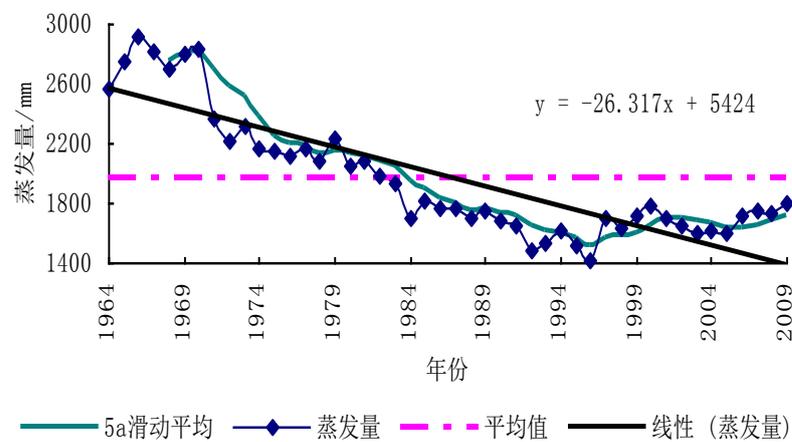


图 5-1 阿克陶县蒸发量年际变化曲线

### 5.2 阿克陶县蒸发量年代变化特征分析

从蒸发量的统计结果（表5-1）可以看出：阿克陶县年代际之间的蒸发量也存在差异，从60年代至90年代年蒸发量一直在减少，从60年代的年平均2758.1 mm一直减少到90年代的1595.83 mm，减少了1162.27 mm，其中70年代减少幅度最大，90年代减少幅度最小。不过近几十年来蒸发量略有增加的趋势，蒸发量由1995年的1414.8 mm增加到2009年的1805.4mm，增加了390.6 mm。

表5-1 阿克陶县各年代平均蒸发量及其与46年平均值相比较的距平值 (mm)

时段	年均		春季		夏季		秋季		冬季	
	蒸发量	距平	蒸发量	距平	蒸发量	距平	蒸发量	距平	蒸发量	距平
1960-1969	2758	786	849	209	1290	411	504	142	114	23
1970-1979	2266	295	754	114	994	115	410	50	106	15
1980-1989	1855	-116	602	-36	833	-44	329	-31	88	-3
1990-1999	1595	-375	512	-127	702	-176	300	-60	80	-11
2000-2009	1695	-275	564	-75	736	-142	317	-43	78	9
1960-2009	1971	—	639	—	878	—	361	—	91	—

### 5.3 蒸发量季节变化特征分析

阿克陶县1964-2009年年平均蒸发量为1971.21mm。其中,夏季为878.41mm,约占全年的44.6%,春季为639.83mm,约占全年的32.4%,秋季为361.13mm,约占全年的18.3%,冬季为91.83mm,约占全年的4.6%。分析发现夏季、春季蒸发量较大,秋季次之,冬季最少。从阿克陶县四季的蒸发量变化曲线图(图5-2)可以看出:近50年来阿克陶县四季蒸发量均呈减少趋势。春、夏、秋、冬四季平均蒸发量的变化倾向率分别为-79.1 mm/10a、-130.2 mm/10a、-43.9 mm/10a、-9.97 mm/10a。其中夏季平均蒸发量减少最多,春季次之,冬季平均蒸发量减少最少。由此可见,年蒸发量的增加主要是由夏季和春季蒸发量的减少造成的。

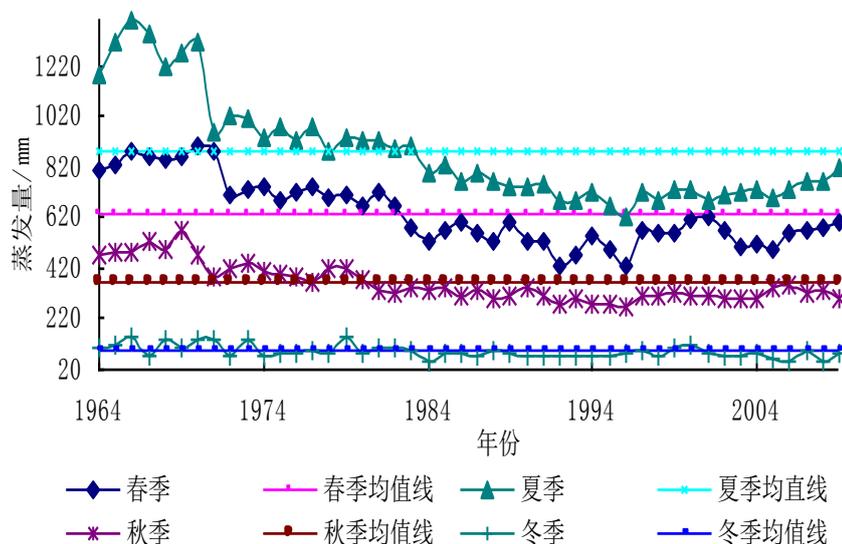


图 5-2 阿克陶县各季节的蒸发量变化曲线

从各季年代际的变化特征来看(表 5-1),近 46 年中阿克陶县各季节蒸发量都有不同程度的减少,其中夏季减少的幅度最大,蒸发量从 60 年代的 1290.3 mm

减少到 21 世纪初的 736.02 mm，占减少总量的 52.2%；春、秋、冬季减少量分别占减少总量的 26.8%、13.5%、3.4%。各个季节总的变化趋势都呈下降趋势，但不同的季节在不同的年代的变化趋势有差异。夏季、春季、秋季的变化趋势跟蒸发量总的变化趋势一致，从 60 年代至 90 年代一直下降趋势，21 世纪初略有增加趋势。冬季蒸发量从 60 年代以来一直处于减少的趋势。

#### 5.4 阿克陶县蒸发量突变分析

由图 5-3 中图 a 可以看出，阿克陶县年蒸发量累计距平曲线的绝对最大值出现在 1982 年，这次转折是蒸发量从偏高期转为偏低期。1982 年蒸发量的信噪比(为 3.6)，且  $S/N > 1$ ，可以认为是气候突变年。突变年前后平均值的差值为 729 mm。由图 b 可知，在  $\pm 1.96$  临界线之间 UF 和 UB 没有交点，表明阿克陶县年蒸发量没有发生突变现象。由图 c 可知，1971 年、1997 年发生突变。由图 d 也可以看出，1971 年、1997 年发生突变。分析四种突变检验结果，1971 年或 1982 年可能是阿克陶县年蒸发量的突变点。

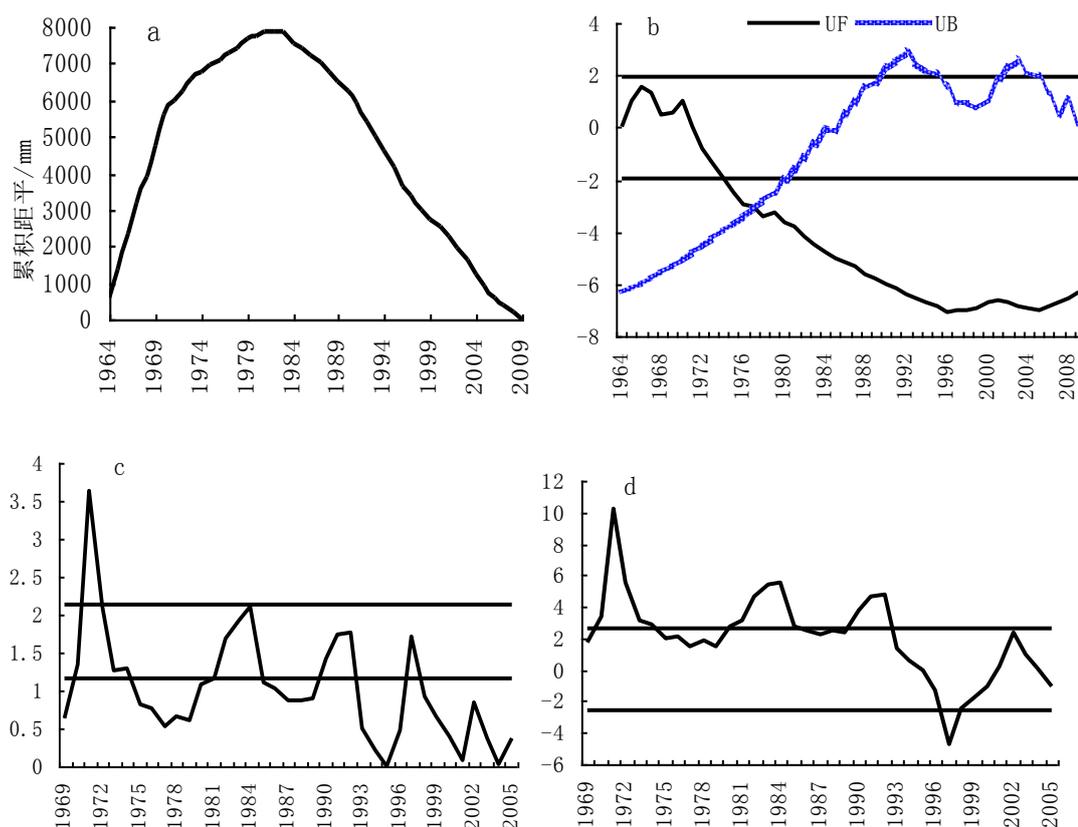


图 5-3 阿克陶县年蒸发量变检验图

注：(a: 累积距平；b: MK 检验结果，直线为  $\alpha=0.05$  显著性水平临界值；c: 滑动 t 检验结果，取  $n_1=n_2=5$ ，d: Yamamoto 检验结果。)

由阿克陶县春季蒸发量突变检验图 a (图略) 可以看出, 阿克陶县春季蒸发量累计距平曲线的绝对最大值出现在 1982 年, 1982 年蒸发量转折的信噪比(为 8.2), 且  $S/N > 1$ , 可以认为是气候突变年。由图 b 可知, UF 和 UB 在  $\pm 1.96$  临界线之间相交于一点, 交点对应于 1978 年, UF 曲线在 1979 年超过信度线, 表明阿克陶县春季蒸发量在 1978 年发生了突变现象。由图 c 可知, 1972 年、1997 年发生突变。由图 d 也可以看出, 1972 年、1997 年发生突变。分析四种突变检验结果, 1972、1978、1982 年可能是阿克陶县春季蒸发量的突变点。

夏季蒸发量突变检验图表明 (图略); 由图 a 可知, 阿克陶县夏季蒸发量累计距平曲线的绝对最大值出现在 1983 年。1983 年夏季蒸发量的信噪比(为 2.6), 且  $S/N > 1$ , 可以认为是气候突变年。由图 b 可知, UF 和 UB 在  $\pm 1.96$  临界线之间没有交点, 表明阿克陶县夏季蒸发量没有发生突变现象。由图 c 可知, 1971 年、1984 年发生突变。由图 d 也可以看出, 1971 年、1984 年发生突变。分析四种突变检验结果夏季蒸发量可能在 1978-1984 年发生突变。

秋季蒸发量突变检验图表明 (图略); 由图 a 可知, 阿克陶县秋季蒸发量累计距平曲线的绝对最大值出现在 1980 年。1980 年秋季蒸发量的信噪比(为 3.9), 且  $S/N > 1$ , 可以认为是气候突变年。由图 b 可知, UF 和 UB 在  $\pm 1.96$  临界线之间没有交点, 表明阿克陶县秋季蒸发量没有发生突变现象。由图 c 可知, 1972、1982、1998 年发生突变。由图 d 也可以看出, 1971、1981、1997 年发生突变。分析四种突变检验结果秋季蒸发量可能在 1980-1982 年发生突变。

由阿克陶县冬季蒸发量突变检验图 a (图略) 可以看出, 阿克陶县冬季蒸发量累计距平曲线的绝对最大值出现在 1983 年, 1983 年蒸发量转折的信噪比(为 2.3), 且  $S/N > 1$ , 可以认为是气候突变年。由图 b 可知, UF 和 UB 在  $\pm 1.96$  临界线之间相交于两点, 交点对应于 1984、1985 年, UF 曲线在 1991 年超过信度线, 表明阿克陶县冬季蒸发量在 1984、1985 年发生了突变现象。由图 c 可知, 1990 年、2002 年发生突变。由图 d 也可以看出, 1974 年、1996 年发生突变。分析四种突变检验结果, 1983-1985 年可能是阿克陶县冬季蒸发量的突变点。

## 5.6 蒸发量变化小结

(1) 阿克陶县近 46 年来平均蒸发量呈显著下降趋势, 其变化倾向率为  $-263.17 \text{ mm}/10\text{a}$ , 四季蒸发量的变化趋势跟多年平均蒸发量的变化趋势一致, 其中夏季平均蒸发量减少最多, 春、秋季之次, 冬季平均蒸发量减少最少, 对年蒸发量的变化贡献最大的是夏季蒸发量的变化。

(2) 阿克陶县年代际之间的蒸发量也存在差异, 从 60 年代至 90 年代年蒸发量一直在减少, 其中 70 年代减少幅度最大, 90 年代减少幅度最小。不过近几十年来

蒸发量略有增加的趋势。

(3) 阿克陶县年蒸发量在 1971 年和 1982 年发生突变，与春季突变年份一致，表明春季蒸发量对年蒸发量下降的影响较大。夏、冬季突变年份滞后。

## 6 阿克陶县日照时数变化特征

### 6.1 日照时数年变化特征分析

从阿克陶县年日照时数变化曲线图（图 6-1）可知：阿克陶县日照时数多年平均值为 2719.2h，1960-2009 年的 50 年间，阿克陶县的日照时数呈逐渐减少趋势，其变化倾向率为-102.24 h/ 10a，减少趋势非常明显，这与 1961—2000 年新疆的减少趋势是一致的。将逐年数据与多年平均值对比发现，阿克陶县年日照时数大致可以分为 2 个阶段，80 年代以前为大于多年平均值时期，80 年代以后为小于多年平均值时期。从日照时数的年际变化幅度看，日照时数最多年份为 1963 年，为 3162.3h，最少年份为 2009 年，为 2323.6h，两者相差为 838.7h，由此可见，日照时数的年际变化比较大。

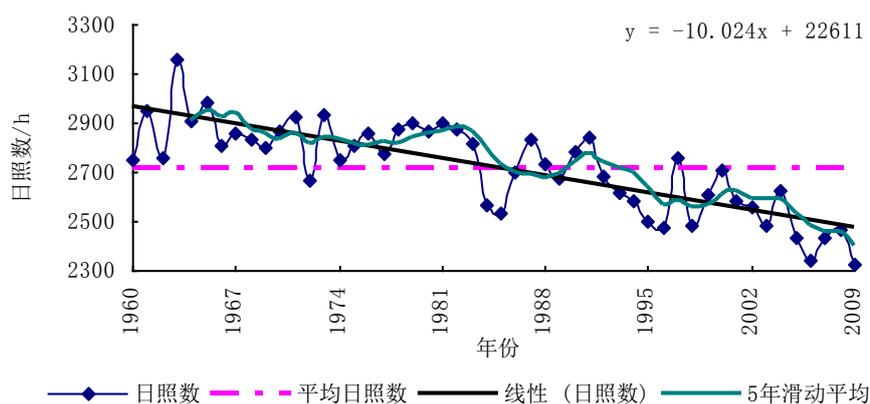


图6-1 阿克陶县年日照时数变化曲线图

### 6.2 日照时数年代变化特征分析

阿克陶县多年日照时数的统计结果表明：从 1960-2009 年的 50 年中，阿克陶县年代际之间的日照时数也是一直减少的，年日照时数从 60 年代的 2880.5h 一直减少到 21 世纪初的 2495.2h，减少了 385h，减少比较明显。各年代之间减少的幅度存在差异，21 世纪初减少幅度最大，60 年代减少幅度最少。

表6-1 阿克陶县年代平均日照时数及其与50年均值相比较的距平值 (h)

时段	年均		春季		夏季		秋季		冬季	
	日照数	距平	日照数	距平	日照数	距平	日照数	距平	日照数	距平
1960-1969	2880.5	161.4	686.2	26.9	949.2	48.1	729.1	34.5	516	51.9
1970-1979	2837.4	118.2	677.6	18.3	936.4	35.3	739.6	45	483.8	19.6
1980-1989	2749.9	30.7	670.1	10.8	896.2	-5	705.2	10.6	478.5	14.3
1990-1999	2632.8	-86.3	631.1	-28.2	887.7	-13.4	669.1	-25.5	444.9	-19.2
2000-2009	2495.2	-223.9	631.5	-27.8	836.2	-65	630	-64.6	397.6	-66.6
1960-2009	2719.2	—	659.3	—	901.1	—	694.6	—	464.1	—

### 6.3 日照时数季节变化特征分析

图 6-2 给出了阿克陶县四季日照时数逐年变化情况，从春季日照时数变化情况可见，近 50 年来日照时数逐渐减少，其变化倾向率为 $-17.88 \text{ h}/10\text{a}$ 。将逐年数据与多年平均对比发现，春季日照时数变化波动比较频繁，阶段性不是很明显。

从夏季日照时数变化图可见，日照时数呈减少趋势，其变化倾向率为 $-28.17 \text{ h}/10\text{a}$ 。对比发现夏季日照时数大致可以分为 3 个阶段，80 年代以前的大于多年平均值时期，1984-1994 年在多年平均值附近波动时期，1995 年以后逐渐少于多年平均值时期，最大值出现在 1963 年（1008.1h），最小值出现在 1998 年（806.2h）。

从秋季日照时数变化图可见，日照时数呈减少趋势，其变化倾向率为 $-26.59 \text{ h}/10\text{a}$ 。其阶段性明显，90 年代以前大于多年平均值时期，和 90 年代以后小于多年平均值时期。近 50 年来春季日照时数最大值出现在 1979 年（833h），最小值出现在 2009 年（576.8h）。

从冬季日照时数变化图可见，日照时数呈减少趋势，其变化倾向率为 $-27.58 \text{ h}/10\text{a}$ ，之次于春季，冬季日照时数的减少对年日照时数减少的影响大。同春季日照时数变化情况比较相似，冬季日照时数的阶段性不显著。近 50 年来冬季日照时数最大值出现在 1963 年（643.6h），最小值出现在 2006 年（283.4h）。

## 6 阿克陶县日照时数变化特征

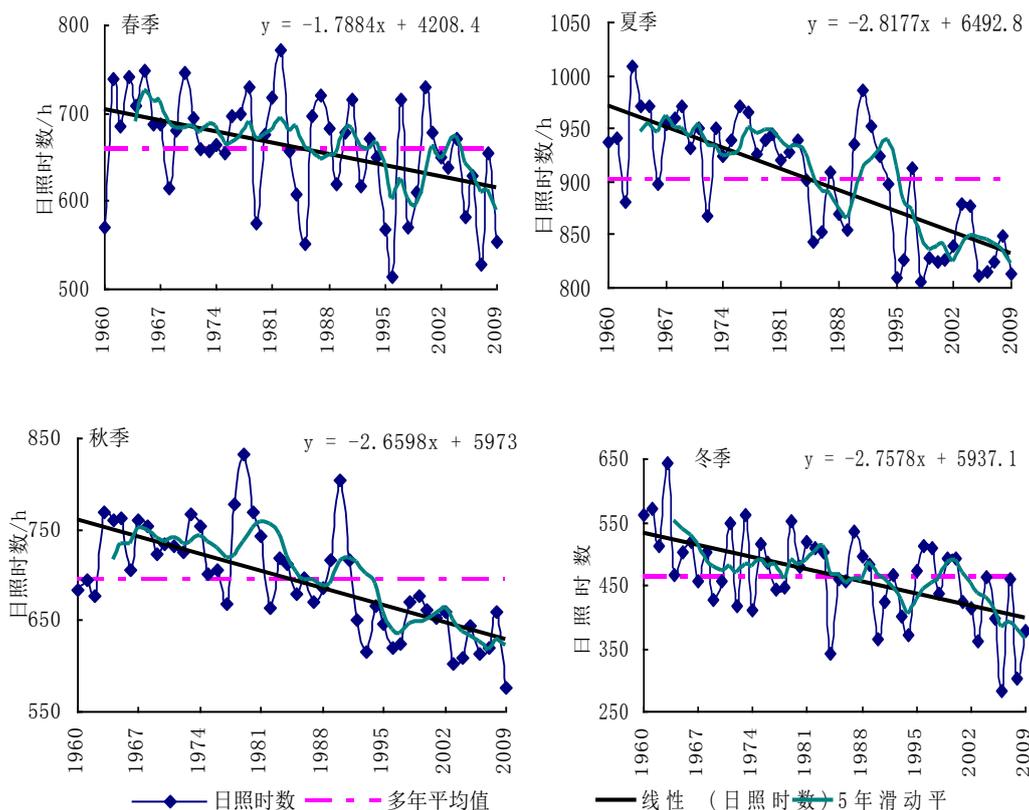


图6-2 阿克陶县四季日照时数变化及线性趋势

### 6.4 阿克陶县日照时数突变分析

由图 6-4 中图 a 可以看出，阿克陶县年日照时数累计距平曲线的绝对最大值出现在 1983 年，这次转折是日照时数从偏高期转为偏低期。1983 年日照时数的信噪比(为 6.4)，且  $S/N > 1$ ，可以认为是气候突变年。突变年前后平均值的差值为 272h。由图 b 可知，在  $\pm 1.96$  临界线之间 UF 和 UB 没有交点，表明没有检测出突变年份。由图 c 可知，1984、1992、2005 年发生突变。由图 d 也可以看出，1984、1992、2005 年发生突变。分析四种突变检验结果，1983-1984 年可能是阿克陶县年日照时数的突变点。

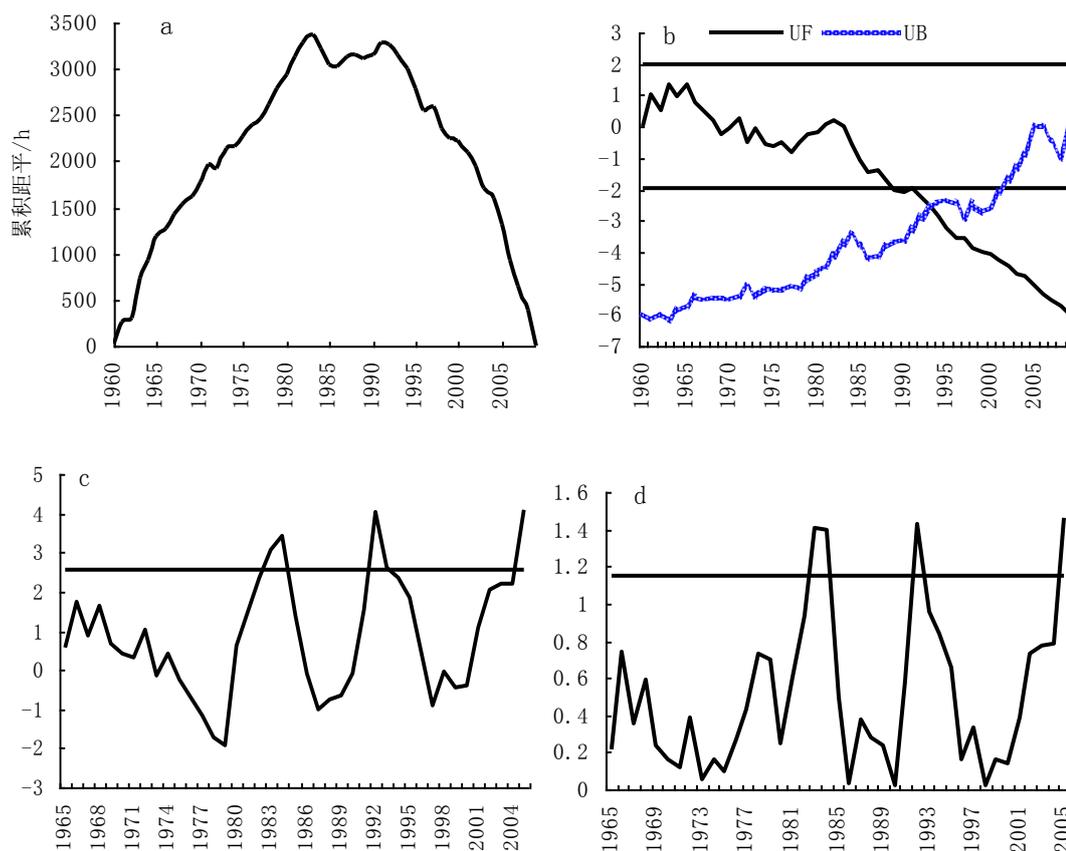


图 6-3 阿克陶县年日照时数突变检验图

注：(a: 累积距平；b: MK 检验结果，直线为  $\alpha=0.05$  显著性水平临界值；c: 滑动 t 检验结果，取  $n_1=n_2=5$ ，d: Yamamoto 检验结果。)

由阿克陶县春季日照时数突变检验图 a (图略) 可以看出，阿克陶县春季日照时数累计距平曲线的绝对最大值出现在 1982 年，1982 年日照时数转折的信噪比(为 4.1)，且  $S/N > 1$ ，可以认为是气候突变年。由图 b 可知，UF 和 UB 在  $\pm 1.96$  临界线之间相交于一点，交点对应于 1989 年，UF 曲线在 1996 年超过信度线，表明阿克陶县春季日照时数在 1989 年发生了突变现象。由图 c 可知，2005 年发生突变。由图 d 也可以看出，没有检测到突变点。分析四种突变检验结果，1982、1989 年可能是阿克陶县春季日照时数的突变点。

由阿克陶县夏季日照时数突变检验图 a (图略) 可以看出，阿克陶县夏季日照时数累计距平曲线的绝对最大值出现在 1993 年，1993 年日照时数转折的信噪比(为 12.4)，且  $S/N > 1$ ，可以认为是气候突变年。由图 b 可知，UF 和 UB 在  $\pm 1.96$  临界线之间相交于一点，交点对应于 1985 年，UF 曲线在 1987 年超过信度线，表明阿克陶县夏季日照时数在 1985 年发生了突变现象。由图 c 可知，1985、1995、1990 年发生突变。由图 d 也可以看出，1985、1986、1991 年发生突变。分析四种突变检验结果，1985、1993 年可能是阿克陶县夏季日照时数的

突变点。

由阿克陶县秋季日照时数突变检验图 a (图略) 可以看出, 阿克陶县秋季日照时数累计距平曲线的绝对最大值出现在 1991 年, 1991 年日照时数转折的信噪比(为 6.2), 且  $S/N > 1$ , 可以认为是气候突变年。由图 b 可知, UF 和 UB 在  $\pm 1.96$  临界线之间相交于一点, 交点对应于 1992 年, UF 曲线在 1994 年超过信度线, 表明阿克陶县秋季日照时数在 1992 年发生了突变现象。由图 c 可知, 1992、1998、2003 年发生突变。由图 d 也可以看出, 1992、2003 年发生突变。分析四种突变检验结果, 1991-1992 年可能是阿克陶县秋季日照时数的突变点。

由阿克陶县冬季日照时数突变检验图 a (图略) 可以看出, 阿克陶县冬季日照时数累计距平曲线的绝对最大值出现在 1983 年, 1983 年日照时数转折的信噪比(为 7.7), 且  $S/N > 1$ , 可以认为是气候突变年。由图 b 可知, UF 和 UB 在  $\pm 1.96$  临界线之间相交于一点, 交点对应于 1989 年, UF 曲线在 1990 年超过信度线, 表明阿克陶县冬季日照时数在 1989 年发生了突变现象。由图 c 可知, 1990、1995、2001 年发生突变。由图 d 也可以看出, 1990、1995、2001 年发生突变。分析四种突变检验结果, 1983-1990 年可能是阿克陶县冬季日照时数的突变点。

## 6.6 日照时数变化小结

(1) 阿克陶县日照时数逐年减少的趋势比较明显, 尤其是 90 年代以后日照时数的减少幅度比较大。日照时数最多年份 1963 年, 为 3162.3h, 最少年份 2009 年, 为 2323.6h。

(2) 阿克陶县四个季节的日照时数均呈减少趋势, 但各季节的减少幅度存在明显的差异, 春、夏、秋、冬四季平均日照时数的变化倾向率分别为 -17.88 h/10a、-28.17 h/10a、-26.59 h/10a、-27.58 h/10a。其中夏季平均日照时数减少最多, 春季平均日照时数减少最少。

(3) 阿克陶县日照时数突变发生在 1983-1984 年, 春季发生在 1982-1989 年, 夏季发生在 1985-1993 年, 秋季发生在 1991-1992 年, 冬季发生在 1983-1990 年。

## 7 阿克陶县其它气象因子的变化特征

### 7.1 初终霜日、无霜期的变化特征

#### 7.1.1 初霜日

1963-2009 阿克陶县年初霜日变化曲线分析可知,近 47 年来阿克陶县初霜日期以 1.2d/ 10a 的速度提前,秋季初霜来临多年平均日期在 10 月 23 日,最早出现在 10 月 4 日(1973 年),比多年平均日期提前 19d,最晚出现在 11 月 10 日(1978 年),比多年平均日期推迟 18d,初霜日期最早最晚出现日期相差 37 d。初霜日期主要分布在 10 月上旬~11 月上旬,其中 10 月下旬的分布率最高。

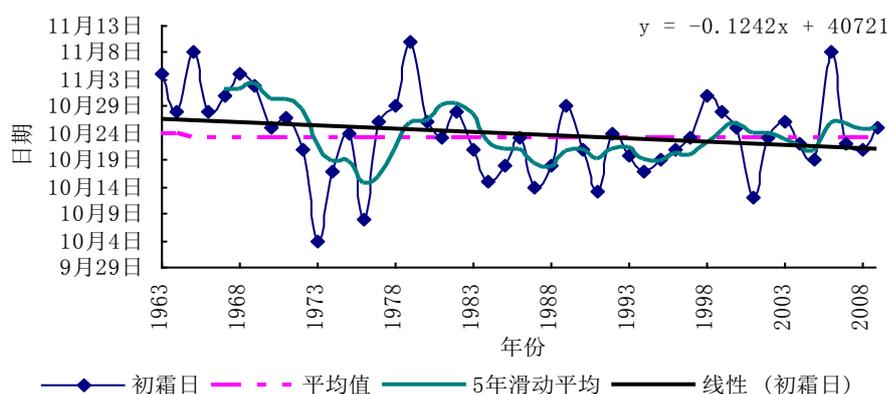


图 7-1 1963~2009 年阿克陶县初霜日期趋势变化

#### 7.1.2 终霜日

1963-2009 阿克陶县年终霜日变化曲线分析可知,近 47 年来阿克陶县终霜日以 1.03d/ 10a 的速度推迟,春季终霜结束多年平均日期在 3 月 26 日,最早出现在 3 月 10 日(2005 年),比多年平均日期提前 16d,最晚出现在 5 月 9 日(1974 年),比多年平均日期推迟 44d,终霜日最早最晚出现日期相差 60d。终霜日期主要分布在 3 月中旬~5 月上旬,其中 3 月下旬的分布率最高。

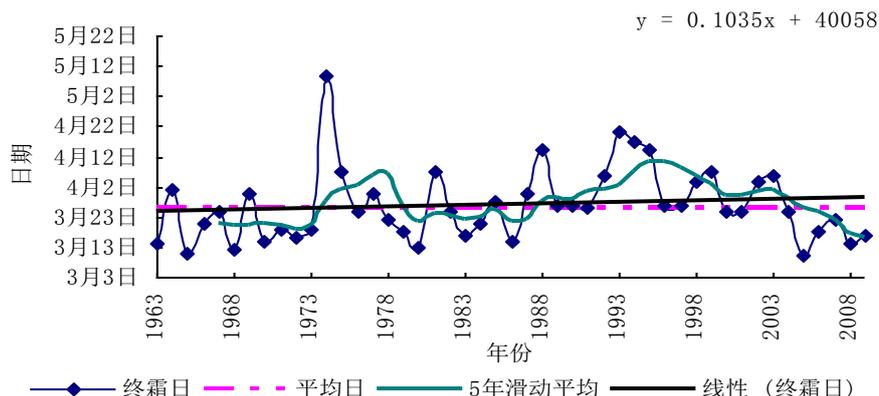


图 7-2 1963~ 2009 年阿克陶县终霜日趋势变化

### 7.1.3 无霜期

1963-2009阿克陶县年无霜期变化曲线分析可知，近47年来阿克陶县无霜期以9.6d/10a的速度缩短，无霜期多年平均值为198d，最长达到248d(1969年)，比多年平均值延长50d，最短为126d(1992年)，比多年平均值缩短72d，无霜期最长最短相差122d。

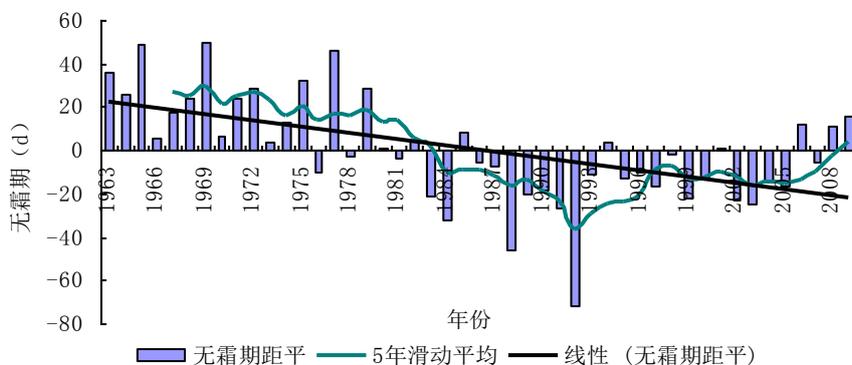


图 7-3 1963~ 2009 年阿克陶县无霜期趋势变化

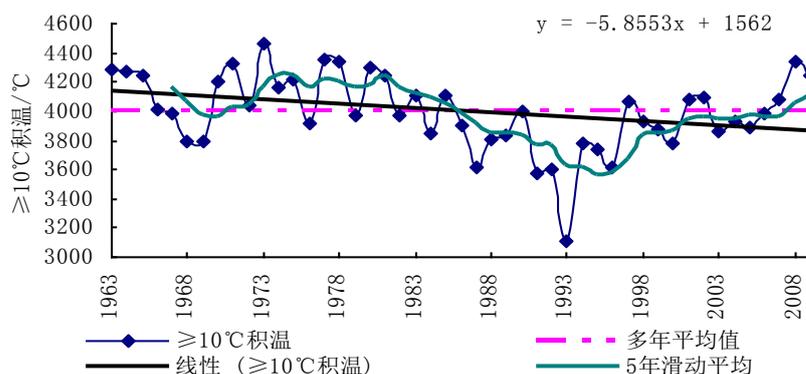
从无霜期的统计结果可以看出（表7-1）：阿克陶县年代之间的无霜期也存在差异，60年代和70年代无霜期大多在多年平均值以上上下波动，60年代的平均值比多年平均值延长了30d，70年代的平均值比多年平均值延长了17d，比60年代缩短了13d。80年代、90年代、20世纪初无霜期大多在多年平均值以下上下波动，80年代、90年代、21世纪初年代平均值比多年平均值分别缩短了12d、19d、6d，比60年代缩短了42d、49d、36d，比70年代缩短了29d、36d、23d。

表 7-1 1963~2009 年阿克陶县各年代初、终霜及无霜期

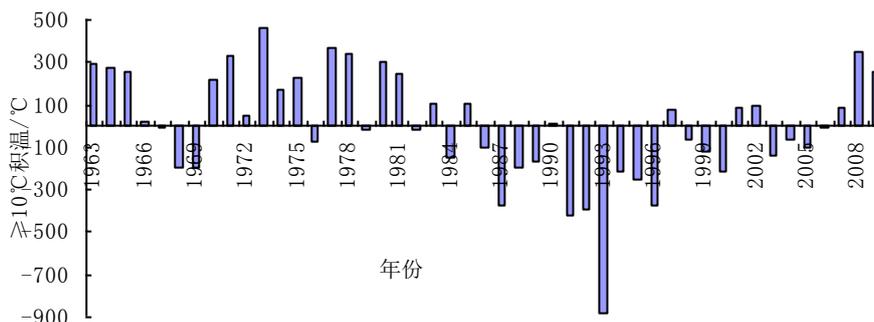
项目	1963-1969	1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	1963-2009
均值(月/日)	11/1	10/22	10/21	10/21	10/23	10/23
初霜日 距平(d)	8	-1	-2	-2	0	—
均值(月/日)	3/20	3/27	3/26	4/5	3/22	3/26
终霜日 距平(d)	-6	1	0	10	-4	—
均值(d)	228	215	186	179	192	198
无霜期 距平(d)	30	17	-12	-19	-6	—

## 7.2 阿克陶县积温变化特征

一个时间序列总是存在一定的变化趋势，所以用线性倾向估计方法求出要素的变化趋势。线性倾向估计就是建立变量  $x_i$  与时间  $t_i$  的一元线性回归，求阿克陶县  $\geq 10^\circ\text{C}$  积温趋势倾向，并做 5 年滑动平均。

图 7-4 阿克陶县  $\geq 10^\circ\text{C}$  积温年际变化

由图 7-4 可知，阿克陶县近 47 年  $\geq 10^\circ\text{C}$  积温的累年平均值为  $3994.1^\circ\text{C}$ ，近 47 年以来积温总体呈下降趋势，变化倾向率为  $-58.6^\circ\text{C}/10\text{a}$ 。1963-1984 年平均积温总的趋势是在多年平均值以上波动，其中仅有 1968，1969，1976，1979 和 1982 年在平均值以下。1985-2009 年大多年份在多年平均值以下波动，其中 1985，1990，1997，2001，2002，2007，2008 和 2009 年在平均值以上波动。近 47 年来积温最少值出现在 1993 年，为  $3109.6^\circ\text{C}$ ，比平均值少  $884^\circ\text{C}$ ，最多值出现在 1973 年，为  $4458.1^\circ\text{C}$ ，比平均值多  $464^\circ\text{C}$ ，最多最少年积温差值达  $348.5^\circ\text{C}$ 。

图 7-5 阿克陶县 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温距平变化

由图 7-5 阿克陶县积温距平的历史变化可见, 1963-1969 年积温在平均值上下波动, 1963 - 1969 年平均值比 47 年积温平均值高  $63.6^{\circ}\text{C}$ 。1970-1983 年积温距平多为正值, 积温平均值比 47 年积温平均值高  $192.9^{\circ}\text{C}$ , 比 1963-1969 年平均值高  $130^{\circ}\text{C}$ 。1984-2000 年积温距平多为负值, 积温平均值比 47 年积温平均值低  $218.6^{\circ}\text{C}$ , 比 1963-1969 年平均值低  $282.2^{\circ}\text{C}$ , 1970-1983 年平均值低  $411.5^{\circ}\text{C}$ 。2001-2009 年积温在平均值上下波动, 积温平均值比 47 年积温平均值高  $63.3^{\circ}\text{C}$ , 比 1963-1969 年平均值低  $0.3^{\circ}\text{C}$ , 1970-1983 年平均值低  $130^{\circ}\text{C}$ , 比 1984-2000 年平均值高  $282^{\circ}\text{C}$ 。

表 7-2 阿克陶县 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温的年代际变化

项目	60 年代	70 年代	80 年代	90 年代	21 世纪初	累年平均
平均积温/ $^{\circ}\text{C}$	4057.7	4200.1	3971.5	3730.2	4030.1	3994.1
距平	63.6	206	-22.6	-263.9	36	—

### 7.3 阿克陶县风的气候变化特征

#### 7.3.1 平均风速的变化

图7-6给出了阿克陶县逐年平均风速和五年滑动平均的时间演变, 可以明显的看出阿克陶县多年平均风速为 $1.3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ; 平均风速总体呈下降趋势, 其变化倾向率为 $-0.44 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} / 10\text{a}$ 。其中1961-1972年平均风速呈增长趋势, 在1972年达到最大值, 为 $2.6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ; 1973-2001年平均风速呈减弱趋势, 其中2001年达到最小值, 为 $0.4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ; 2002-2009年平均风速具有弱的增长趋势。

从年代变化来看(表7-3)年代平均风速最大的时段出现在70年代, 平均为 $2.2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , 比多年平均风速增大了 $0.9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , 60年代增大了 $0.2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ; 20世纪80年代至21世纪初风速逐渐减少, 90年代的平均风速最小, 为 $0.6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , 比多年

平均风速减少了 $0.7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ，比70年代减少了 $1.6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ，比80年代减少了 $0.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。21世纪初平均风速具有弱的增长趋势，这一时段平均风速为 $0.8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ，比90年代增大了 $0.2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

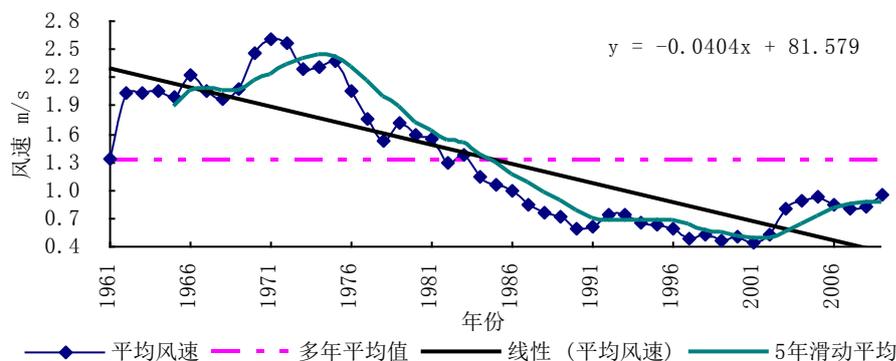


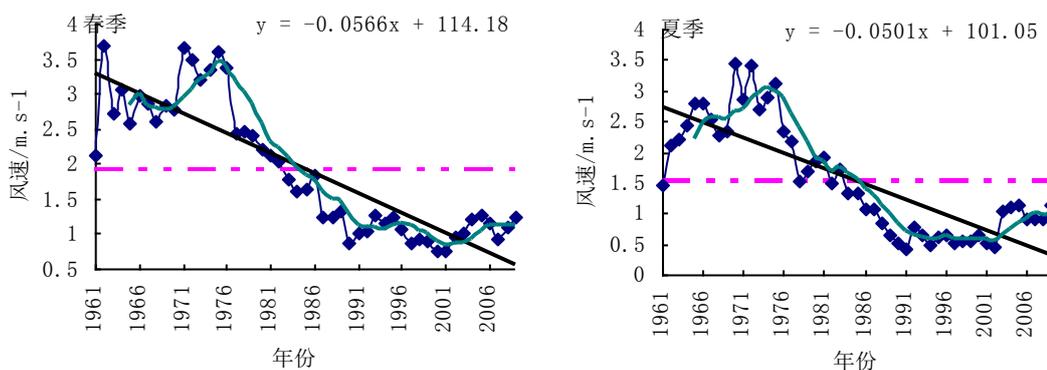
图 7-6 阿克陶县 1961 年~2009 年间平均风速变化

表7-3阿克陶县风速、大风日数年代际变化

项目	1961-1969	1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	1961-2009
平均风速/ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	2	2.2	1.1	0.6	0.8	1.3
距平/ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	0.7	0.9	-0.2	-0.7	-0.5	—
大风日数/d	17.9	29.5	6.7	2.1	1.7	11.6
距平/d	6.3	17.9	-4.9	-9.5	-9.9	—

近49年阿克陶县各季节风速与全年平均风速变化趋势一致，均呈下降趋势，各季节风速变化倾向率差异较大，其中春季变化倾向率最大，为 $-0.56 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} / 10\text{a}$ ，夏季变化倾向率次之，为 $-0.50 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} / 10\text{a}$ ，秋季、冬季变化倾向率较少，分别为 $-0.33 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} / 10\text{a}$ 、 $-0.22 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} / 10\text{a}$ 。

从年代变化来看，春季和夏季变化幅度相似，从70年代中期开始呈大幅度减少趋势，而冬季和秋季出现大幅的减少趋势的时间晚于夏季和春季，即从80年代开始呈大幅度减少趋势。



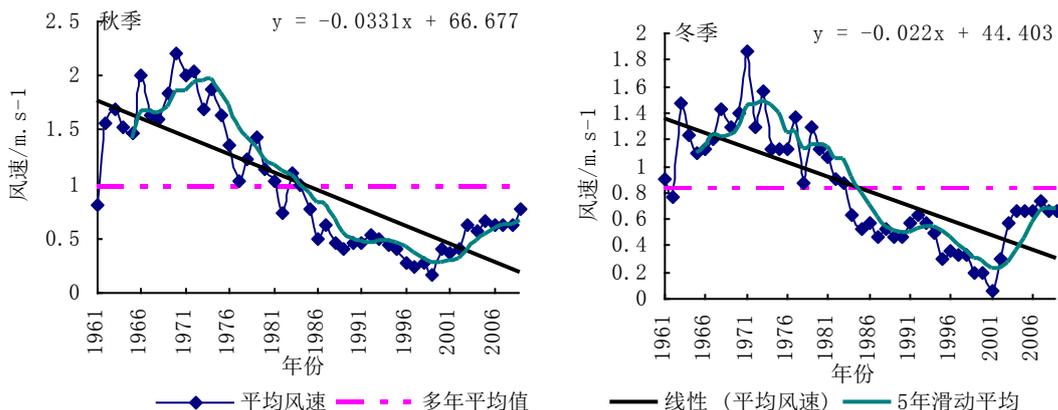


图 7-7 阿克陶县各季节平均风速变化曲线

### 7.3.2 大风日数的变化

通过对1961-2009年阿克陶县大风日数进行统计可知，近50年来大风日数共计579d，年平均大风日数为11.6d,从阿克陶县大风日数年变化曲线（图7-8）可以看出，近50年来大风日数总体呈下降趋势，其变化倾向率为-5.9d/10a。大风日数年变化较大，有的年份没有大风过程，出现在1991年、1993年、2000年、2002年大风日数为零；有的年份大风过程较多，大风日数最多出现在1972年和1974年，分别为45d、44d。

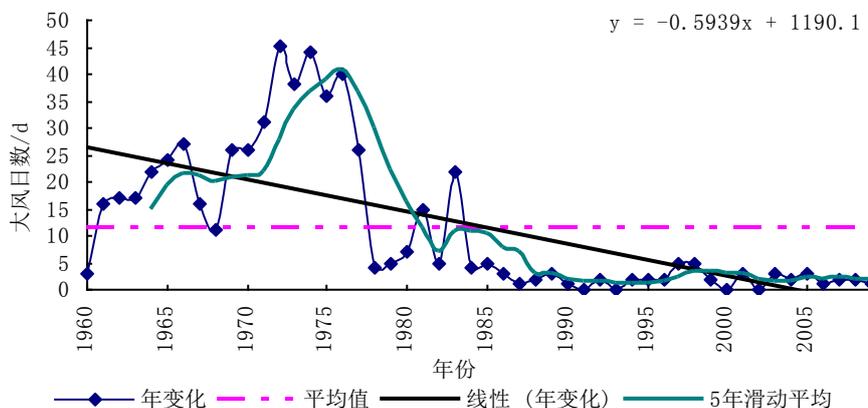


图 7-8 阿克陶县大风日数年变化曲线

从年代变化来看（表 7-3）大风日数从 60 年代至 70 年代末逐渐递增，其中 70 年代为大风高发期，平均为 29.5d，比多年平均大风日数增多 17.9d，比 60 年代增多 11.6d； 80 年代至 21 世纪大风日数逐渐减少，21 世纪的平均大风日数最少，为 1.7d，比多年平均大风日数减少 9.9d，比 70 年代减少 27.8d。

### 7.3.3 风向的变化特征

对阿克陶县近49年平均风向频率进行统计，W 风为全年最多风向，占25.5%，WSW 风次之，占18%，NW 风占9.1%，NE 风占8.5%，4个方位共为61.1%。

从季节上分析，春季最多风向频率为W 风向，NW、WSW 风向并列第二，WNW 风向为列第三；夏季和秋季最多风向频率为W 风向，WSW 风向为列第二，夏季列第三的风向为NE 风向，秋季列第三的风向为SW 风向；冬季最多风向频率为WSW 风向，W 风向为列第二，SW 风向为列第三。

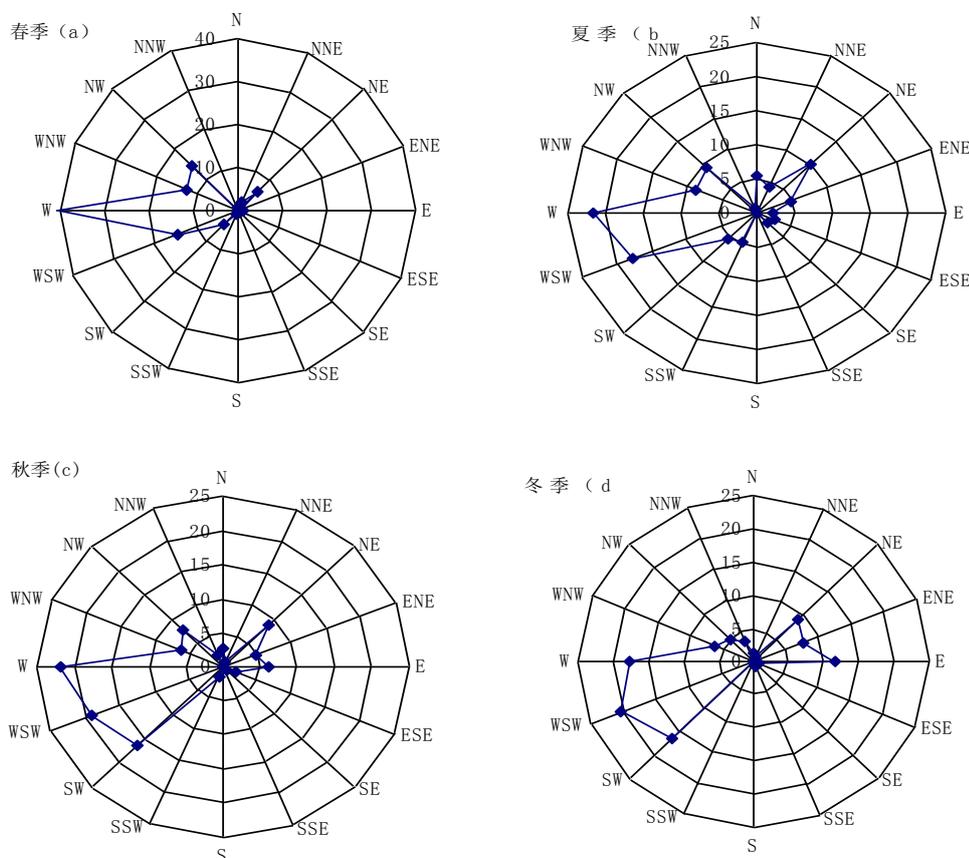


图 7-9 阿克陶县各季平均风向频率玫瑰图

## 7.4 阿克陶县相对湿度的变化特征

### 7.4.1 相对湿度的年际变化

图 7-10 给出了阿克陶县逐年平均相对湿度和五年滑动平均的时间演变，可以明显的看出阿克陶县多年平均相对湿度为 56.5%；平均相对湿度总体呈升高

趋势，其变化倾向率为 2.9%/10a。其中 1961-1986 年平均相对湿度在多年平均值以下波动，在 1970 年出现历年最小值，为 47.5%；1987-2004 年平均相对湿度在多年平均值以上波动，在 1996 年出现历年最大值，为 65.9%，最大最小值相差为 18.4%；2005-2009 年平均相对湿度具有降低趋势。

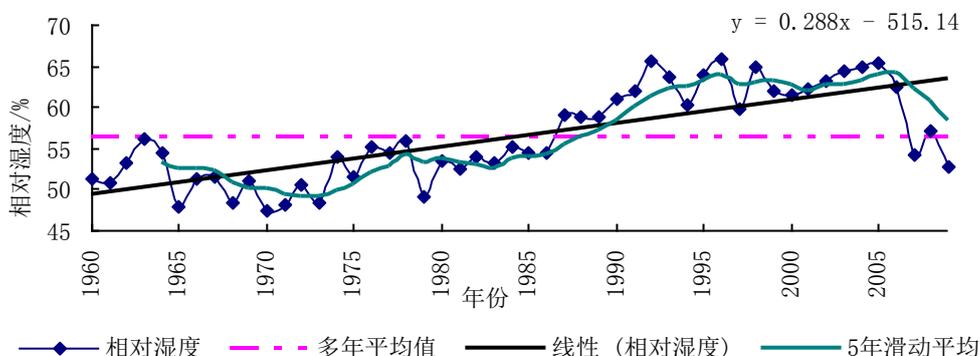
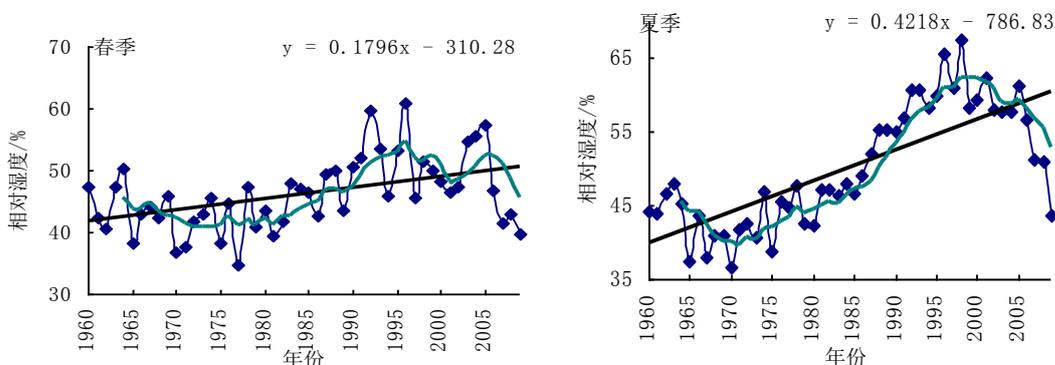


图 7-10 1960 ~ 2009 年阿克陶县年均相对湿度变化趋势

#### 7.4.2 相对湿度的年内变化

阿克陶县一年四季中冬季的相对湿度最大，其次是秋季，紧接着夏季，春季的相对湿度最小。春、夏、秋、冬相对湿度平均值分别为 46.2%、50.2%、61.7%、67.8%。

从阿克陶县季节相对湿度变化曲线（图 7-11）可以看出，近 50 年来阿克陶县各季节平均相对湿度与全年平均相对湿度气候趋势一致，均呈升高趋势，各季节平均相对湿度变化倾向率差异较大，其中夏季和秋季变化倾向率最大，为 4.2% / 10a，春季变化倾向率次之，为 1.8% / 10a，冬季变化倾向率较少，为 1.3% / 10a。



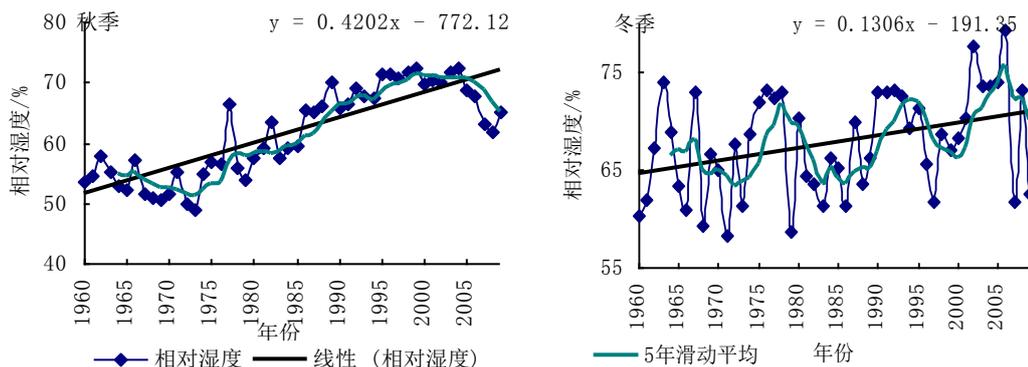


图 7-11 阿克陶县各季节相对湿度变化曲线

从阿克陶县逐月相对湿度平均值（图 7-12）可以看出，平均相对湿度最大的月份是 12 月，平均相对湿度为 72.5%，次之为 1 月份，为 68.6%，平均相对湿度最小的月份是 4 月份，平均相对湿度为 42.4%，次之为 5 月份和 6 月份，为 44.5%；最大和最小月平均相对湿度相差 28.1%。

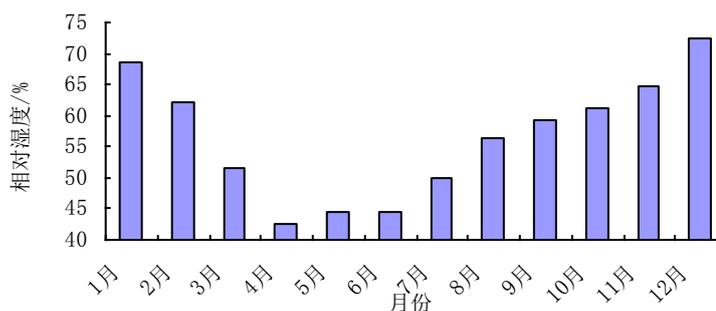


图 7-12 1960~2009 年阿克陶县逐月相对湿度平均值

### 7.5 阿克陶县沙尘暴的变化特征

通过对1960-2009年阿克陶县沙尘暴日数进行统计可知，近50年来沙尘暴日数共计451d，年平均沙尘暴日数为9.02d，从阿克陶县沙尘暴日数年变化曲线（图 7-14）可以看出，近50年来沙尘暴日数总体呈下降趋势，其变化倾向率为-5.2d/10a。沙尘暴日数年变化较大，有的年份没有沙尘暴过程，有的年份沙尘暴过程较多，沙尘暴日数最多出现在1996年，为39d。

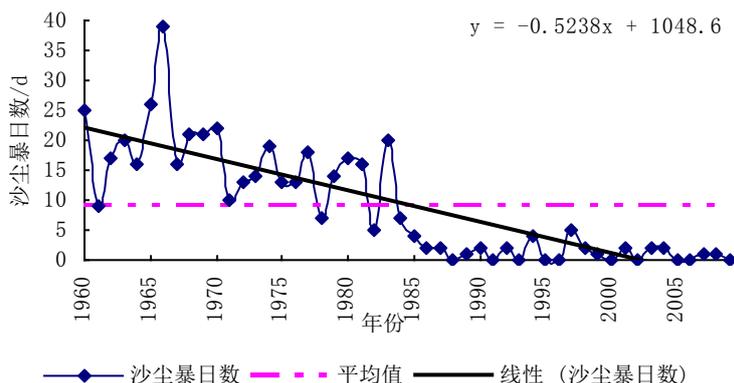


图 7-13 阿克陶县沙尘暴日数年变化曲线

从年代变化来看（表 7-5）沙尘暴日数从 60 年代至 21 世纪初逐渐减少，其中 60 年代为沙尘暴高发期，平均为 21d，比多年平均沙尘暴日数增多 11.98d，21 世纪初的平均沙尘暴日数最少，为 0.8d，比多年平均沙尘暴日数减少 8.22d，比 60 年代减少 20.2d。

表7-5 阿克陶县沙尘暴日数年代变化

项目	1960-1969	1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2009	1960-2009
沙尘暴日数/d	21	14.3	7.4	1.6	0.8	9.02
距平/d	11.98	5.28	-1.62	-7.42	-20.2	—

## 7.6 本章小结

（1）近 47 年来阿克陶县初霜日期以 1.2d/ 10a 的速度提前，初霜日期主要分布在 10 月上旬~ 11 月上旬，其中 10 月下旬的分布率最高。60 年代初霜日期平均日期比多年平均日期推迟了 8d。70 年代、80 年代、90 年代初霜日期比多年平均日期提前了 1d、2d。21 世纪初初霜日期与多年平均日期一样。

近47 年来阿克陶县终霜日以1.03d/ 10a 的速度推迟，终霜日期主要分布在3 月中旬~5月上旬，其中3月下旬的分布率最高。60年代终霜日比多年平均日期提前了6d。70年代、90年代终霜日比多年平均日期推迟了1d、10d。80年代终霜日与多年平均日期一样。21世纪初终霜日比多年平均日期提前了4d。

近47 年来阿克陶县无霜期以9.6d/ 10a 的速度缩短，无霜期多年平均值为 198d，60年代和70年代无霜期比多年平均值延长了30d、17d 。80年代、90年代、21世纪初无霜期平均值比多年平均值分别缩短了12d、19d、6d。

（2）阿克陶县近 47 年 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温的累年平均值为 3994.1 $^{\circ}\text{C}$ ，近 47 年以来积温总体呈下降趋势，变化倾向率为-58.6 $^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 。60 年代、70 年代、21 世纪初

积温呈增加趋势，80年代和90年代积温有所减少。

(3) 阿克陶县多年平均风速为 $1.3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ；平均风速总体呈下降趋势，其变化倾向率为 $-0.44\text{m}\cdot\text{s}^{-1} / 10\text{a}$ 。平均风速最大的时段出现在70年代，平均为 $2.2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ；80年代至21世纪初风速逐渐减少，21世纪初平均风速具有弱的增长趋势。各季节风速变化倾向率差异较大，其中春季变化倾向率最大，秋季、冬季变化倾向率较小。

近50年来大风日数总体呈下降趋势，其变化倾向率为 $-5.9\text{d} / 10\text{a}$ 。大风日数从60年代至70年代末逐渐递增；从80年代至21世纪大风日数逐渐减少，21世纪初的大风日数最少。

对阿克陶县近49年平均风向频率进行统计，W风为全年最多风向，占25.5%，WSW风次之，占18%，NW风占9.1%，NE风占8.5%，4个方位共为61.1%。

(4) 阿克陶县多年平均相对湿度为56.5%；平均相对湿度总体呈升高趋势，其变化倾向率为 $2.9\% / 10\text{a}$ 。60年代、70年代、80年代相对湿度距平值均为负值，年平均相对湿度最大的时段出现在90年代，21世纪初平均相对湿度具有弱的降低趋势。一年四季中冬季的相对湿度最大，其次是秋季，紧接着夏季，春季的相对湿度最小。

(5) 近50年来沙尘暴日数总体呈下降趋势，其变化倾向率为 $-5.2\text{d} / 10\text{a}$ 。沙尘暴日数从60年代至21世纪初逐渐减少，其中60年代为沙尘暴高发期，21世纪初的沙尘暴日数最少。

## 8 阿克陶县气候变化与近邻市、县比较

### 8.1 阿克陶县气候变化与近邻市、县比较

#### 8.1.1 气温比较

从阿克陶县与近邻市、县气温变化比较曲线(图 8.1) 可知, 1971 年以来阿克陶县气温在南疆 4 个市、县中是最低的, 年平均气温为  $11.04^{\circ}\text{C}$ , 阿图什市气温最高, 为  $13.1^{\circ}\text{C}$ 。喀什市和莎车县分别位于阿克陶县北部和东南部, 年均气温分别为  $12.2^{\circ}\text{C}$ 、 $11.8^{\circ}\text{C}$ 。通过比较趋势线斜率可知, 喀什市、阿图什市、莎车县均呈增温的趋势, 其中以喀什市增温幅度为最大, 增温倾向率为  $0.45^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ , 接下来分别为莎车县和阿图什市, 增温倾向率为  $0.29^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 、 $0.21^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 。而阿克陶县气温则呈下降的趋势, 变化倾向率为  $-0.19^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ , 由此可知, 未来阿克陶县气候有变冷的趋势。

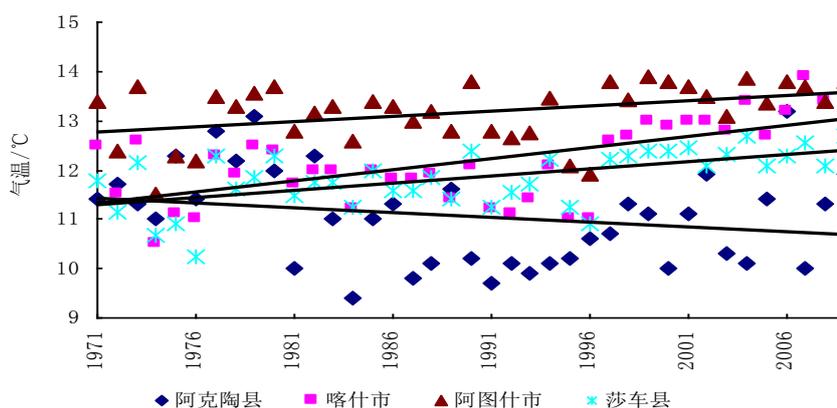


图8-1 阿克陶县与近邻市、县气温变化比较

#### 8.1.2 降水量比较

从阿克陶县与近邻市、县降水量变化比较曲线(图 8.2) 知, 阿图什市的降水量在南疆 4 个市、县中为最高, 年均降水量为  $89.6\text{mm}$ , 其次分别是阿克陶县、喀什市, 年均降水量分别为  $79.7\text{mm}$ 、 $68.2\text{mm}$ , 莎车县降水量最少, 为  $63.4\text{mm}$ 。从降水量变化趋势可知, 阿克陶县、喀什市、阿图什市、莎车县的降水量有增加的趋势, 增加幅度大小顺序分别为阿图什市、阿克陶县、喀什市、莎车县。阿图什市、阿克陶县、喀什市、莎车县有向湿润化方向发展的趋势, 与新疆降水的整体变化趋势一致。

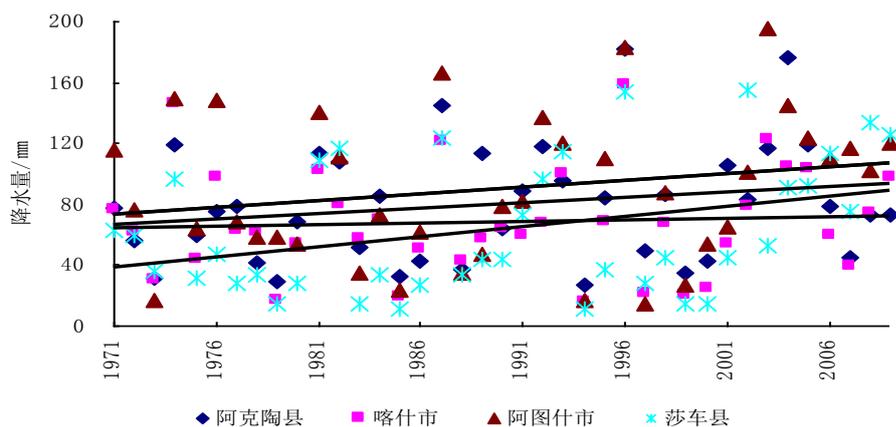


图8-1 阿克陶县与邻近市、县降水量变化比较

## 8.2 本章小结

(1) 喀什市，阿图什市，莎车县的气温均呈上升趋势，其中喀什市的气温增幅最大，阿克陶县的气温则呈下降趋势。

(2) 阿克陶县，喀什市，阿图什市，莎车县的降水量都呈增加趋势，增加幅度最大的是阿图什市，最小的是莎车县。

## 9 全文总结与展望

### 9.1 全文总结

#### 9.1.1 气温变化总结

(1) 近50年来阿克陶县的年均气温总体呈下降趋势，年均气温线性变化率为 $-0.01^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ，气温年际变化与我国西北地区气温变化趋势相反。年内气温变化存在季节差异，春、夏和秋三个季节气温均呈下降趋势，冬季的气温降呈上升趋势，其中，夏和秋季对全年平均气温降低贡献较大。

(2) 60年代和70年代的平均气温比近50年的平均气温均高 $0.34^{\circ}\text{C}$ 、 $0.19^{\circ}\text{C}$ ，80年代和90年代平均气温有所下降，平均气温比近50年的平均气温低 $0.11^{\circ}\text{C}$ 、 $0.41^{\circ}\text{C}$ ，比起90年代21世纪以来气温呈上升趋势但比近50年平均气温低 $0.01^{\circ}\text{C}$ 。

(3) 年气温突变点出现在1980-1984年之间，春季平均气温突变点出现在1982-1983年，夏季1981-1987年，秋季1978-1981年，冬季1978-1979年。其中春季突变年接近年气温突变，其它三季突变年份提前。

#### 9.1.2 降水变化总结

(1) 近50年来阿克陶县年降水量总体呈增多趋势，年降水量线性变化率为 $8.75\text{mm}/10\text{a}$ ，变湿趋势较为显著，结果与我国西北地区气候变湿的趋势一致。年内降水量变化有明显的季节差异，春、夏、秋、冬四个季节的降水均呈增多趋势，不过变化幅度不一样，其中夏、秋两季对全年降水量增多贡献较大，春季降水变化不大。

(2) 从60年代至70年代末，年降水量变化不大，波动中略有增多。80年代年降水量呈增多趋势，平均降水量比50年的平均值高 $4.32\text{mm}$ 。90年代以来年降水量的波动幅度较大，且波动增长趋势显著。21世纪以来降水量比90年代的 $87.09\text{mm}$ 增加到21世纪初的 $91.29\text{mm}$ ，比多年平均值高 $15.76\text{mm}$ 。

(3) 阿克陶县的年降水量的可靠突变点在1980-1986年之间，春季降水量没有检测到突变点，夏季突变发生在1981年，秋季和冬季突变年份滞后，出现在2000-2002年。

### 9.1.3 蒸发量变化总结

(1) 阿克陶县近46年来年蒸发量呈显著下降趋势，其变化倾向率为-263.17 mm/10a，四季蒸发量的变化趋势与年蒸发量的变化趋势一致，其中夏季蒸发量减少最多，春、秋季之次，冬季蒸发量减少最少，对年蒸发量的变化贡献最大的是夏季蒸发量的变化。

(2) 阿克陶县年代际之间的蒸发量也存在差异，从60年代至90年代年蒸发量一直在减少，其中70年代减少幅度最大，90年代减少幅度最小。不过近几十年来蒸发量略有增加的趋势。

(3) 阿克陶县年蒸发量在1971年和1982年发生突变，与春季突变年份一致，表明春季蒸发量对年蒸发量下降的影响较大。夏、冬季突变年份滞后。

### 9.1.4 日照时数变化总结

(1) 阿克陶县日照时数逐年减少的趋势比较明显，尤其是90年代以后日照时数的减少幅度比较大。日照时数最多年份1963年，为3162.3h，最少年份2009年，为2323.6h。

(2) 阿克陶县四个季节的日照时数均呈减少趋势，但各季节的减少幅度存在明显的差异，春、夏、秋、冬四季平均日照时数的变化倾向率分别为-17.88 h/10a、-28.17 h/10a、-26.59 h/10a、-27.58 h/10a。其中夏季平均日照时数减少最多，春季平均日照时数减少最少。

(3) 阿克陶县日照时数突变发生在1983-1984年，春季发生在1982-1989年，夏季发生在1985-1993年，秋季发生在1991-1992年，冬季发生在1983-1990年。

### 9.1.5 其它气象要素变化总结

(1) 近47年来阿克陶县初霜日期以1.2d/10a的速度提前，初霜日期主要分布在10月上旬~11月上旬，其中10月下旬的分布率最高。60年代初霜日期平均日期比多年平均日期推迟了8d。70年代、80年代、90年代初霜日期比多年平均日期提前了1d、2d。21世纪初初霜日期与多年平均日期一样。

近47年来阿克陶县终霜日以1.03d/10a的速度推迟，终霜日期主要分布在3月中旬~5月上旬，其中3月下旬的分布率最高。60年代终霜日比多年平均日期提前了6d。70年代、90年代终霜日比多年平均日期推迟了1d、10d。80年代终霜日与多年平均日期一样。21世纪初终霜日比多年平均日期提前了4d。

近47年来阿克陶县无霜期以9.6d/10a的速度缩短，无霜期多年平均值为

198d, 60年代和70年代无霜期比多年平均值延长了30d、17d。80年代、90年代、21世纪初无霜期平均值比多年平均值分别缩短了12d、19d、6d。

(2) 阿克陶县近47年 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温的累年平均值为3994.1 $^{\circ}\text{C}$ , 近47年以来积温总体呈下降趋势, 变化倾向率为-58.6 $^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 。60年代、70年代、21世纪初积温呈增加趋势, 80年代和90年代积温有所减少。

(3) 阿克陶县多年平均风速为1.3  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ; 平均风速总体呈下降趋势, 其变化倾向率为-0.44 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}/10\text{a}$ 。平均风速最大的时段出现在70年代, 平均为2.2  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ; 从80年代至21世纪初风速逐渐减少, 21世纪初平均风速具有弱的增长趋势。各季节风速变化倾向率差异较大, 其中春季变化倾向率最大, 秋季、冬季变化倾向率较小。

近50年来大风日数总体呈下降趋势, 其变化倾向率为-5.9d / 10a。大风日数从60年代至70年代末逐渐递增; 从80年代至21世纪大风日数逐渐减少, 21世纪的大风日数最少。

对阿克陶县近49年平均风向频率进行统计, W 风为全年最多风向, 占25.5%, WSW 风次之, 占18%, NW占9.1%, NE占8.5%, 4个方位共为61.1%。

(4) 阿克陶县多年平均相对湿度为56.5%; 平均相对湿度总体呈升高趋势, 其变化倾向率为2.9%/10a。60年代、70年代、80年代相对湿度距平值均为负值, 年平均相对湿度最大的时段出现在90年代, 21世纪初平均相对湿度具有弱的降低趋势。一年四季中冬季的相对湿度最大, 其次是秋季, 紧接着夏季, 春季的相对湿度最小。

(5) 近50年来沙尘暴日数总体呈下降趋势, 其变化倾向率为-5.2d / 10a。沙尘暴日数从60年代至21世纪初逐渐减少, 其中60年代为沙尘暴高发期, 21世纪初的沙尘暴日数最少。

### 9.1.5 阿克陶县气候变化与近邻市、县比较总结

(1) 喀什市, 阿图什市, 莎车县的气温均呈上升趋势, 其中喀什市的气温增幅最大, 阿克陶县的气温则呈下降趋势; 降水量都呈增加趋势, 增加幅度最大的是阿图什市, 最小的是莎车县。

(2) 喀什市, 阿图什市, 莎车县的降水量都呈增加趋势, 增加幅度最大的是阿图什市, 最小的是莎车县。

## 9.2 本文特色及创新点

论文基于长年代的实测数据,对气温、降水量、日照、蒸发量、相对湿度、积温、无霜期、初终霜日、风速、大风日数、沙尘暴等多个气候要素的长期变化趋势、季节变化差异进行了全面、系统地研究,是阿克陶县迄今为止最为完整的气候变化研究文章。

## 9.3 存在的问题及下一步工作计划

(1) 本文指出了阿克陶县气候变化规律,但对于各主要影响系统之间的相互关系没有深入细致地探讨,还需要进一步的深入研究。

(2) 本文在方法的运用上较为单一,应建立一些数学模型以进行更准确的分析,将定量分析与定性分析相结合。

(3) 本文是对阿克陶县 1960~2009 年的气候变化进行了分析,由于资料、技术等各方面的原因未能对阿克陶县的情境进行模拟和预测。

## 参考文献

- [1] 丁一汇. 中国气候变化[M]. 北京:中国环境科学出版社. 2009, 10-12.
- [2] 孙丽华. 秦皇岛市近 45 年气候变化及其对农业的影响[D]. 硕士学位论文. 2007, 15-26.
- [3] 施雅风. 中国西北气候由暖干向暖湿转型问题评估[M]. 北京:气象出版社. 2003, 17-25.
- [4] 王绍武, 叶瑾琳. 近百年来全球气候变温的分析[J]. 大气科学, 1995, 19(5): 545-553.
- [5] 胡汝骥, 姜逢清, 王亚俊. 新疆气候由暖干向暖湿转变的信号及其影响[J]. 干旱区地理, 2002, 25(3): 194-200.
- [6] 张喜亮. 江苏省近 45 年气候变化的时空特征分析[J]. 硕士学位论文. 2008, 2-3.
- [7] Plummer N, Salinger M J, Nicholls N, et al. Changes in Climate Extremes Over the Australian Region and New Zealand During the Twentieth century[J]. Climate change, 1999, (42): 183-202.
- [8] Mann M E, Bradley R S and Hughes M K. Northern Hemisphere temperatures during the past millennium: Inferences, uncertainties and limitations[J]. Geophys Res Lett, 1999, 26: 756~762.
- [9] Mann, M. E., R. S. Bradley, and M. K. Hughes, 1998: Global scale temperature patterns and climate forcing over the past six centuries[J]. Nature, 392, 779~787.
- [10] Jones P D, Briffa K R, Barnett T P, et al. High resolution palaeo climatic records for the last millennium: interpretation, integration and comparison with General Circulation Model control run temperatures [J]. Holocene, 1998, 8: 455.
- [11] Crowley, T. J. and T. S. Lowery (2000), How warm was the Medieval Warm Period? A comment on 'Man-made versus natural climate change' [J]. Ambio, 39, 51~54.
- [12] Briffa, K. R., P. D. Jones, F. H. Schweingruber, and T. J. Osborn (1998b), Influence of volcanic eruptions on Northern Hemisphere summer temperatures over 600 years [J]. Nature, 393, 450~455.
- [13] Gruza G, Rankova E, Razuvaev, et al. Indicators of Climate Change for the Russian Federation [J]. Glim Change, 1999, 42: 219-242.
- [14] IPCC. Summary for Policymakers of Climate Change 2007: The Physical Science Basis Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- [15] 丁永建, 叶伯生等. 过去 50 年中国西部气候和径流变化的区域差异[J]. 中国科学 D 辑, 2007, 37(2): 206~217.
- [16] Jones P D, Humle M. Calculating regional climatic time series for temperature and Precipitation Method and Illustration. Int. J. Climate. 1996, 16: 361-37.
- [17] Humle M T, Osbon J, et al. Precipitations sensitivity to global warming: Comparison of Observations with HadCM2 simulations. GeoPhisRes. Leeds. 1998, 25, 3379-3382.

- [18] Bradley R, Draz H, Eisehied J, et al. Precipitation fluctuations over northern Hemisphere land areas since the Mid-19th center[J]. Science, 1987, 237(4811): 171-175.
- [19] 施能, 陈绿文. 1920-2000 年全球陆地降水气候特征与变化[J]. 高原气象. 2004, 23(4): 435-442.
- [20] 黄先香, 施能, 炎利军. 1948-2001 年全球陆地 6-8 月降水长期变化的时空特征[J]. 南京气象学院学报. 2003, 26(2): 201-209.
- [21] Hulme M, Zhao ZC, Jiang T. Recent and future climate change in east Asia[J]. Int. J. Climatology, 1994, 14: 637-658.
- [22] Peterson TC, Golubev VS, Groisman PY. Evaporation losing its strength[J]. Nature 1995, 377: 687-688.
- [23] Chattopadhyay N, Hulme M. Evaporation and potential evapotranspiration in India under conditions of recent and future climate change[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 1997, 87(1): 55-73.
- [24] Roderick ML, Forquhar GD. Changes in Australian pan evaporation from 1970 to 2002[J]. Int. J. Climatology, 2004, 24: 1077-1090.
- [25] Roderick ML, Farquhar GD. Changes in New Zealand pan evaporation since the 1970s[J]. Int. J. Climatology, 2005, 25: 2031-2039.
- [26] Cohen S, Ianetz A, Stanhill G. Evaporative climate changes at Bet Dagen, Israel, 1964-1998[J]. Agri. Fore. Meteo, 2002, 111: 83-91.
- [27] 唐国利, 任国玉. 近百年中国地表气温变化趋势的再分析[J]. 气候与环境研究, 2005, 10(4): 791-798.
- [28] 陈隆勋, 周秀骥, 李维亮, 罗云峰, 朱文琴. 中国近 80 年来气候变化特征及其形成机制[J]. 气象学报, 2004, 62(5): 634-646.
- [29] 于淑秋. 近 50 年我国日平均气温的气候变化[J]. 应用气象学报, 2005, 16(6): 787-793.
- [30] 王翠花, 李雄, 缪启龙. 中国近 50 年来日最低气温变化特征研究[J]. 地理科学, 2003, 23(4): 441-447.
- [31] 任国玉, 郭军, 徐铭志等. 近 50 年中国地面气候变化基本特征[J]. 气象学报, 2005, 63(6): 943-956.
- [32] 王绍武, 蔡静宁, 等. 中国气候变化的研究[J]. 气候与环境研究, 2002, 7(6): 138-145.
- [33] 李克让, 林贤超, 王维强. 近四十年来我国气温的长期变化趋势[J]. 地理研究. 1990, 9(4): 26-37.
- [34] 任国玉, 吴虹, 陈正洪. 我国降水变化趋势的空间特征[J]. 应用气象报 200011(3): 322-330.
- [35] 王颖, 施能, 顾骏强, 等. 中国雨日的气候变化[J]. 大气科学, 2006, 30(1): 162-170.
- [36] 朱岗昆, 杨勿章. 中国各地蒸发量的初步研究[J]. 气象学报, 1955, 26(1-2): 1-24.
- [37] 吴绍洪, 尹云鹤, 郑度, 等. 近 30 年中国陆地表层干湿状况研究[J]. 中国科学(D 辑), 2005, 35(3): 276-283.
- [38] 谢贤群, 王菱. 中国北方近 50 年潜在蒸发的变化[J]. 自然资源学报, 2007, 22(5): 683-691.

- [39] 于淑秋, 林学椿, 徐祥德. 我国西北地区近 50 年降水和温度的变化[J]. 气候与环境 研究, 2003, 8(1):9-18.
- [40] 徐影, 丁一汇等. 我国西北地区 21 世纪季节气候变化情景分析[J]. 气候与环境研究, 2003, 8(1):19-25.
- [41] 赵庆云, 李栋梁, 李耀辉. 西北区降水时空特征分析[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 1999, 35(4), 124-128.
- [42] 杨晓丹, 翟盘茂. 我国西北地区降水强度、频率和总量变化[J]. 科技导报(北京), 2005, 23(6):24-26.
- [43] 张存杰, 高学杰, 赵红岩. 全球气候变暖对西北地区秋季降水的影响[J]. 冰川冻土, 2003, 25(2):157-163.
- [44] 杨青, 魏文寿. 新疆现代气候变化特征及其趋势分析[A]. 气候变化与生态环境研讨会文集. 2003, 202-209.
- [45] 魏文寿, 高卫东, 史玉光, 等. 新疆地区气候与环境变化对沙尘暴的影响研究[J]. 干旱区地理, 2004, 27(2):137-141.
- [46] 胡汝骥, 樊自立, 王亚俊. 近 50a 新疆气候变化对环境影响评估[J]. 干旱区地理, 2001, 24(2):97-103.
- [47] 杨青. 近 10 年新疆气候变化特征. 新疆气象[J], 1998, 21(2):9-13.
- [48] 苏宏超, 魏文寿, 韩萍. 新疆近 50 年来的气温和蒸发变化[J]. 冰川冻土 2003, 25(2):174-178.
- [49] 徐羹慧. 全球性气候变暖对新疆经济建设和可持续发展带来了什么[J]. 新疆气象, 1997, 2(5):1-3.
- [50] 袁玉江, 何清, 穆桂金. 天山山区近 40 a 夏季降水变化及与南北疆的比较[J]. 冰川冻土, 2003, 25(3):331-335.
- [51] 徐贵青, 魏文寿. 新疆气候变化及其对生态环境的影响[J]. 干旱区地理, 2004, 27(1):14-18.
- [52] 刘明哲, 魏文寿. 南疆近 60 年来的气候变化及其对沙尘暴发生条件的影响[J]. 干旱区地理, 2005, 28(4):479-483.
- [53] 葛朝霞, 曹丽青. 近 50 a 来南疆气候变化对可利用降水量的影响[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2010, 38(1):6-9.
- [54] 郑红莲, 严军等. 南疆地区近 58 年气温、降水变化特征分析[J]. 干旱区资源与环境, 2010, 24(7):103-109.
- [55] 马荣. 和田市近 30 年来气温的变化及其对农业的影响[J]. 亚热带水土保持, 2008, 20(3):18-22.
- [56] 刘海涛, 李绣东等. 南疆和田地区气候变化特征分析[J]. 干旱区资源与环境, 2010, 24(6):63-71.
- [57] 胡江玲, 满苏尔·沙比提等. 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.
- [58] 赵霞, 张中伟等. 喀什市 1971~2007 年气候分析[J]. 科技资讯, 2010, 5:234-236.
- [59] 范丽红. 新疆天山山区与南北疆气候变化及其影响的比较研究[D]. 硕士学位论文. 2006, 15-26.
- [60] 古丽巴哈尔·吾布力, 王晓峰, 阿克陶县近 50 年来气候变化特征分析[J]. 枣庄学院学报, 2011, 28(2):115-120.

- [61] 古丽巴哈尔·吾布力, 王晓峰, 古丽吉米丽·艾尼. 阿克陶县近46a蒸发量化特征及其影响因子分析[J]. 井冈山大学学报, 2011, 32(4):57-61.

## 在读期间发表的论文

- 1) 古丽巴哈尔·吾布力, 王晓峰. 阿克陶县近50年气候变化特征分析[J]. 枣庄学院学报. 2011, 28(2):115-120.
- 2) 古丽巴哈尔·吾布力, 王晓峰, 古丽吉米丽·艾尼. 阿克陶县近46a蒸发量化特征及其影响因子分析[J]. 井冈山大学学报, 2011, 32(4):57-61.
- 3) 古丽吉米丽·艾尼, 迪丽努尔·阿吉, 古丽巴哈尔·吾布力. 全球气候变化对东疆地区的影响分析——以吐鲁番盆地为例[J]. 井冈山大学学报(自然科学版), 2011, 32(3):70-75.
- 4) 仙米西努尔·克里木, 古丽巴哈尔·吾布力, 帕力旦·阿不来提. 近年来喀什市气候变化特征分析[J]. 牡丹江大学学报, 2012, 21(4):94-97.

## 致谢

首先感谢新疆师范大学，它给了我求学生涯最美好的回忆。在师大的8年，许多老师的言传身教都将让我受益终身，值此论文完成之际，谨向他们表达最诚挚的谢意！感谢师范大学地理科学与旅游学院的各位领导和老师，他们为本人顺利完成学业提供了诸多的帮助和辛勤的劳动。

每一篇论文的完成都不是一个人努力的结果，背后凝结了许许多多人的心血。本文的顺利完成得益于导师王晓峰教授的悉心指导，王老师无论在选题还是思路上都给予我精心指导，同时他正直的人品、严谨求实的治学态度，孜孜不倦的钻研精神让我敬佩，使我受益匪浅，在此对王老师表示最诚挚的谢意和敬意。

在资料收集方面还得到了阿克陶县气象局的大力支持和帮助，论文撰写期间，同学们的全体成员，特别是古丽吉米丽、帕力孜旦、潘英、张洋、黄俊丽，没有他们的帮助，此论文不可能顺利完成，在此一并感谢。

感谢我的家人、男朋友阿力木江、所有亲戚和朋友对我的理解及在学习和生活上的支持和帮助，谢谢所有曾经给予我帮助的人。

最后，衷心感谢热心参加本论文评审和答辩工作的各位专家、学者。

古丽巴哈尔·吾布力

2012年6月2日