

分类号:

密 级:

学号: 1076201014467

单位代码: 10762

# 新疆师范大学

## 2013 届硕士学位论文

新疆喀什市近 30 年气候变化及其对农业影响的研究

The Study of Kasghar District Climate Change And Its  
Impact on The Agriculture

研究生姓名: 阿依仙木古丽·阿由来提

学科、专业: 自然地理学

研 究 方 向: 自然资源开发与规划

院系、年级: 地理科学与旅游学院 2010 级

指 导 教 师: 买托合提·阿那依提 副教授

新疆师范大学

2013 年 6 月 4 日











## 摘要

气候是自然环境很重要的组成部分，也是一种重要的自然资源，从不同方面对社会经济各行各业都起一定作用，尤其是其对农业生产的影响极为显著。全球气候变化深刻地影响了人类的生活与生产，引起了人们对气候变化的关注。喀什市是气候变化反应最为敏感、生态脆弱的地域之一，气候变化的区域性背景下喀什市气候要素也发生了一些显著地变化。本文利用喀什市为研究对象，利用喀什市气象站的 1981-2010 年的气象资料和 2000-2010 年的农业数据，采用气候倾向率、趋势线分析、滑动平均法、Mann-Kendall 突变分析法、Yamamoto 法、滑动 t 检验法，对喀什市的气温、降水量、日照时数和沙尘日数进行详细地分析，讨论了喀什市的气候特点，以及对农业生产的影响。本文主要研究结果表明：

(1) 喀什市气温在年代变化、年际变化、季节变化都呈现出上升的趋势。年均日较差略为上升趋势，但上升趋势不明显。四季气温变化都呈上升趋势，其中秋季的上升速率最大，冬季的最小；而日较差除了冬季以外，都呈下降趋势。进行对突变的分析可知，大概 1996-1997 年左右发生突变。

(2) 降水量呈上升趋势，多年平均降水量达到 71.4 mm。20 世纪 80 年代和 90 年代的降水量，都在多年平均值以下，而进入 21 世纪以后，增长趋势显著。从季节降水倾向率上看，秋季的降水变化率最大，冬季次之，春季最小 (1.06mm/10a)，夏季降水变化下降趋势。喀什市降水量的突变发生在 2001-2002 年之间。

(3) 日照时数总体呈上升趋势，其变化倾向率为 166.5h/10a。日照时数少的年份主要集中在 80 年代和 90 年代中期。四个季节的日照时数均呈上升趋势，其中春季的增多趋势最为明显，其次是秋季，最少的是夏季和冬季。突变发生在 1996-1997 年间。

(4) 喀什市沙尘天气的变化呈减少趋势。除了扬沙日数增多之外，喀什市浮尘日数、沙尘暴日数和大风日数都趋于减少趋势。四季中除了夏季，其他季节的扬沙日数大致下降趋势，年扬沙日数以每 10a 增多 0.6d。

(5) 农业是各产业部门中对气候变化反应最为敏感的部门之一。无论是种植业、畜牧业、林果业、渔业和副业等农业部门都受到气候变化的影响。喀什市是以种植业和林果业为主导产业的县市，这两种农业部门都以气候条件的稳定为前提。因此，研究该市各气候因素的变化，深刻了解其气候因素的变化规律，是对喀什市农业各部门的可持续发展具有重要的现实意义。

通过分析喀什市主要气候要素的变化，可知喀什市由于气温增高、降水量增多、日照时数增多、沙尘日数发生率降低，都对喀什市的水稻、小麦、玉米、

水果等农产品生产带来一定影响，是对喀什市的气候变化研究的一次尝试，具有一定的系统性和创新性；同时也对喀什市及时调整各种生产生活活动提供参考，特别是对该地区的农业生产具有直接的指导作用。

**关键词：**新疆喀什市；气候变化；农业生产；突变分析；影响研究

## Abstract

The climate is very important part of the natural environment, and It is a kind of important natural resources, in different aspects, play a role in all of the society and economy, Especially, its extremely significant effects on agricultural production. Global climate change has a profound influence on human life and production, aroused Attention to climate change. The KaShi city is one of the most sensitive response to climate change and ecological fragile region. The regional background of climate change, the Kashi city climate factors also had some significant changes. This paper selects Kashi city as the research object, based on the Kashi meteorological station From 1981 to 2010 meteorological data And from 2000 to 2010 agricultural data. Used Climate tendency rate、 Trend line analysis、 Moving average method、 Method of test for Mann-Kendall、 The Yamamoto method、 Moving t test method, for the Kashi city's temperature, precipitation, sunshine hours and sand-dust days were analyzed in detail, discussed The climate characteristics of Kashi City, as well as the impact on agricultural production. The main results of this paper shows that:

(1) The temperature of Kashi city in the decade change, interannual variation, seasonal changes are showing a rising trend. The average diurnal slightly rising trend, But the trend was not obvious. The temperature change of seasons are on the rise, among the maximum Rate in autumn and Winter is minimum. But the Diurnal Temperature Range In addition to the winter, The other showed a declining tendency. From the mutation test knows that, the Mutations happened about during 1996-1997 years.

(2) The annual precipitation showed an upward trend, the annual total rainfall reached 71.4 mm. Precipitation in 1980s and 1990s, are less than long-time average annual value, after entering the 21Century, the upward trends is very avious. From the seasonal precipitation tendency rate perspective, precipitation in autumn ( 6.37mm/10a ) was more that the precipitatin of winter and spring, the change of summer rainfall is decline trend. The precipitation of Kashi City mutation occur that 2001-2002 years.

(3) Sunshine hours are upward trend, the trend rate is 166.5h/10a. Sunshine hours mainly concentrated in the 1980s and 1990's mid-term. The four season's sunshine hours showed an upward trend, The most obvious increasing trend in spring, followed by autumn, the least is in summer and winter. Mutations occur during

1996-1997years.

(4) The sand dust weather in Kashi city showed a decreasing trend. Except the blowing sand days increased, Kashi City floating dust days, dust storm days and gale days tended to decrease trend. Four seasons of sand dust weather days generally declining trend, but the summer blowing sand days are upward trend, which affected of Kashi city's blowing sand frequency. Years of blowing sand days, for every 10 years increase 0.6d.

(5) Agriculture is the climate change one of the most sensitive sectors of climate change. Whether it is crop farming, animal husbandry, fishery, fruit industry and sideline agricultural sector are affected by climate change. Kashi city is crop farming and fruit industry as the leading industry, the two department of agriculture in the climate conditions of the stability as the premise. Therefore, study on the change of the climate factors in the city and a deep understanding of the changing rules of climate factors, it has important practical significance to the sustainable development of Kashi city agriculture departments.

Through analyzing the change of main climate factors in Kashi City, Kashi City, that due to temperatures are rising, increased precipitation, sunshine hours increased, the number of sand-dust days and reduce, will bring some influence to the city of Kashi rice, wheat, corn, fruit and other agricultural products,Is an attempt to research on climate change in Kashi City, with system and certain innovation; Also in Kashi City, timely adjustment of the various production and living activities reference, especially it plays an instructive role in the region's agricultural production.

**Keywords:** Xinjiang Kashi city; climate change; agricultural production; mutation analysis; impact study

# 目录

<b>1 绪论</b> .....	<b>1</b>
1.1 研究背景.....	1
1.2 研究目的与意义.....	2
1.3 研究现状.....	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 .....	5
1.3.4 疆内气候研究现状 .....	6
1.4 本文拟研究解决的问题.....	7
1.5 本文主要研究内容.....	7
1.6 研究思路与技术路线图.....	9
<b>2 研究区概况与方法</b> .....	<b>10</b>
2.1 自然地理概况.....	10
2.1.1 地理位置与行政区划 .....	10
2.1.2 地貌条件 .....	11
2.1.3 气候特点 .....	11
2.1.4 土壤和植被 .....	11
2.1.5 河流水系 .....	12
2.1.6 自然资源 .....	12
2.1.7 主要自然灾害 .....	12
2.2 社会经济概况.....	13
2.2.1 人口及经济状况 .....	13
2.2.2 经济概况 .....	13
2.2.3 农业生产概况 .....	13
2.2.4 工业概况 .....	14
2.3 有关数据与资料.....	14
2.4 研究方法.....	15
<b>3 喀什市气温变化特征</b> .....	<b>18</b>
3.1 气温变化.....	18
3.1.1 气温的年代际变化 .....	18
3.1.2 气温的年变化 .....	18
3.1.3 气温变率 .....	20
3.2 气温的季节变化.....	20
3.2.1 四季平均气温年代际变化 .....	20
3.2.2 四季平均气温变化 .....	21
3.3 喀什市气温突变分析 .....	24
<b>4 喀什市降水量变化特征</b> .....	<b>26</b>
4.1 降水变化.....	26

4.1.1 降水的年代际变化.....	26
4.1.2 降水的年变化.....	26
4.1.3 变差系数.....	27
4.2 降水的季节变化.....	28
4.3 喀什市降水量突变分析.....	32
<b>5 喀什市日照时数变化特征.....</b>	<b>33</b>
5.1 日照时数变化.....	33
5.1.1 日照时数年变化特征分析.....	33
5.1.2 日照时数的季节变化.....	33
5.4 喀什市日照时数突变分析.....	36
<b>6 喀什市沙尘天气的变化特征.....</b>	<b>38</b>
6.1 浮尘日数的变化.....	38
6.1.1 浮尘日数的年变化.....	38
6.1.2 浮尘日数的季节变化.....	38
6.2 沙尘暴日数的变化.....	39
6.2.1 沙尘暴日数的年变化.....	39
6.2.2 沙尘暴日数的季节变化.....	40
6.3 扬沙日数的变化.....	40
6.3.1 扬沙日数的年变化.....	40
6.3.2 扬沙日数的季节变化.....	41
6.4 大风日数的变化.....	41
6.4.1 大风日数的年变化.....	41
6.4.2 大风日数的季节变化.....	42
<b>7 气候变化对农业生产的影响.....</b>	<b>43</b>
7.1 主要农业生产情况.....	43
7.1.1 喀什市种植业生产情况分析.....	43
7.1.2 林果业生产基本情况.....	43
7.2 气候变化对农业生产的影响.....	44
7.2.1 气温变化对农业的影响.....	45
7.2.2 降水对农业的影响.....	46
7.2.3 日照时数对农业的影响.....	47
7.2.4 沙尘天气对农业的影响.....	47
7.2.6 气候变化对喀什市粮食产量的影响.....	48
7.3 气候变化的农业适宜基本对策.....	49
<b>8 结论与研究展望.....</b>	<b>52</b>
8.1 结论.....	52
8.2 研究展望.....	53
<b>参考文献.....</b>	<b>54</b>
<b>在读期间发表论文.....</b>	<b>57</b>

致谢 ..... 58



## 1 绪论

### 1.1 研究背景

全球气候变化科学是从 20 世纪 80 年代发展起来的一门新兴的科学领域。研究对象是气候系统、各子系统内部以及各子系统之间的相互作用。它的科学目标是描述和理解人类赖以生存的气候系统的运行机制、变化规律和对人类活动的影响，以及人类活动在其中所起的作用，进而提高对未来气候变化以及对人类社会发展的预测和评估能力。近 20 年来，全球气候变化的研究经历了重大调整。首要从认识气候系统基本发展规律的研究为主，发展到与人类社会可持续发展相关的一系列生存环境问题的研究；然后是从研究人类活动对气候变化的影响，发展到研究人类如何适应和减缓全球气候的变化。

气候问题日益成为人类社会可持续发展的一个重大问题，现代气候科学已走向世界科学的前沿<sup>[1-3]</sup>。研究表明，近百年来，全球气候经历了以全球变暖为主要特征的变化。近 50 年来，气候变暖主要是由人类在活动中无意识的对气候产生的副作用；其结果则表现为增加大气 CO<sub>2</sub> 浓度、威胁臭氧层、促进氧平衡失调及造成热污染等。则现有的预测结果表明，未来 50-100 年间全球的气候走向变暖的趋势。这对全球生态系统和各地区社会经济生产影响，使人类的生存和发展面临巨大的挑战。

自工业革命以来，大气中温室气体浓度明显增加。20 世纪北半球温度的增幅可能是过去 1000 年中最高的。最近的 50 年全国年平均气温增加了 1.1℃<sup>[4]</sup>。降水分布也发生了变化，大陆地区尤其是中高纬地区降水增加，非洲等一些地区降水减少。有些地区极端天气气候事件的出现频率与强度增加。近百年我国气候也在变暖。王绍武等<sup>[5]</sup>研究发现，近百年来全球变化的主要特征是变暖，全球变暖速率约为 0.5℃/10a。冬季在西北、华北、东北地区最为明显。1985 年以来，我国以连续出现了 17 个全国大范围暖冬。

气候变暖的原因是非常复杂的，受各种因素的综合影响。一般，科学家的研究表明，影响全球短期气候变化的外部因子主要有太阳活动、火山活动和人类活动；另一方面则是全球气候系统内部各圈层之间的相互作用和反馈过程。局地气候变化还受到局地多种因素的影响。对于 20 世纪气候变化的因果分析，研究表明，20 世纪前 50 年，太阳活动和火山活动可能起了主要作用；而后 50 年，人类活动可能起了较为重要的作用（IPCC WGI Report,2001）。

对于未来 100 年的全球气候变化，国内外科学家也进行了预测。结果表明：  
(1) 到 2100 年时，地球平均地表气温将比 1990 年上升 1.4-5.8℃。这一增温值

将是 20 世纪内增温值 (0.6°C 左右) 的 2-10 倍。21 世纪全球平均降水将会增加, 北半球雪盖和海水范围将进一步缩小。到 2100 年时, 全球平均海平面将比 1990 年上升 0.09-0.88m。一些极端事件发生的频率会增加。(2) 我国气候将继续变暖。到 2020-2030 年, 全国平均气温将上升 1.7°C; 到 2050 年, 全国平均气温将上升 2.2°C。我国气候变暖的幅度由南向北增加。不少地区降水出现增加趋势, 但华北和东北南部等一些地区将出现继续变干的趋势。

农业生产是对气候变化最为敏感的部门之一。气候变化将使我国未来农业产量波动加大, 生产的不稳定性增加, 农业生产结构和布局将出现变化; 农业投资和成本增加, 农业生产条件改变。气候变暖将导致旱涝灾害加剧、水土流失扩大和地区水质等方面发生变化, 特别是农业生产更为突出。由于全球增温将导致地球气候系统的深刻变化, 使人类与农业生产之间已建立起来的相互适应关系受到显著影响和扰动, 因此全球气候变化特别是气候变化问题得到各国政府与公众的极大关注。

## 1.2 研究目的与意义

气候变暖影响着人类生活和生产的各个方面, 其中农业作为对气候变化反映敏感, 一直受到较多的关注。特别是近 20 年来, 气候的急剧变化对农业的影响尤为显著。气候变暖使全球大气环流、气候带、洋流、气温等气候因子出现明显的变化, 从而对全球生态系统和农业生产产生重大深远的影响。最新的研究表明, 气候变化将对中国的农业产生重大影响, 如果不采取任何措施, 到 2030 年, 中国种植业生产能力在总体上可能会下降 5%-10%, 其中春小麦、水稻和玉米三大作物均以减产为主<sup>[6]</sup>。农作物的产量受到多方面因素的影响。因此, 农作物的实际产量可看作是农业生产技术、品种特性、土壤、肥料与气候条件的综合作用结果。如果农产品种、农业技术、土壤肥料等都处于最有利的状态, 气候便成为决定一个地区农作物产量高的主要因素。对农业生产而言, 气候变化通过改变农作物生长发育过程中光照、热量、水分, 以及光热和水分的匹配状况影响其生产力。大量的观测和研究表明, 由于我国北方地区升温明显, 而降水量减少或升温引起的耗水量增加幅度大于降水量增加的幅度; 在上世纪后半叶, 我国东经 100° “以东的黄土高原和黄淮海地区, 半干旱区和半湿润区的分界线, 不断波动向东向南推进, 半干旱地区面积不断扩大而半湿润地区面积逐渐缩小<sup>[7]</sup>。气候变暖, 土壤有机质的微生物分解将加快, 造成地力下降。作物生长季延长, 昆虫在春、夏、秋三季繁衍的代数将增加。温度高还为各种杂草的生长提供了优越的条件。气候的变化, 往往是制约地区经济发展, 特别是农业发展的重要因素, 尤其在全球气候变暖的情况下, 充分认识和掌握气候变

化规律，科学合理利用气候资源，对发展农业经济，构建和谐的社会主义新农村是十分重要的。

位于我国西北地区新疆维吾尔自治区西南部的喀什市，是我国著名旅游城市，该市地形复杂、气候干燥、光照充足、温度相对偏低、一年一熟，降水少且年内分配不均的气候特点。在全球气候变化的背景下及其为了加快经济发展和城市化的进一步扩展，过度开采乱砍树木，加重了水流污染、生态环境的破坏，严重地影响了该区域的气候变化。近年来，气温升高、降水增多，生态环境造成了相应的影响。了解喀什市的气候变化特征，对于农业的合理布局，提供可靠的农业气候信息，为农业现代化建设的总体规划提供科学依据。由于不合理的人类活动的增多，气候也在持续变化，由此引发的极端天气气候事件对经济社会发展、人民生活的影响越来越严重，气候变化对人类生存、生活和生产的影响是长期而深远的，气候评价和气候变化研究意义重大<sup>[8]</sup>。

本文研究目的有二：一是提取喀什市气象站近 30 年的气温、降水量、日照时数和其他气象要素的资料。然后根据这些资料，用气候倾向率、趋势线分析、滑动平均法、突变分析法，研究喀什市近几年来年代、年际及季节的变化趋势；二是利用确定好的模型研究喀什市过去 30 年气候变化及喀什市农业生产的影响，掌握该市农业气候特征。

### 1.3 研究现状

#### 1.3.1 国外气候研究现状

1979 年在瑞士日内瓦召开的第一次世界气候大会上，气候变化首次作为一个引起国际社会关注的问题提上议程。随后，气候变化为越来越多的国家所重视，其带来的不利影响和灾害已严重威胁到了人类的生存和环境的永续发展。最近的两千年是全球变化研究的 IGBP.PAGES 研究的目标时段之一，而它获取的高分辨率的气候记录及有关气候变化的研究结论则更为 CLIVER 等研究计划所注重。1990 年，在日内瓦又召开了第二届世界气候大会，与会专家们一致认为，全球气候变暖与比过去任何灾害都更严重。第三次评估报告（TAR）选用了 Jones 等(2001、2003)的分析结果，并与 Peterson 及 Vose (1997)、Hansen 等 (1999) 以及 Vinnikov(1990)等的结果进行了对比，也同样具有很多方面的一致性<sup>[9]</sup>。

1990、1995、2001 和 2007 年，IPCC 相继完成了四次评估报告。这四次评估报告已经成为人们了解国际上气候研究进展的一个有力依据。第四次评估报告主要包括，对近 100 年温度和降水变化的核实和订正，大气成风和辐射强度的变化，区域尺度，如热带和中高纬度气候变化，台风（飓风）与气候，气

溶胶含量与气候变化,气候模式的精度与对气候变化模拟的预估以及气候突变、极端事件等方面<sup>[10]</sup>。

1979 年的第一次世界气候大会(主要由科学家参加)提出:如果大气中的 CO<sub>2</sub> 含量不断地增加,到 20 世纪后期气温将会达到可测量的程度,到 21 世纪中期气温普遍升高。1990 年 11 月,IPCC 第二次评估报告通过了《部长宣言》和《科学技术会议声明》,预测有些经济上有效、技术上可行的方法,可提供各国减少 CO<sub>2</sub> 的浓度,并定出气候变化公约的问题。1992 年 6 月,联合国环境发展大会期间,153 个国家和地区签署了《联合国气候变化框架公约》。1994 年 3 月,此公约正式生效。1995 年 3 月公约缔约方第一次大会在德国柏林召开。到 2001 年 12 月时,187 个国家和地区一体化组织成为缔约方。到 1997 年 12 月,在日本京都召开的第三次缔约方大会上,通过了《京都议定书》为发达国家规定了减少排放温室气体的重大义务。一些国际组织和发达国家推出了减排技术应对方案。如美国能源部提出了“未来电力”和“21 世纪远景”计划,力图大幅度提高发电效率和降低二氧化碳排放<sup>[11]</sup>。

有关研究指出,近百年来全球陆地降水大约增加了 2%,但全球降水的地域性差异很明显。即北半球中高纬度地区降水的增加较显著,尤其是在 30°N~85°N 陆地降水量增加到 7%-12%左右,并以秋季和冬季为主。20 世纪,北美洲北部和中部地区降水量增加 5%-10%左右;欧洲北部降水量在 20 世纪后半期以来有明显的增加趋势;南半球 0°~55°S 大陆地区降水量只增加了 2%,其中非洲的北部有显著减少趋势,进一步加剧了该地区的干旱状况<sup>[12]</sup>。

1988 年 11 月,联合国环境规划署和世界气象组织创建了“政府间气候变化专门委员会”,主要职责是定期对气候变化科学知识和气候变化的现状,对社会和经济发展产生的影响,减缓和适应气候变化的对策进行评估,为各国家的政府和社会提供科学信息。它不仅影响了《联合国气候变化框架公约》及《京都议定书》的顺利实行,并在水资源短缺、荒漠化加强等国际环境公约方面起着很大的作用。全球气候变暖比过去任何灾害都更加严重。据联合国统计,因极端天气频发,上世纪 90 年代的 10 年间,导致 20 多万人死亡,财产损失达上千亿美元<sup>[13]</sup>。

### 1.3.2 国内气候研究现状

我国对气候变化问题一直非常重视。但是总体来看,目前为止国内对于减缓和适应气候变化的影响问题还未完善。因此,我国需要政府深入探讨气候变化对我国生态系统和国民经济部门的影响、应采取适应的减缓措施,并在适应与减缓气候变化影响的问题上提出规划和行动计划。

利用气象仪器对气候变化进行观测和检测,其测量结果是各种因素影响的

综合效果。即利用气象仪器进行观测,不能区分气候的自然变化或由于人类活动造成的气候变化。气候模式的种类繁多,全球气候系统模式是,目前比较广泛使用的气候模式,它主要包括全球海洋环流模式、全球大气环流模式、陆地-生物圈模式、河流湖泊模式、海冰模式、雪模式、大气和海洋的化学模式等。IPCC 第一工作组几次科学评估报告里所选用的各国家的气候模式特征。对气候模式的评估研究表明,气候模式有较好地模拟全球和大的空间尺度气候变化的能力,对于较小的空间尺度气候模式的模拟能力较低,需要通过采用各种降尺度方法,如高分变率区域气候模式等,来提高模拟能力。

不少科研工作者根据观测记录或代用气候资料等分析了不同时间尺度的突变现象<sup>[14,15]</sup>。相应的研究表明,20 世纪近百年全球、东亚和中国都明显变暖,其中东亚变暖最明显,为  $0.84^{\circ}\text{C}/100\text{a}$ ,其次是全球,  $0.65^{\circ}\text{C}/100\text{a}$ ,中国变暖最小,只有  $0.40^{\circ}\text{C}/100\text{a}$ 。三个地区都有明显的相关,达到 95% 信度水平。和气温相比,近百年降水量的变化没有明显的趋势,全球、东亚和中国降水量都是略有增加,三个区域降水量之间也有较为明显的相关,也达到 95% 信度水平。近百年中国变暖,其各个区域的线性变化趋势可以注意到,在各区中,东北、新疆明显变暖,分别是  $1.48^{\circ}\text{C}$ 、 $1.20^{\circ}\text{C}$ 。近 30 年(1971-2000 年)相对于气候标准时段(1961~1990 年)的距平,发现近三十年中国各区明显变暖,其中东北、华北和西北变暖在  $0.3^{\circ}\text{C}$  以上。田红<sup>[16]</sup>和龚敬瑜<sup>[17]</sup>对我国江淮流域气候变化进行研究,发现近 50a 来江淮流域气候变化的主要特征是气候变暖,与全国变暖的趋势一致;降水呈不显著的增一长趋势温度在 1986 年前后发生了一次突变,降水在 1968 年前后发生了一次突变。无论是温度还是降水,突变后均比突变前有所增加。

王绍武最近对中国气候的研究表明,在近 1200 年(800-2000 年)中,以每 50 年为一代,用 1880-1979 年的 100 年作为气候标准时段,发现 20 世纪近百年在 1200 年中是最暖的百年,尤其前 50 年中国气候变化的主要特点是大范围的明显变暖,这一特点在我国东部、西部和全国都是一致的。计算的线性趋势表明,近 50 年的变暖中,最低温度的变暖贡献最大,高达  $1.41^{\circ}\text{C}/50\text{a}$ ,最高温度变暖幅度较小,但是也有  $0.45^{\circ}\text{C}/50\text{a}$ 。因此,相应冬季变暖,寒冷期缩短;夏季变热,炎热期延长。这种变化的特征同样在近 50 年中国气温变化的地理分布中可以看到,增温明显的台站集中在我国北方大部分地区。西部年降水日数 50 年增加 5%-10%,增加明显;而另一方面注意到,我国西北地区 50 年增加 10%-15%。唐国利<sup>[18]</sup>得出从 1905 年以来我国地表平均温度的增温速率约为  $0.08^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ,而且气温的增温主要发生在冬季和秋季,夏季气温则有下降的趋势。

### 1.3.3 西北地区气候研究现状

20 世纪 90 年代,我国不同区域出现的严重旱涝和其它的极端气候事件引起国内科学家的高度关注,同时国内许多科学家对我国西北地区各省区和不同季节的气候变化特征进行了研究。

对西北地区的进一步研究表明,西北地区是我国温度不对称性变化幅度最大的地区之一。近 50 年西北干旱区气候变暖,其中变暖显著地是北疆和柴达木盆地。有关研究指出中国西北部的气候变化可能标志着由“变干型”向“变湿型”的转变,并推测这种转型可能是世纪尺度上的气候波动<sup>[19]</sup>。降水量有增加趋势,其中南疆降水量增加趋势最大<sup>[20]</sup>。于淑秋等<sup>[21]</sup>研究我国西北近 50 年发生了一次明显的气候跃变,比全球气候跃变晚 6-8a,跃变后比跃变前全区平均温度上升 0.51℃;对于西北地区气候变暖而言,众多研究<sup>[22]</sup>都得出冬季的变暖幅度最大,对西北干旱区的气温升高贡献最大,而极端最低温度和极端最高温度的天数,前者在减少,后者略有增加,年均极端最低温度有增加趋势,相反年均极端最高温度则略有减少的趋势;张家宝等<sup>[23]</sup>对北疆、天山山区和南疆平均气温突变的研究表明,北疆年平均气温在 1960 年发生了由低向高的突变,秋季和冬季平均气温分别在 1970 年和 1979 年发生了由高向低的突变;南疆年和冬季平均气温分别在 1978 年和 1979 年发生了由高向低的突变;李栋梁,魏丽等<sup>[24]</sup>发现,西北的西部地区,西北的东部地区虽说气温在升高,但是降水量并没有增加,因此有向暖干变化的趋势;于淑秋,林学椿等<sup>[25]</sup>指出西北地区的气候在 1986 年附近出现了一次明显的突变;任朝霞等<sup>[26]</sup>也指出,西北地区的气温在 1986 年之后有明显的增高现象;翟盘茂等<sup>[27]</sup>指出,中国西部降水量增长趋势明显,其中以西北为最,而西南一些地区有减少趋势;朱西德等<sup>[28]</sup>对青藏高原年降水量的时空分布特征及其异常进行了分析。结果表明:年降水量的时间变化在缓慢减少的过程中于 1982 年和 1995 年发生了 2 次突变,并经历了减少、增多和再次减少的 3 个变化阶段;刘引鸽<sup>[29]</sup>研究发现,陕北黄土高原近 51 年降水总体呈减少趋势;符娇兰等<sup>[30]</sup>经过研究也得出我国西北地区的气温都是升高的,而降水在西北的西部和东部明显不同,西北西部降水量呈现增加趋势,东部的降水量则是减少的趋势。而西北地区的降水量的变化有一定的规律,存在着一定的周期;其它地区由于深处大陆内部,因此降水很少。

#### 1.3.4 疆内气候研究现状

大量研究表明,全球平均温度近百年来升高了 0.4-0.8℃。我国西部地区的气温近 50a 以 0.2℃/10a 的趋势升温。其中,新疆在 1956~2001 年间,线性增温率达 0.37℃/10a,明显高于中国西部地区平均增温速率。特别是 20 世纪 80 年代以来,新疆年平均气温出现了以正值距平为主的阶段<sup>[31]</sup>。袁玉江<sup>[32]</sup>的研究表明:新疆年降水量平均增幅 0.67mm/10a,但增幅的强弱在地区分布上又各有

差异,他还采用了新疆 1959-1998 年的秋季气温、降水量资料,得出对天山山区近 40 年来秋季气候变化的特征即:天山山区秋季温度在冷暖变化阶段与北疆相似,但在干湿变化阶段上与南、北疆不同;温度在空间分布上北疆比南疆好,天山山区居中。而降水的空间分布的同步变化性以南疆最好,天山山区最差,北疆居中。20 世纪 60-90 年代,天山山区气温波动上升,而南疆和北疆持续增温趋势,尤其是 90 年代温度最突出。

近年来,新疆地区的气候状况受到越来越多学者和专家的关注,胡汝骥<sup>[33]</sup>等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:变暖速度渐缓,增湿势头不减。张家宝等<sup>[34]</sup>对北疆、天山山区和南疆平均气温突变的研究表明,北疆年平均气温在 1960 年发生了由低向高的突变,秋季和冬季平均气温分别在 1970 年和 1979 年发生了由高向低的突变;南疆年和冬季平均气温分别在 1978 年和 1979 年发生了由高向低的突变。南疆地区平均降水量年际变化整体呈增加趋势。异常分析中,降水量异常主要表现为降水异常偏多、显著偏多、偏多、偏少的情况,且降水量显著偏少只有 1961、1966、1971 年的 6 月存在,没有出现异常偏少的情况,年平均降水量偏多期主要在 80 年代后期后,偏少期主要在 1980 年前<sup>[35]</sup>。

#### 1.4 本文拟研究解决的问题

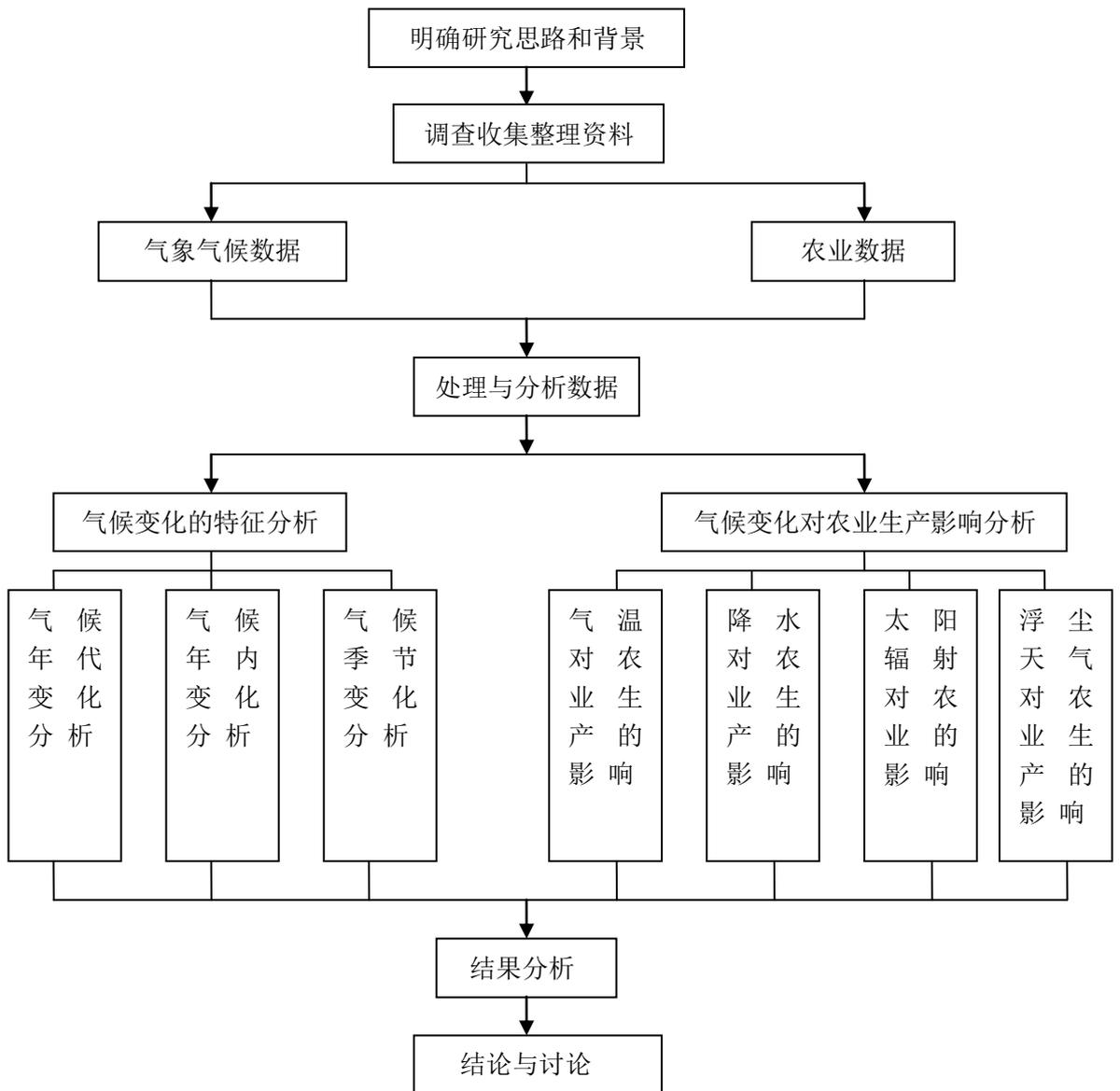
20 世纪后期开始,各国专家已经开始关注气候变化的问题。因此,专家从对中国以及西北地区的气候变化规律作了很多研究,并取得了很多研究结果,但是针对某一小区域气候变化的研究还不够全面。近年来,喀什市气温逐步升高,降水减少,干旱更加严重,给当地经济发展和生态环境造成了巨大影响。本文选择喀什市的气候变化特征作为研究对象,采用该地区观测站气象资料,采用气候倾向率、趋势线分析、突变分析法来对该市气温、降水量、日照、沙尘日数等气象要素进行研究,分析该市不同时段的气候趋势和区别特点;一方面对气候的变化进行分析,另一方面对喀什市农业生产概况与受气候变化的影响进行研究,可以详细地了解喀什市气候变化对种植熟制、农作物产量、品种、农业气象灾害的影响及其在气候变化背景下,为喀什市提供了一些农业适宜性参考对策和措施。

#### 1.5 本文主要研究内容

根据喀什市气象观测站 1981-2010 年的气象资料,拟对喀什市冷暖变化特

征进行分析，主要对喀什市 30 年来的气候变化特点进行了较为深入的统计、分析，主要是统计分析了喀什市近 30 年的年代、年际、季节的平均气温；其次从降水量年代、年际、季节等方面的数据来分析了近 30 年来喀什市的降水变化特征；对喀什市其它气候要素如日照时数、蒸发量、浮尘日数、雷暴日数和沙尘暴日数等的变化特征进行了分析并指出其变化趋势。最后对喀什市近 30 年来的气候变化特征，结合喀什市农业生产的实际状况，分析了气候变化对当地农业生产、发展生产的影响评估，并对所产生的影响的适应策略进行探讨。

## 1.6 研究思路与技术路线图



## 2 研究区概况与方法

### 2.1 自然地理概况

#### 2.1.1 地理位置与行政区划

喀什市位于新疆维吾尔自治区的西南部,塔里木盆地西部,是连接南北疆的交通要道,是南疆农牧产品最大集散地。喀什市,古代曾是古丝绸之路的必经之地,如今又是新丝绸之路的必经地。314 国道(吐鲁番至巴基斯坦苏斯特)和 315 国道(西宁至吐尔尕特口岸)在此交会。由此向西经吐尔尕特口岸,向南经红其拉甫口岸,可以通往中亚,南亚各地。喀什市已成为中国通往巴基斯坦、吉尔吉斯斯坦、哈萨克斯坦国际交通线路上的重要交通枢纽。处于克孜勒河中游,中亚腹地。东北距乌鲁木齐市 1473 千米。市境东西部均与疏附县接壤,北倚古玛塔格山与克孜勒苏柯尔克孜自治州的阿图什市毗邻,南隔克孜勒河与疏勒县相望。境域东西最宽处 44.3 千米,越东经  $75^{\circ}56'10''\sim 76^{\circ}04'36''$ ;南北最长处 22 千米,跨北纬  $39^{\circ}25'18''\sim 39^{\circ}35'20''$ ,总面积 554.8 平方千米,其中城区面



图 1.1 喀什市行政区划图

积 30.2 平方千米。辖 8 个乡：乃则尔巴格乡、夏马勒巴格乡、多来特巴格乡、浩罕乡、色满乡、荒地乡、伯什克然木乡、帕哈太克里乡。2 个镇、4 个街道办事处：吾斯塘博依街道、亚瓦格街道、恰萨街道、库木代尔瓦扎街道。

### 2.1.2 地貌条件

喀什市是新疆最古老的绿洲之一喀什绿洲的一部分，地貌形态以冲积平原为主，除北部靠古玛塔格山以外，中部、东部是属克孜勒河和吐曼河形成的冲积平原。由于受大地形的控制，构成外形轮廓具三角洲顶部的特征。造成该地区地形地貌特点的因素有两点：其一、随着山区冰川活动及水流的作用，河流从山区冲刷携带大量的岩石风化物，形成极厚的第四纪覆盖物。其二、该区域河流改道频繁，对洪积扇和冲积平原的第四纪疏松地层不断产生新的冲刷和侵蚀。在城市中心区的南部有克孜勒河、北部及东部有吐曼河环绕，两河蜿蜒曲折，水流平缓。两岸均分布着两级阶地及宽窄不等的河浸滩，阶地陡峭，河谷低洼，一般高差达 10m 左右。克孜勒河的阶地北岸高于南岸，吐曼河北岸低于南岸。整个地势北高南低，海拔最高点 1515m，最低点 1260m，形成由西北向东南倾斜的平原。城市中心区平均海拔 1285m；农业区多集中于海拔 1250-1350m 之间的区域。

### 2.1.3 气候特点

喀什市深处大陆腹地，远离海洋，属暖温带大陆性干旱气候，四季分明，夏长冬短，夏无酷热，冬无严寒，年平均气温 11.7℃。1 月份最冷，平均气温 -6.5℃，极端最低气温 -24.4℃；7 月份最热，月平均气温 25.9℃，极端最高气温 49.1℃；年无霜期约 224d。喀什市降水量少，年平均降水量为 71.4 mm，年蒸发量高达 2633 mm。降水量的年际变化很大，最多年份达 191.6 mm（2010 年），最少年份只有 16.2 mm（1994 年）。降水量的四季变化显著，降水集中在春夏两季，约占年降水量的 70%。年日照 2652h，年积温 4702℃。多西北风，平均风速为 25m/s，瞬时特大风速 35m/s。年平均沙暴日 10.2d，扬沙日 25.6d。主要灾害性天气有干旱、大风、沙尘暴、干热风等。光热水土资源条件得天独厚，适宜于各类农作物、果树和经济作物的生长。

### 2.1.4 土壤和植被

喀什市土壤可划分为 7 个类：灌淤土、潮土、水稻土、棕漠土、草甸土、盐土、风沙土。成土母质主要来源于西部天山、帕米尔山系的岩石风化物及覆盖于山谷表层的红色泥岩、页岩及黄土。经径流侵蚀搬运作用和地带性沉积，成土母质基本上有：冲积母质、灌淤母质、洪积母质和坡积—残积母质。土壤

形成主要受灌溉耕作、地貌母质、水文地质、气候等条件的影响。因此，土壤分布也受成土因素的制约，随着地貌地形部位、水文地质条件的变化而构成规律性的分布，大致呈平行等高的东西向的带状和毛状。土壤养分总的状况是，有机质含量低，缺磷、少氧，钾有余，有机质含量由于荒漠气候的影响，矿质化强烈，积累少，平均含量为 1.06%，含量变幅在 0.51-1.37% 之间。全市农区速效氮、磷的含量较低，而钾的含量十分丰富。

喀什市属地带性荒漠植被区。在干旱的大陆性气候生态环境条件下，形成了平原区植被。在不同的土壤类型上，分布着与局部环境相适应的各种植被类型。如荒漠植被，草甸植被，沙生植被和农田植被。

### 2.1.5 河流水系

喀什市水系受地形地貌、地域降水影响，各河系的源头都位于冰川、山区积雪带，随着山区水分的融冻而使各河的年内枯洪变化明显。各河都为融补型河流。市区南部穿过的克孜勒河，主要由冰川融雪、积雨和泉水汇聚而形成的，北岸高、南岸低。喀什市处于克孜勒河冲积平原。市区南部的克孜勒河，境内流长 14 km，年径流量 20.59 亿 m<sup>3</sup>；而从市区由西向东横贯市区的吐曼河以泉水为主而形成的，境内流长 39 km，年径流量 1.26 亿 m<sup>3</sup>，城市中心区位于吐曼河以南，克孜勒河以北的高埠之上。

### 2.1.6 自然资源

喀什市自然资源主要有土地、水、矿产以及旅游资源等。市域及郊区大部分的工程地质条件较好，土地允许承载力在 10 吨每平方米以上，适于修建高层建筑。农区灌溉水源几乎完全依赖于高山冰川融雪和山间雨水补给的河水及地下水。地表水主要利用克孜勒河和吐曼河两条河水。地下水水质好，水源丰富，可供灌溉和生活饮水。有天然气、玉石、铜、铁等矿产资源 63 种，石膏储量居全国前茅，蛇纹岩储量居全国第三位。主要旅游景点（区）有莫尔佛塔、高台民居、阿帕克霍加陵园、玉素甫·哈斯·哈吉甫陵园、艾提尕尔清真寺等。

### 2.1.7 主要自然灾害

喀什市多发灾害主要有地震、缺水、旱灾、沙尘暴和霜冻等。喀什市地处天山南麓地震带和西昆仑山地震带的交汇部位，市境地震活动较弱，震级小，但受乌恰、阿图什、西克尔、巴楚等多震区的影响较大。根据近代地震区域地质构造特征，喀什市基本地震烈度为 7-8 级，平均每年有 4-5 级地震有 30 次。喀什市河水的季节分配与农业生产不大协调，夏季有余，春秋季节缺水。河水径

流少, 3-5 月可供农田净灌溉水量仅为 82.9-287.4 万  $\text{m}^3$ , 只能灌溉 2.8-3.9 万亩, 尚有 0.8-1.3 万亩缺水, 故每年都有不同程度的旱灾发生。旱情多发生在 3-5 月及 9 月。喀什市大风、沙尘暴日数多, 大风每年平均 23.2d, 最多可达 36d, 北部地区达 55d 以上。大风季节约为 3-9 月, 多发为 4-7 月, 其中 5-6 月最多, 占全年大风日数的 70% 以上。在春秋两季的温暖时期, 由于冷空气入侵, 常出现霜冻现象。秋季出现的早霜主要危害喜温作物, 如棉花、蔬菜、果树等。喀什市冰雹发生不多, 年平均不足一次, 全年冰雹日数平均 0.6d, 最多 3d。

## 2.2 社会经济概况

### 2.2.1 人口及经济状况

喀什市是祖国西部的边陲城市, 是古丝绸之路上的商埠重镇, 历史悠久, 文化璀璨, 民俗浓郁, 资源丰富, 有文字记载的历史已有 2100 多年。解放初期, 喀什物资匮乏, 物价飞涨, 金融市场相当混乱, 城乡物资流通不畅, 通货膨胀十分严重, 人民生活十分贫困; 城区面积不足  $3 \text{ km}^2$ , 人口不到 5 万人, 狭窄的土路尘土飞扬, 雨雪天四处泥泞, 人们生活和生产水平落后, 各种矛盾十分突出。1949 年 12 月 1 日, 喀什解放, 喀什的历史解开了新的一页。从此, 喀什从封闭步入开放, 从落后迈向进步, 从贫穷走向富裕奠定了坚实的基础。喀什市是喀什地区行政公署驻地, 南疆的农牧产品和工业产品最大集散地。东西方交通的咽喉枢纽和东西方经济文化和文明的重要交汇点。喀什市有维吾尔、汉族、塔吉克、回族, 柯尔克孜等 20 个民族, 其中维吾尔族人口占 75%。截止 2010 年底, 人口约为 46.9 万人, 占喀什地区总人口的 11.7%。喀什市农业人口约为 19.43 万人, 占喀什市总人口 41.37%, 非农业人口约为 27.5 万人, 占喀什市总人口的 58.6%。

### 2.2.2 经济概况

随着国家对西部大开发的深入实施, 特别是对新疆的发展, 施行了一系列优惠政策。这些政策有利地支持和促进了喀什市国民经济的迅速发展。至 2010 年该市实现国内生产总值 (GDP) 77.47 亿元, 比 2000 年的 11.8 亿元增长了 6.6 倍。人均国内生产总值 14645 元, 比 2000 年的 3636 元增长 4.1 倍。2010 年的 GDP 中第一产业产值 3.9 亿元, 第二产业产值 19.7 亿元, 第三产业产值 53.9 亿元, 三次产业之比为 1.3:6.6:18, 产业结构进一步优化。

### 2.2.3 农业生产概况

远古时期, 今日的喀什噶尔平原就是塔里木盆地的一大绿洲。肥沃的土地,

充足的灌溉水源，适宜的自然气候，形成了喀什市悠久的农业历史。喀什市农业可划分为 4 个农业区和 1 个片区，即：北部山前坡地开发区、中南部平原蔬菜园艺副食品区、两河滩地水产水稻区、城市绿化区以及沙衣苏鲁克园林片区。2010 年农民人均收入 5185 元，比上年增加 1778 元。全市种植业收入达 4.45 万元。2010 年粮食播种面积达 12428.5 公顷万亩；小麦播种面积达 7470.5 公顷；玉米播种面积达 3430.4 公顷，蔬菜播种面积达 6579.4 公顷。2010 年林果总面积达 5976 公顷，其中，杏子园面积约 878 公顷、葡萄园面积 2358 公顷、石榴园面积为 1427 公顷、红枣面积达 1018 公顷。

喀什市物产丰富，盛产甜瓜、西瓜、葡萄、石榴、无花果、巴旦木、桃、杏、梨、苹果、酸梅等瓜果，瓜果含糖量高、口感好、产量高，是新疆重要的果品生产基地，素有“瓜果之乡”的美誉。本区独特的气候条件，适宜多种瓜果生产，我国北方栽培的大部分蔬菜都适宜于本区种植，农产品自给有余，还销往其它地区。小麦、玉米、高粱、水稻在此均有上千年的种植历史<sup>[37]</sup>。

### 2.2.4 工业概况

喀什自古以来就以手工业发达著称。20 世纪 30 年代以前，喀什市除了私人手工作坊外，没有什么现代工业。1949 年 11 月底，中国人民解放军一兵团二军到达喀什后，白手起家，先后创办了一批现代工业企业。1955 年 3 月，为贯彻执行中央提出的大力支持地方工业建设的精神，地方政府对这些企业进行了扩建。从此，喀什市的工业迅速发达。由于受金融危机蔓延和工业品价格下降等不利因素的影响，全市工业经济主要指标虽呈增长态势，但增速放缓。2010 年，工业总产值达 29236.5 万元。规模以上工业增长 13.6%。其中，轻工业增长 14.9%，重工业增长 13.0%。全部工业增长值 2105 亿元，比上年增长 13.5%，工业品出厂价格上涨 25.3%，其中，轻工业上涨 8.9%，重工业上涨 28.7%。

## 2.3 有关数据与资料

(1) 文中所采用的气象数据来自喀什市气象观测站提供的，在 1981-2010 年间的历史逐月的气温和降水等气象数据。

气温资料方面：在年代划分上，采用每 10 年作为一个年代，其中 1981-1990 年为 80 年代、1991-2000 年为 90 年代，2001-2010 年作为 21 世纪前 10 年；在各季节的划分时，以 3-5 月的平均气温代表春季、6-8 月代表夏季、9-11 月代表秋季、12 月-次年的 2 月为冬季，以突出各季节典型变化特征。

降水资料方面：在年代的划分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

看作当年春季的降水量, 6-8 月之和则代表夏季的降水量, 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冬季的降水量。计算气温、降水等距平用的平均值以 1981-2010 年 30 年间气象要素的平均值作为气候平均值。

(2) 气象资料主要包括 1981-2010 年喀什市气象观测站的逐月平均气温、平均最高气温、平均最低气温、降水量、日照时数、浮尘日数、沙尘暴日数、扬沙日数、大风日数等并绘出各气候要素的变化趋势图。资料来源于喀什市气象局气象整编资料。

(3) 农业资料: 主要来源于喀什市农业局和统计局, 喀什市的历年统计年鉴。本文只对喀什市近十年(2001 年-2010 年) 农业产量进行趋势性分析。

## 2.4 研究方法

### (1) 距平和累积距平

距平是指某一系列数值中的某一数值与平均值的差额, 分正距平和负距平。在气象的应用上, 主要是用来确定某个时段或时次的气象数据, 相对于该数据的某个长期平均值(如 30 年平均值)的高低, 而原始值通常用来反映某个时段的真实水平。

气候要素的距平百分率是指表示某个气候要素在某一时段相对平均数值变率的大小, 距平百分率的大小反映了某一时段降水与同期平均状态的变化程度, 其计算公式为:

$$p_i = \frac{x_i - \bar{x}}{\bar{x}} \times 100\% \quad (i=1, 2, 3 \cdots n) \quad (2.1)$$

式中,  $n$  表示时间序列长度,  $x_i$  为第  $i$  个时间段的降水量值,  $\bar{x}$  为  $n$  年(月)降水量的平均值。

累积距平是由用曲线来直观判断气象要素变化趋势的一种方法。气象要素在某一时间  $t$  的累积距平表示为:

$$x_t = \sum_{i=1}^t (x_i - \bar{x}) \quad (t=1, 2, \dots, n) \quad (2.2)$$

$$\text{其中 } \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i,$$

将  $n$  个时间内的累积距平值算出来, 可以绘出累积距平的演变曲线并能进行趋势分析。累积距平曲线比较直观, 从中可知, 曲线明显的上下波动并可以判断气象要素在某一时刻的演变趋势及可确定气候跃变点和跃变区间。从曲线波动变化可以考察其短期的距平值变化。

## (2) 气候倾向率分析

线性趋势分析是一种常用的分析气候变化趋势统计方法，它可以显示出较长时间尺度内某个气候要素变量的上升或下降趋势。线性倾向率  $a$ ，可以用最小二乘法来进行估计。假设某个气象要素时间序列为：

$$y_1, y_2, y_3 \cdots y_n \quad (2.3)$$

那么它可以用一个多项式来表示：

$$\hat{Y}(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + \cdots + a_p t^p \quad (p < n) \quad (2.4)$$

在式 (2.4) 中  $t$  为时间，单位则为  $a_0$  温度的气候趋势一般可以应用一次直线方程或二次曲线来解决，本文用一次直线方程来描述。即

$$\hat{Y}(t) = a_0 + a_1 t \quad (2.5)$$

其趋势变化率方程为：

$$d\hat{y}(t)/dt = a_1 \quad (2.6)$$

通常把  $a_1 \times 10$  称作气象倾向率，单位为  $^{\circ}\text{C}$  或  $\text{mm}$ 、 $\text{h} / 10\text{a}$ 。

## (3) 气候突变研究方法

气候突变是指从一个平均值状态到另一个平均值状态的急剧变化。它表现为气候在时空上从一个统计特性到另一个统计特性的急剧变化。

## ① Mann-Kendall 法

Mann-Kendall 法是非参数统计检验方法，又称无分布检验，其优点是不需要样本遵从一定的分布，也不受少数异常值的干扰。

设气候序列  $x_1, x_2, \dots, x_N, m_j$  表示第  $i$  个样本  $x_i > x_j (1 \leq j \leq i)$  的累计数，定义统计量：

$$d_k = \sum_{i=1}^k m_i \quad (2.7)$$

在时间序列随机独立的假定下， $d_k$  的均值和方差分别为：

$$E[d_k] = k(k-1)/4 \quad (2.8)$$

$$\text{var}[d_k] = k(k-1)(2k+5)/72 \quad 2 \leq k \leq N \quad (2.9)$$

$$\text{将 } d_k \text{ 标准化: } UF_k = (d_k - E[d_k]) / \sqrt{\text{var}[d_k]} \quad (2.10)$$

给定显著性水平  $\alpha$ ，若  $|UF_k| > U_\alpha$ ，则表明序列存在明显的趋势变化。所有  $u$  可组成一条线。将此方法引用到反序列， $\bar{m}_i$  表示第  $i$  个样本  $x_i$  大于  $x_j (i \leq j \leq N)$  的累计数。

当  $i' = N+1-i$ ， $\bar{m}_i = m_{i'}$ ，则反序列的  $\bar{u}(d_i)$  由下式给出： $UB_k = -UK_k$ ，

$$i' = N + 1 - i \quad i, i' = 1, 2, \dots, N \quad (2.11)$$

注：把反序列  $x_N, x_{N-1}, \dots, x_1$  表示为  $x'_1, x'_2, \dots, x'_N$ 。

画出  $UF_k$  和  $UB_k$  曲线，如果两条曲线的交叉点在临界值线之间，这点便是突变点的开始。可以有多个交点，超出了信度的交点可通过与实际曲线相比较来确定是否突变点（显著性水平  $\alpha = 0.05$ ，临界值  $u_{0.05} = \pm 1.96$ ； $\alpha = 0.01$ ，临界值  $u_{0.01} = \pm 2.56$ ）。

### ② Yamamoto 法

Yamamoto 方法是用检验两个子序列均值的差异是否显著来判别突变。对于随机样本的时间序列  $x$ ，人为设定某一时刻为基准点，即分成两个子序列  $x_1$  和  $x_2$ ，均值为  $\bar{x}_1$  和  $\bar{x}_2$ ，标准差为  $s_1$  和  $s_2$ ，定义信噪为：

$$SNR = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{s_1 + s_2} \quad (2.12)$$

公式含义是，两个子序列得出来的值为气候变化信号，其发生变率则视为噪声。若信噪比 SNR 的值大于 1，则认为有突变发生，若 SNR 大于 2，则认为有强突变发生。

### ③ 滑动 t 检验

采用滑动 t 检验方法来考察两组样本平均值得差异是否显著。对于具有  $n$  个随机样本的时间序列为  $X$ ，即分成两个子序列  $X_1$  和  $X_2$  是  $n_1$  和  $n_2$  的样本， $\bar{x}_1$ 、 $\bar{x}_2$  分别为两个子序列平均值， $S_1^2$  和  $S_2^2$  为方差。统计量：

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{s \cdot \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \quad (2.13)$$

$$s = \sqrt{\frac{n_1 S_1^2 + n_2 S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}} \quad (2.14)$$

(2.13) 式遵从自由度为  $n_1 + n_2 - 2$  的  $t$  分布。

### 3 喀什市气温变化特征

#### 3.1 气温变化

##### 3.1.1 气温的年代际变化

从表 3-1 可以看出, 喀什市不同年代的气温变化情况。分别统计了 20 世纪 80 年代、90 年代和 21 世纪前 10 年的平均气温、平均最高气温、平均最低气温, 并把 1981-2010 年的平均气温为参照, 分析了不同年代的变化特征。

表 3-1 喀什市各年代平均气温 /°C

年代	1981-1990	1991-2000	2001-2010	1981-2010
平均最高气温/°C	12	13	14	14
平均最低气温/°C	11.2	11	12.7	11
平均气温/°C	11.8	11.9	13.2	12.3
增减率(%)		0.84	10.9	

从表 3-1 进行对比分析可知, 喀什市 20 世纪 80 年代为年平均气温最低时期, 气温低于 30 年平均气温, 年平均最低气温出现在 1984 年, 11.2°C; 年平均最高气温出现在 1982 年, 为 12.0°C。平均最低气温与平均最高气温相差 34.1°C, 从趋势上没有很大的变化。90 年代气温略有上升趋势, 但还是低于 30 年平均气温。90 年代以后气温逐渐升高, 到 21 世纪前 10 年气温突变, 比 80 年代平均气温增加了 1.4°C, 高出平均气温 10.9%。平均最高气温出现在 2007 年为 29.9°C, 比 80 年代平均最高气温高于 7.0°C。总之, 各个年代平均气温总体呈上升趋势。

##### 3.1.2 气温的年变化

根据喀什市 30 年的气温资料, 由 1981-2010 年的平均气温曲线图(3-1(a))可以看出, 年平均气温整体呈上升趋势。多年平均气温为 12.3°C。年均最高点

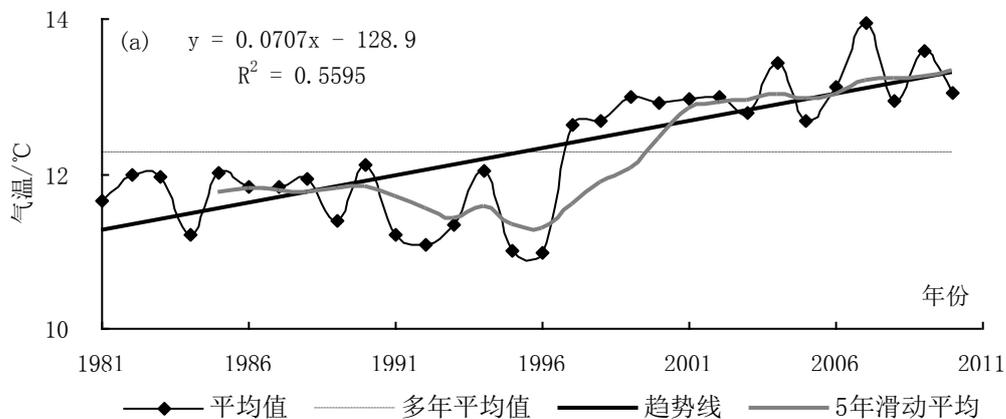


图 3-1 喀什市近 30 年平均气温变化曲线图

发生在 2007 年，年平均气温为  $14.0^{\circ}\text{C}$ ，相当于多年平均年气温的 1.14 倍，最低气温年份发生在 1995 年，为  $11.0^{\circ}\text{C}$ ，低于 90 年代平均气温  $0.89^{\circ}\text{C}$ ，其中 90 年代中期以来，气温波动明显上升。由式 (2.5) 计算年平均气温变化倾向率是  $0.71^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 。这说明，喀什市变暖的趋势为每 10a 上升  $0.71^{\circ}\text{C}$ ，明显高于全国和全球气温增长率；20 世纪 100 年时间，全球地表平均温度大约上升了  $0.6^{\circ}\text{C}$  [38]。以 1981~2010 年的多年平均气温为参照，统计逐年气温与平均气温的差值称为距平值，绘制喀什市 30 年的距平图 (3-2 (b))，20 世纪 80 年代到 90 年代中期，距平值为负值，气温一直低于平均气温，最低气温发生在 1995 年，5 年滑动平均线呈下降的趋势；1997~2010 年气温变化幅度逐步增大，距平值一直为正值，气温呈上升趋势，5 年滑动平均线也上升趋势。尤其是 2007 年的距平值达到了  $1.7^{\circ}\text{C}$ 。从 5 年滑动平均曲线图 (3-2 (b)) 看出，一直到 90 年代中期，5 年滑动平均值处于多年平均值以下，而 90 年代后半期以来，5 年滑动平均值高于多年平均值，波动幅度逐步增加。分析说明喀什市的气温处于逐步变暖的趋势，尤其是 1997 年以后持续增加趋势。按  $V_t > 0$  ( $V_t$  是年平均气温 5 年滑动平均值和多年均值相差) 为偏暖时期； $V_t < 0$  为偏冷时期。按照此划分方法以喀什市的气温分为不同的两个阶段：(1) 80 年代到 90 年代中期的 16 年中，5 年滑动平均值都小于多年平均值，分为偏冷时期，这阶段平均气温为  $11.6^{\circ}\text{C}$ ，比近 30 年的平均值低  $0.7^{\circ}\text{C}$ ；(2) 90 年代后半期的 14 年中，5 年滑动平均值都高于多年平均值，为偏暖时期。这一阶段平均气温为  $13.1^{\circ}\text{C}$ ，比近 30 年的平均值高  $0.8^{\circ}\text{C}$ 。

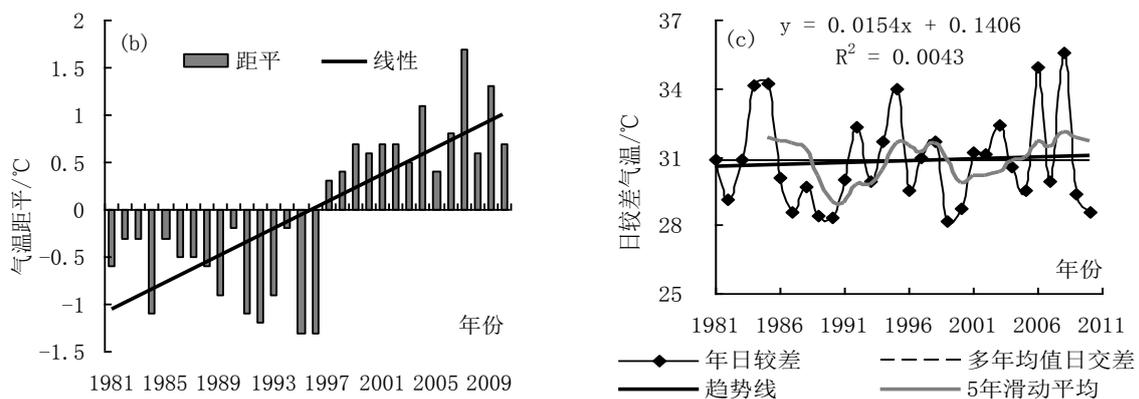


图 3-2 喀什市近 30 年距平、日较差变化曲线图

气温日较差 (Diurnal Temperature Range, 简 DTR) 是为最高气温与最低气温的差值。从总体上来看，喀什市各年际的日较差波动上升率不大。除了 1984、1985、1987、1995、1999、2006 和 2008 年以外，其他年份的 DTR 整体上在日较差多年均值 (为  $30.8^{\circ}\text{C}$ ) 相近。上述年份的 DTR 分别高于多年 DTR 均值相差  $3.3^{\circ}\text{C}$ 、 $3.4^{\circ}\text{C}$ 、 $2.2^{\circ}\text{C}$ 、 $3.8^{\circ}\text{C}$ 、 $2.6^{\circ}\text{C}$ 、 $4.1^{\circ}\text{C}$  和  $4.8^{\circ}\text{C}$  (图 3-1(c))。

## 3.1.3 气温变率

研究气候变化过程中，常用气候变率来表示气候变化幅度的大小<sup>[39]</sup>。

$$Y_r = Y_a / \bar{X}$$

$$Y_a = \frac{1}{n} \sum |X_i - \bar{X}|$$

式中， $Y_a$ 为绝对变化值， $Y_r$ 为相对变率， $X_i$ 为第*i*年的平均气温， $\bar{X}$ 为多年平均气温。从这里可以得到各年代平均气温变率（表 3-2）。

表 3-2 喀什市各年代平均气温及相对变率

	80 年代	90 年代	21 世纪前 10 年
$Y_a/^\circ\text{C}$	0.21	0.76	0.33
$Y_r/^\circ\text{C}$	0.018	0.064	0.025
$\bar{X}$	11.8	11.9	13.2

按照表(3-2)中可以看出，喀什市气温的绝对变化值以 90 年代为最高，80 年代为最低，从高到低依次为 90 年代、21 世纪前 10 年、80 年代。且 80 年代至今喀什市气温呈波动上升趋势，气温变率降低-升高-降低-升高的变化趋势。可以看出，90 年代气温变率最大，80 年代最小，为 0.018。说明 90 年代气温波动变化最大，而 80 年代气温的变化波动最小。

## 3.2 气温的季节变化

## 3.2.1 四季平均气温年代际变化

表 3-3 喀什市 30 年不同年代气温统计特征 / $^\circ\text{C}$ 

年代	春季		夏季		秋季		冬季	
	与多年 气温 比较	与多年 气温比 较	与多年 气温 比较	与多年 气温比 较	与多年 气温 比较	与多年 气温比 较	与多 年气 温比 较	
80 年代	14.2	-0.6	24.3	-0.3	11.4	-0.8	-2.6	-0.2
90 年代	14.2	-0.6	24.1	-0.5	11.8	-0.4	-2.5	-0.1
21 世纪前 10 年	16.1	1.3	24.9	0.3	13.3	1.1	-2.2	0.2
30 年平均值	14.8		24.6		12.2		-2.4	

随着全球气候变暖的背景下，处于中国西部地区的喀什市的气温也发生逐步变暖的趋势，这与中国气候变暖的趋势大致相同；近 50 年来，中国增温趋势非常明显，20 世纪 90 年代升温最剧烈<sup>[40]</sup>。不同季节的气温变化都不一样，年际变化是一个多年变化的趋势，它不能反映气候内部发生变化的全部面貌，各季节温度变化要比年均气温变化明显。通过资料分析可以得出，喀什市各季节都

有明显的变化差异，秋季变暖趋势明显，春季次之，夏季和冬季的变化略有上升趋势。按照该区域月平均气温，季节可以划分：春季(3-5月)、夏季(6-8月)、秋季(9-11月)、冬季(12月-次年2月)<sup>[41]</sup>。

表 3-4 喀什市气温的季节变化趋势

时段	平均气温/°C	倾向率/°C	相关系数 R 值	变差系数
春季	14.8	0.092	0.625	0.042
夏季	24.6	0.057	0.546	0.030
秋季	12.2	0.097	0.791	0.033
冬季	-2.4	0.037	0.249	0.039
全年	12.3	0.071	0.748	0.029

从(表 3-3)可知，虽然喀什市各个季节的变化规律基本上是一致，但季节性变化很明显。80 年代和 90 年代各个季节的年均气温低于平均气温。90 年春季气温与 80 年代同季气温相似，没有明显的升高或降低趋势；而夏季气温略下降趋势，但下降趋势不明显；秋季和冬季气温比 80 年代秋冬季平均气温发生了明显的上升趋势。但进入 21 世纪以来，各季节平均气温上升幅度不断增加，出现平均气温升高趋势，气候变暖更为突出。近几年来，年平均气温一直居高不下，上升气温多次超过或达到历史极值。尤其是春季和秋季的上升幅度比较大。从 90 年代的-0.6°C和-0.5°C分别上升到 1.3°C和 1.1°C，分别增加了 0.7°C、0.6°C。这说明，喀什市各季节气温处于逐步变暖趋势。喀什市各季节的倾向率都为正值，其中冬季的倾向率最小，秋季的升温最快，达到了 0.97°C/10a，其次是春季，为 0.92°C/10a。从变差系数来看春季的变幅最大的是春季，其变差系数比其他季节的变差系数分别是夏季的 1.4 倍，秋季的 1.3 倍，冬季的 1.1 倍，从中可知冬季气温的年纪变化程度是最小。

### 3.2.2 四季平均气温变化

从喀什市近 30 年的春季气温变化图可以看出(图 3-2 (a))，春季气温变化有上升趋势，上升变化速率为 0.92°C/10a，春季年平均气温为 14.8°C。气温变化自 20 世纪 80 年代初到 90 年中期波动下降趋势，气温偏低，期间 1996 年出现了最低值(为 6.6°C)；最暖的春天出现在 90 年代末期之后，从 90 年代末期到 21 世纪初期气温变化剧烈，春季年均最高气温出现在这一阶段，上升幅度也较明显，以 2007 年达到了最高值(为 23.5°C)。最高气温和最低气温与平均值分别相差 8.7°C和 8.2°C，两者之间相差 16.9°C，变化较大。图中可以看出，春季气温较高的年份主要集中在 80 年代初期、90 年代中期以后和 21 世纪前 10 年；平均波动周期为 3-4 年，而气温较低的年份集中在 80 年代和 90 年代中期前，平均波动周期 3-5 年。春季日较差变化图(3-2 (b))中可看出，春季日较差

呈下降趋势，DTR 下降趋势是四季当中最为明显的季节，每 10a 下降 0.58℃。1987 年出现最小值，这时候 DTR 为 8.2℃；2007 年春季 DTR 达到最高值，为 14.1℃。

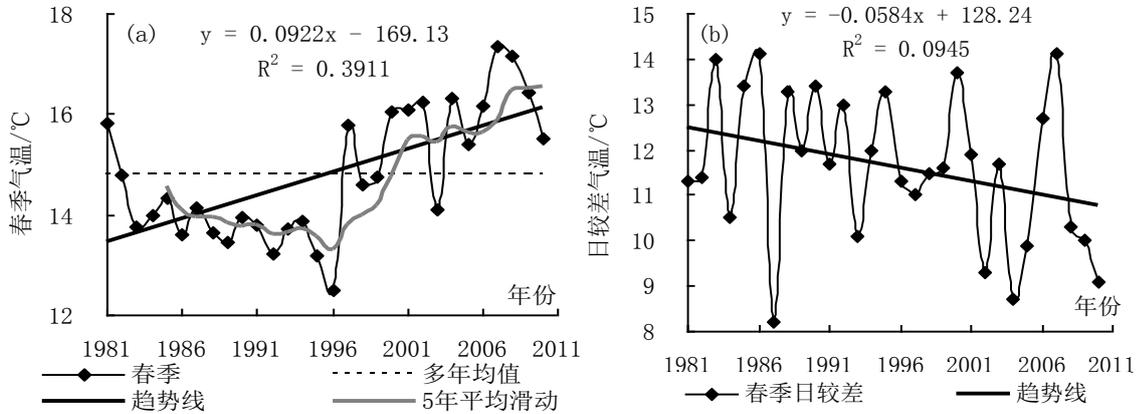


图 3-2 喀什市春季平均气温、日较差变化曲线图

图 (3-3 (a)) 可以看出，喀什市夏季气温 30 年来总体呈上升趋势，但上升趋势不明显，而且增长率在全年中最小，平均上升率为 0.57℃/10a。夏季平均气温为 24.6℃。从 20 世纪 80 年代初期到 90 年代中期，气温变化幅度较大，气温处于下降趋势，这一段时期出现了 30 年最低气温，1993 年为 22.9℃。1994 年上升到 25.4℃，比夏季平均气温高于 0.8℃。到 90 年代后期气温又下降到 23.1℃，这是夏季气温出现的次低值。自 21 世纪以来气温显著上升趋势，2008 年上升到最高值，达 26.4℃。夏季最高气温与最低气温之间的相差值达 3.5℃。

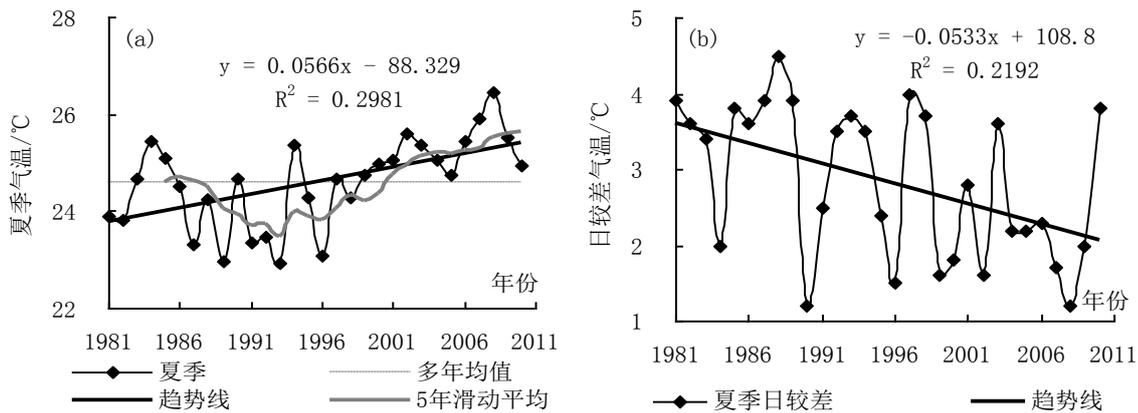


图 3-3 喀什市夏季平均气温、日较差变化曲线图

夏季气温较高的年份有 1983、1994、2002、2007 年，波峰主要集中在 1984-1988，1990-1994、1997-2002 和 2002-2008 年，平均波动周期为 3-5 年。气温较低的年份出现在 1987、1989、1993 和 1996 年，主要集中在 80 年代和 90 年代后期。波动周期为 3-6 年。夏季 DTR 有明显变小的趋势，波动较大，平均

每 10a 降低  $0.54^{\circ}\text{C}$ 。夏季 DTR 下降主要是因为夏季最高气温下降而引起的。80 年代夏季 DTR 值基本上处于平衡状态,波动显著,DTR 最高值与最低值都出现在这段时间。1990 年日较差最小到  $0.7^{\circ}\text{C}$ ,这以 1988 年的最高值小于  $3.3^{\circ}\text{C}$ 。但进入 90 年代以后变小趋势较为明显(图 3-3 (b))。

秋季气温(图 3-4 (a))近 30 年来,总体呈显著上升趋势,上升率为  $0.97^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 。秋季平均值为  $12.2^{\circ}\text{C}$ 。从 20 世纪 80 年代初到 80 年代末期变化幅度较大,但增加趋势不明显,都处于平衡状态,1980 年出现秋季平均最低气温,为  $10.2^{\circ}\text{C}$ ,与秋季多年均值相差  $2.0^{\circ}\text{C}$ ;而 90 年代中期开始气温处于逐步增加趋势。进入 21 世纪以来,秋季气温升高趋势显著,其达到了近 30 年来平均最高气温,为  $14.5^{\circ}\text{C}$ (2006 年)。平均最高气温与最低气温相差  $4.3^{\circ}\text{C}$ ,气候变化较大。秋季 DTR 也发生日益变小的趋势,即变小趋势比春季小(图 3-4 (b))。80 年代秋季 DTR 变化波动不大,处于平衡状态。从 90 年代开始秋季 DTR 变化波动趋势较明显。1991 年 DTR 出现最大值,为  $17.5^{\circ}\text{C}$ 。进入 21 世纪以来,DTR 呈变小趋势,到 2002 年秋季 DTR 为最小( $11.5^{\circ}\text{C}$ )。

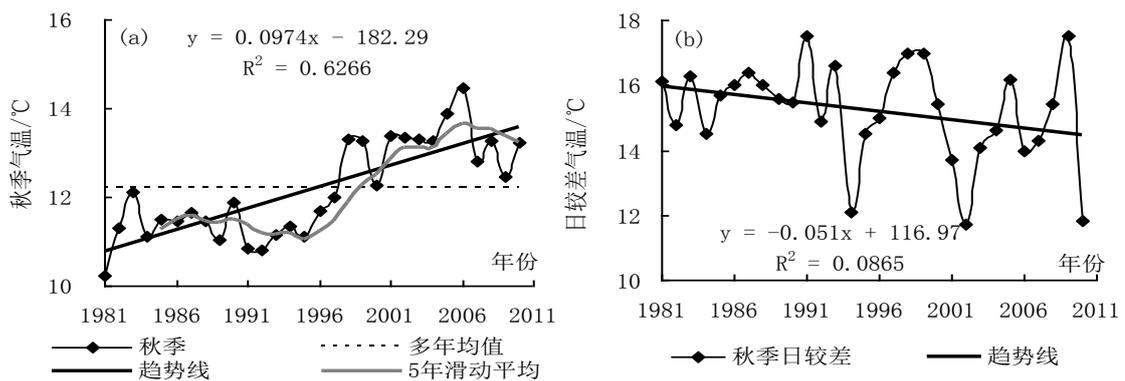


图 3-4 喀什市秋季平均气温、日较差变化曲线图

从图(3-5 (a))中可以看出,相比春季、夏季和秋季气温,冬季气温的上升趋势不明显,每 10a 上升  $0.37^{\circ}\text{C}$ ,冬季年平均气温为  $-2.4^{\circ}\text{C}$ ,最暖的冬天出现在 2009 年,为  $-0.1^{\circ}\text{C}$ ,最冷的冬天出现在 1984 年,为  $-5.7^{\circ}\text{C}$ ,两者相差  $5.6^{\circ}\text{C}$ ,变化速率较大。冬季气温在 20 世纪 80 年代变化幅度较大,但上升率不明显,这段时期出现了冬季最低气温,为  $-5.7^{\circ}\text{C}$ 。90 年代变化幅度较大,尤其是 90 年代后期以来冬季气温逐步增高。到 21 世纪,冬季气温明显波动增大。总体上来说,冬季有变暖的趋势。冬季气温较高的年份主要集中在 90 年代后期和 2000 年之后,气温较高的年份出现在 1999、2004、2007 年。较明显的波峰出现在 1982-1987、1999-2004、2007-2009 年间,平均波动周期为 2-5 年。从 90 年代到 21 世纪前 10 年,冬季气温波动幅度较大,这段时期有两个气温较低的冬季。从 90 年代初期开始冬季气温一直都在波动中上升趋势,到 90 年代中期有一个气温

下降转折点, 从 90 年代后期开始气温又在波动中上升, 但在 2008 年又出现了一个较冷的冬季, 相比其它季节, 冬季气温上升的变化趋势并不明显。相反, 冬季 DTR (图 3-5 (b)) 呈逐步变大趋势, 上升趋势为  $0.57^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 。80 年代冬季 DTR 上升速度不快, 但 1985 年达到了次高值  $8.5^{\circ}\text{C}$ ; 90 年代 DTR 变化波动较大, 变化趋势逐步加大; 到了 21 世纪上升速度更为明显, 变化也大, 这时期出现了 DTR 最大值和 DTR 最小值, 最大值出现在 2006 年, 为  $9.5^{\circ}\text{C}$ , 高于平均 DTR  $4.0^{\circ}\text{C}$ 。2010 年最小值, 为  $1.7^{\circ}\text{C}$ , 与平均 DTR 低于  $3.8^{\circ}\text{C}$ 。

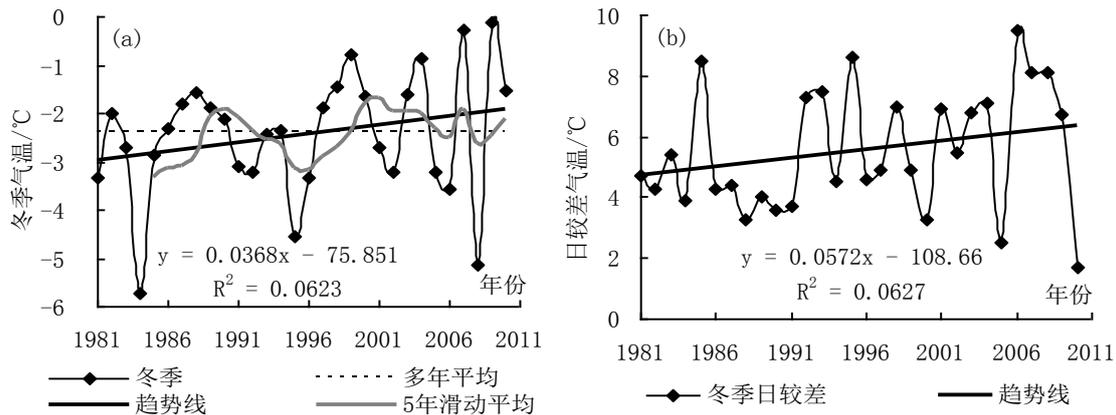


图 3-5 喀什市冬季平均气温、日较差变化曲线图

近 30 年来不仅是冬季平均气温增高, 而是春、夏、秋三季的平均气温也变暖趋势, 导致年平均气温急剧变暖。因此, 喀什市的气温时间变化规律与全疆的平均情况一致。45 年来, 全疆年平均气温呈上升趋势, 上升幅度为  $1.24^{\circ}\text{C}$ <sup>[42]</sup>。

### 3.3 喀什市气温突变分析

本文利用 Mann-Kendall 突变分析法、Yamamoto 法、滑动 t 检验法、累积距平方法等突变分析方法来提高突变分析结果的可信度。

按公式 (2-7) 采用 Mann-Kendall 法, 对喀什市近 30 年的气温进行突变检验, 由图 (3-6 (a)) 可知, 80 年代初期到 90 年代中期, 喀什市气温呈下降趋势, 其中 UF 表示顺序统计值, UB 表示逆序统计值, 在  $\pm 2.56$  临界值之间有一个交点 (1999 年), 且 UF 随后继续上升。因此可以认为喀什市 1999 年发生突变现象, 且通过了  $\alpha = 0.01$  显著性检验; 应用 Yamamoto 法进行突变检验, 图 (b) 可知, 从  $t > \text{SNR}$  可得出, SNR 达到  $\alpha = 0.01$  的显著性水平值。当  $n_1 = n_2 = 5$  时, 在 1997 年发生一次突变, 1997 年年均气温的信噪比为, 1.72, 且  $S/N > 1$ , 可认为是气候突变年; 利用滑动 t 检验法进行突变分析 (图 (c)) 可知, 喀什市 1997 年发生一次突变, 且 1997 年统计量序列 t 值为 -6.79, 达到显著性水平。这结果与 Yamamoto 法得出来的结果相同。由式 (2-2) 来算出, 喀什市 30 年气温的累

积距平并进行突变检验,由图 d 可知,喀什市累积距平的绝对最大值出现在 1996 年,1996 年的信噪比(为 1.81),且  $S/N > 1$ ,可认为是突变年,这次转折是气温从偏低期转为偏高期。

以上突变检验结果显示,这四种方法的结果基本相合,且喀什市近 30 年的气温大概在 1996-1999 左右发生,并从偏低期转变为偏高期,而且这些检验都通过  $n_1=n_2=5$ ,  $\alpha=0.01$  显著性检验。

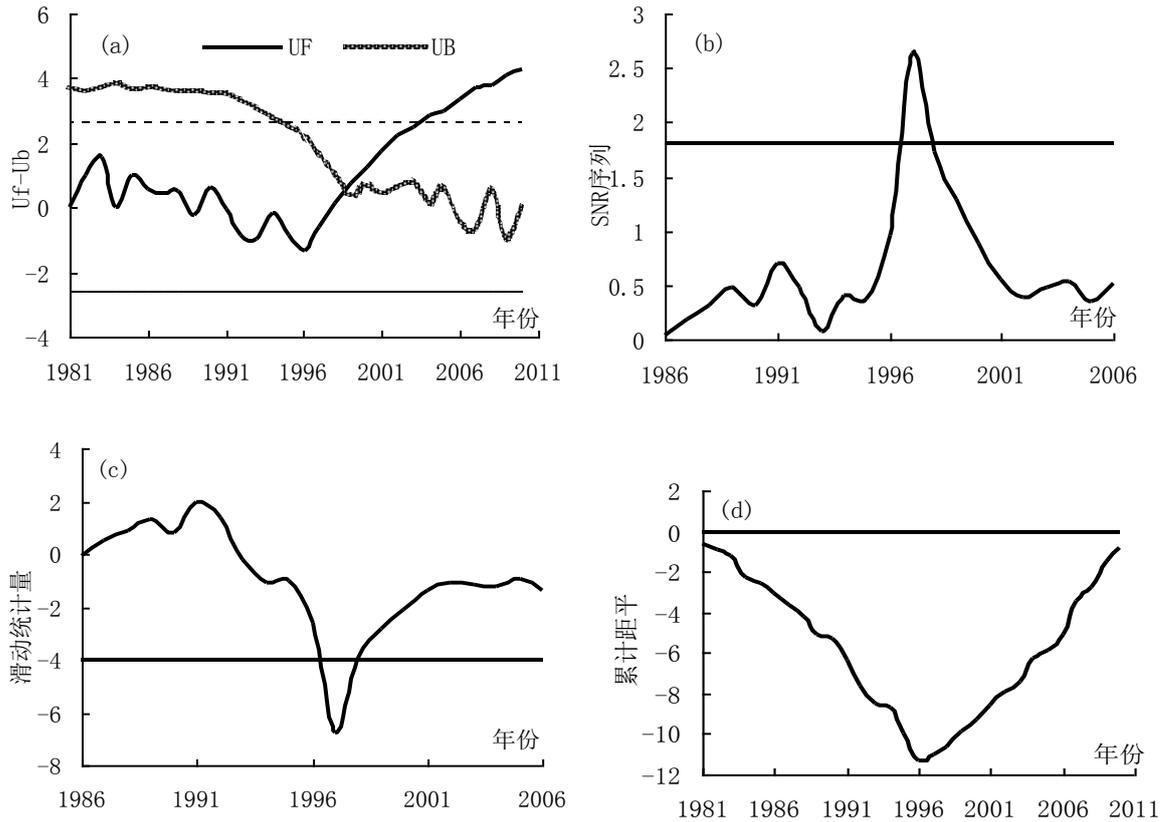


图 3-6 喀什市年平均气温突变判别曲线图

注: (a: MK 检验结果, 直线为  $\alpha=0.01$  显著性水平临界值; b: Yamamoto 检验结果; c: 滑动 t 检验结果, 取  $n_1=n_2=5$ ; d: 累计距平)

## 4 喀什市降水量变化特征

### 4.1 降水变化

#### 4.1.1 降水的年代际变化

通过资料,分析了喀什市不同年代降水量在近30年的变化趋势。分别统计了喀什市20世纪80年代、90年代和21世纪前10年的多年平均降水量。以1981~2010年的多年平均降水量为参照,分析了各个年代的多年平均降水量变化状况。

表 4-1 喀什市各年代平均降水量 /mm

年代	1981-1990	1991-2000	2001-2010	1981-2010
平均最高降水量	121.0	158.6	191.6	191.6
平均最低降水量	18.7	16.2	39.4	16.2
年降水量/mm	66.4	60.4	87.3	71.4
增减率%		-9.0	44.5	

以上统计表明,喀什市的降水量存在明显的年代变化,年降水量多年平均值为71.4 mm。20世纪80年代和90年代降水量在多年平均值以下,与平均值相差5.0 mm、11.0 mm,可知90年代降水量比80年代降水量少6.0 mm,可认为90年代是喀什市偏干旱时期,1994年减少到最低值(16.2 mm)。进入21世纪以后,增长趋势显著,同时,相对变化率较大,年降水量持续增多,达到87.3 mm。这比喀什市偏干旱时期年降水量约高于27.0 mm,这段时期是喀什市的偏湿润时期,2010年,年均降水量达到最高值,为191.6 mm。可以看出,喀什市30年来,多雨年份主要集中在21世纪前10年,而少雨年份则集中在90年代。80年代年平均降水量与多年平均降水量基本上一致。

#### 4.1.2 降水的年变化

分析了喀什市近30年的降水变化,通过降水变化曲线图(4-1),发现喀什市降水虽然上下波动变化不大,但是总趋势是上升的。从线性拟合结果可知,近30年降水以每10a增加8.12 mm,湿润化趋势较为突出。这与全疆降水变化趋势一致。近45年,新疆的降水量呈明显的增加趋势。统计表明,全疆多年平均降水量为155mm,增幅达到50mm/45a,历年降水最大值出现在1987年,为218 mm,最小值在1997年,约110 mm。南疆的春、夏、秋、冬季降水分别占全年降水量的24.96%、43.76%、24.77%、6.51%<sup>[43]</sup>。对喀什市近30年的多年平均降水量及各季节降水量时间序列进行线性自回归分析,可见年平均降水量的自回归方程为:

$$R(t) = 1548.1 - 0.8115t \quad (1)$$

$r > \bar{r} + s$ ; 低于多年平均值一个标准差为偏干年份, 即  $r < \bar{r} - s$ ; 剩下的属于正常年份  $\bar{r} + s > r > \bar{r} - s$  [44]。可以得到, 年降水量在 39.4~104.8 mm 为正常, 低于 39.4 mm 为偏干年, 高于 104.8 mm 为偏湿润年, 通过统计可以知道 1981、1987、1996、2003、2010 年为偏湿润年; 1985、1994、1997、1999、2000 年为偏干年。又可知, 降水量最高值出现在 2010 年, 达 191.6 mm, 最小值出现在 1994 年, 为 16.2 mm。年总降水量的峰值主要出现在 1984-1988、1993-1997、2002-2008 年之间, 波动周期为 4-6 年。

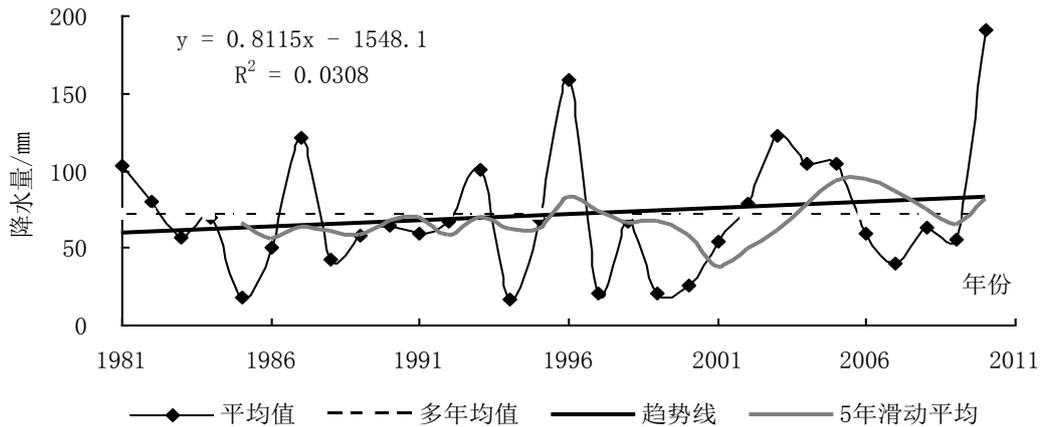


图 4-1 喀什市降水量变化曲线图

用降水变率来可以衡量某一个地区年际降水变化的大小, 还可以计算各年降水量的距平值与多年平均降水量之比以百分数表示。百分数变化大时表明逐年降水量变化也大, 不稳定; 将距平数变化小, 则差异小, 较稳定。Thomas [45] 在 1996 年指出: “异常旱和异常涝为主要的极端气候”。根据中国气象局的规定, 把在干旱区和半干旱区的年降水量距平百分率记为  $\Delta R$ , 当年降水量距平百分率  $\Delta R \geq 30\%$  时, 记为异常涝年份, 降水量距平百分率  $\Delta R \leq -30\%$  时, 记为异常旱年份 [46, 47]。从喀什市距平百分率图 (图 4.2 (a)) 可知, 距平百分率正负值相间分布,  $\Delta R \geq 30\%$  的年份, 出现在 1981-1988、1993-1996 和 2003-2010 年间, 降水波动周期为 3-6 年, 分别为 1981、1987、1993、1996、2003、2004、2005 和 2010 年; 2010 年为降水量最多, 为 191.6 mm。总之, 各年代都有出现异常涝年份, 以上年份为喀什市的异常涝年份。异常干旱年份有 1985、1988、1994、1997、1999 和 2000 年。主要集中在 90 年代, 而异常涝年份集中在 2000 年以后。

#### 4.1.3 变差系数

年降雨量变差系数是反映年际变化的重要量化指标 [48], 用以表征某一地区降水的年际变化程度。一个地区降水量丰富, 变率小, 说明水资源利用率高。计算公式为:

$$C_v = \frac{\sigma}{\bar{x}}$$

$$\text{其中: } \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}, \quad \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

式中,  $\sigma$  为标准差,  $C_v$  为降水量变差系数,  $\bar{x}$  为多年平均降水量。通过以上计算和表 (4-2) 可知, 喀什市近 30 年的降水量变差系数为 1.32, 这说明喀什市年降水量的年际变化较大。喀什市降水量的变差系数以 90 年代为最高, 80 年代为最低, 从高到低依次为 90 年代、21 世纪前 10 年、80 年代。这证明 90 年代降水量变化最大, 21 世纪前 10 年次之, 80 年代为最小, 为 0.44。且 80 年代至今喀什市降水量呈波动上升趋势。

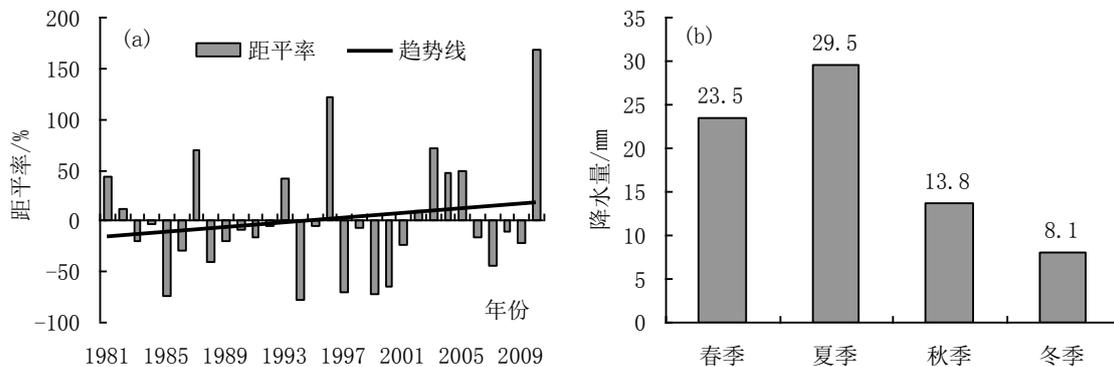
表 4-2 喀什市各年代平均降水量及变差系数

	80 年代	90 年代	2000-2010	全年
$\sigma$	29.4	42.4	45.3	38.5
$C_v$	0.44	0.70	0.52	1.32
$\bar{x} / \text{mm}$	66.4	60.4	87.3	71.4

## 4.2 降水的季节变化

各季节的降水有不同的变化趋势, 喀什市多年平均年降水量为 71.4 mm, 从图 (4.2 (b)) 可看出, 降水多集中在春、夏两季; 春季降水量达到 23.5 mm, 夏季降水量达到 29.5 mm; 春夏两季降水量, 约占全年总降水量的 70%。其次是秋季, 冬季降水量最少, 为 8.1 mm。其中春季占 31%, 夏季占 39%, 秋季占 15%, 冬季占 15%<sup>[49]</sup>。

夏季降水随时间有微弱的减少, 减少速率为 2.83 mm/10a, 从 R 值可以看到, 减少趋势不明显; 秋季和冬季降水呈显著增加趋势, 秋季降水增加率为 6.37 mm



4-2 喀什市降水量季节分配图和降水量距平曲线图

/10a, 增加速度四季中最高, 秋季最高多年平均降水量为 64.1 mm (2010 年)。冬季本来就是喀什市降水量偏少的季节, 但近些年来一直增加趋势, 冬季年降水最多为 28.4 mm, 出现于 2006 年, 最少时甚至有 0.0 mm, 出现于 1997 年。各个季节的变差系数有所不同, 冬季最大, 为 1.02, 秋季最小, 为 0.68, 说明冬季降水的年际变化幅度比较大, 其次是春季和夏季, 秋季的年际变化幅度最小(表 4-3)。

表 4-3 喀什市各季节降水变化趋势

	平均降水/mm	倾向率/mm	相关系数 R 值	变差系数
春季	23.5	0.105	0.154	0.803
夏季	29.5	-0.283	0.119	0.804
秋季	13.8	0.637	0.393	0.677
冬季	8.1	0.351	0.372	1.023

从喀什市春季降水量变化曲线图(4-3)可以看出, 喀什市春季降水量有缓慢增加趋势, 增加速率为 1.06 mm/10a。从 5 年滑动平均曲线可知, 在 20 世纪 80 年代到 90 年代间, 出现了几个降水多的年份, 如 1984 年达 50.4 mm。90 年代, 尤其是 90 年代末期, 降水比较丰富, 这时期达的 68.6 mm (1996 年), 为 30 年来最高值, 与平均值相差 45.3 mm。21 世纪初期开始, 春季降水量比 90 年代有所减少, 比 90 年代平均值少 4.4 mm。在 1984、1990、1996、2004 和 2010 年降水偏多。

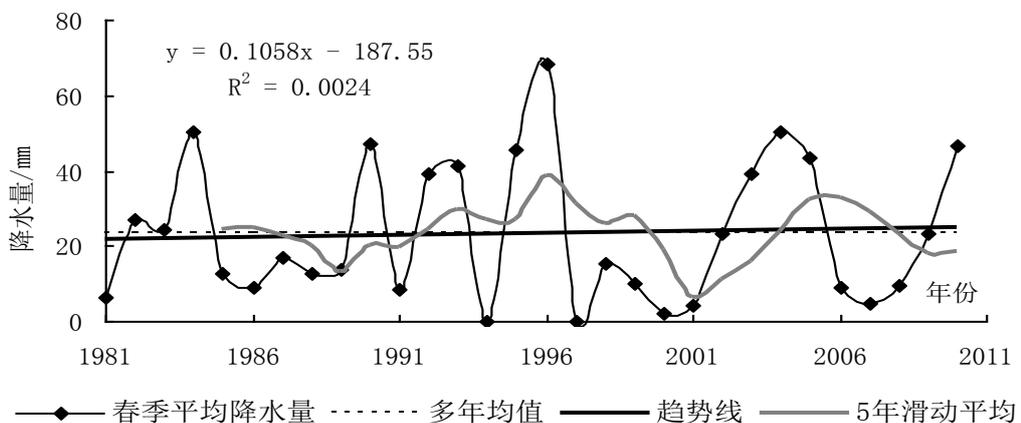


图 4-3 喀什市春季降水量变化曲线图

春季降水量较多的峰值主要集中在 1982-1985、1989-1991、1994-1997 年和 2001-2006 年间, 波动周期为 3-6 年。降水较少的年份出现 1985-1988、1997-2001 和 2006-2009 年之间。波谷的平均波动周期为 3-4 年。80 年代喀什市的春季降水波动性较小, 到了 90 年代降水量没有明显的增加趋势, 但变化幅度较大。进入 21 世纪以来, 春季降水量开始稍微增多, 四季中春季降水的增加率是最低的。总体上来说, 春季降水量是波动性最明显, 降水变化率最高的季节。

喀什市的降水量主要集中在夏季，它是喀什市年降水量最多的季节。但近30年来，夏季降水逐步减少趋势，以2.83 mm/10a的速率减少。30年平均值为29.5 mm，但平均值还是高于其他季节的平均降水量。夏季降水量最多的年份出现在1995年，为76.2 mm，与平均值高50.3 mm；而降水最少年出现在1984年，为0.2 mm，最多与最少降水量相差76.0 mm，变化幅度大。夏季降水量较多的年份集中在80年代初期、90年代后期，分别为1981、1987、1996和2010年。

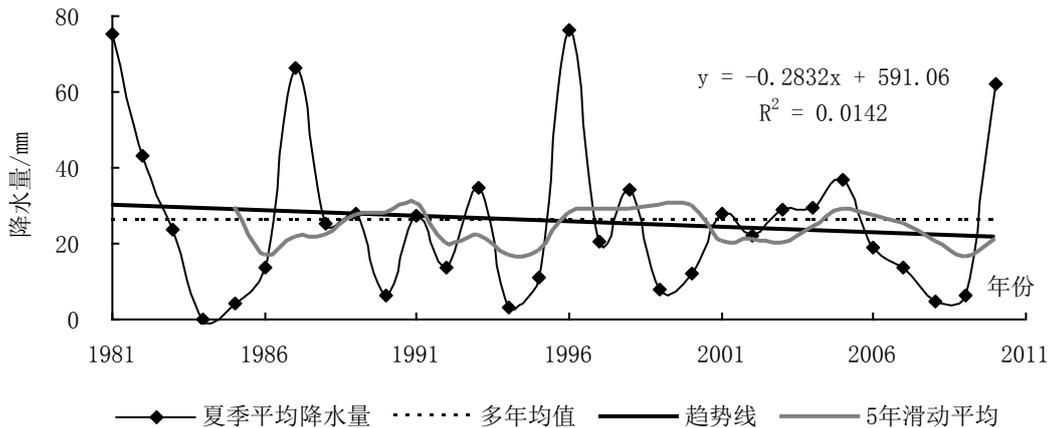


图 4-4 喀什市夏季降水量变化曲线图

降水较多的峰值集中在1986-1990、1995-1999、2001-2006年之间，波动周期大约为4年。夏季降水较少的年份集中在80年代中后期、90年代初期和2006年之后，主要是1984、1990、1994和2008年，出现在1983-1986、1989-1993和2005-2009年之间，波动周期为3-6年。80年代夏季降水量波动较大，进入90年代以后，降水量波动性更大，出现了两个峰值集中区。进入2000年以来降水量减少趋势，降水下降趋势普遍小于30年平均值。总体上来看，喀什市夏季降水量是呈减少趋势，且变化率较大（图4-4）。

喀什市秋季降水变化趋势最明显（图4-5），处于逐步增多趋势，增加速率为6.37 mm/10a。秋季30年来的平均降水量为13.8 mm，最多降水量为64.1 mm（2010年），与平均降水量多于50.3 mm。降水最少的年份在1985年，几乎没有降雨，0.0 mm。秋季降水较多的年份有1986、1987、2003、2010年，主要集中在80年代和21世纪以后。降水量较多的峰值主要出现在1985-1988、2002-2005和2006年之后的几个年间，平均波动周期约3年。降水较少的年份集中在80年代后期和90年代，波谷的波动周期为4-7年。90年代降水量特别少，是喀什市秋季的干旱时期。进入21世纪后，秋季降水量开始明显增多，总体上来说，秋季降水量2000年后，呈波动性的增加。近10年来秋季降水量每10a以21.3 mm的速率增多。

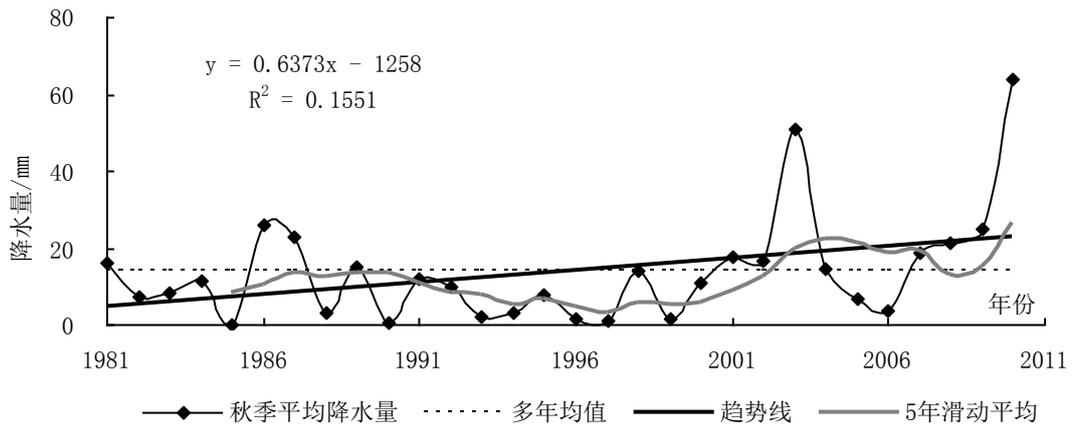


图 4-5 喀什市秋季降水量变化曲线图

其次于秋季，喀什市冬季的降水量变化趋势为最明显，降水变化率为 3.52 mm/10a，变化幅度四季中较大。30 年冬季降水量平均值为 8.1 mm，最多降水为 28.4 mm（2006 年），多年平均降水量多于 20.3 mm；1997 年是降水量最少的年份（0.0mm），两者变化幅度较大。冬季降水较多的年份有 1987、1993、2002、2005、

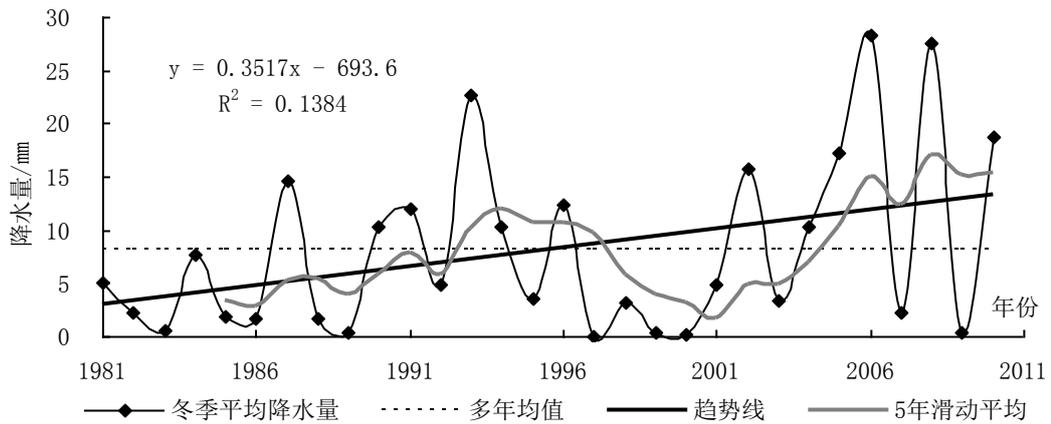


图 4-6 喀什市冬季降水量变化曲线图

2006、2008 和 2010 年，主要集中在 80 年代后期，90 年代中期和 2000 年之后，波峰主要出现在 1992-1995、1995-1997、2000-2003、2004-2009 年之间，波动周期约为 3-5 年。冬季降水较少的年份有 1983、1985、1986、1989、1997、1999 和 2000 年，主要集中在 80 年代中期和 90 年代后期，波谷出现在 1981-1985、1987-1990、1996-2001 年之间，波动周期为 3-5 年（图 4-6）。喀什市的冬季降水量波动性最明显，80 年代后期和 90 年代中期各出现一个波峰，在 90 年代后期形成一个波谷，说明 90 年代后期是偏干旱时期。进入 21 世纪后出现 3 个波峰，并降水量开始增多，湿润性加大。喀什市降水量主要除秋季降水量增多之外，冬季降水量的贡献也大。

## 4.3 喀什市降水量突变分析

由图(4-6(a))可看出, UF 和 UB 在信度线 $\pm 1.96$  ( $\alpha=0.05$ )之间有两个交点, 交点对应于 2002 年和 2006 年。这两年 UF 曲线由偏少期转到偏多期, 表明, 喀什市降水量在 2002、2006 年发生突变; 由图(b)可知, 当 SNR 达到  $\alpha=0.05$  的显著性水平值时, 2002 年发生一次突变。这是喀什市降水量由偏多期转为偏少期的突变点; 由图(c)可知, 当  $n_1=n_2=5$  时, 给定的显著性水平  $\alpha=0.05$  上发生一次突变即是 2002 年。这时的统计量序列 t 值为-3.83, 达到了显著性水平; 从图(d)可看出, 喀什市降水量累积距平的绝对最大值出现在 2001 年,

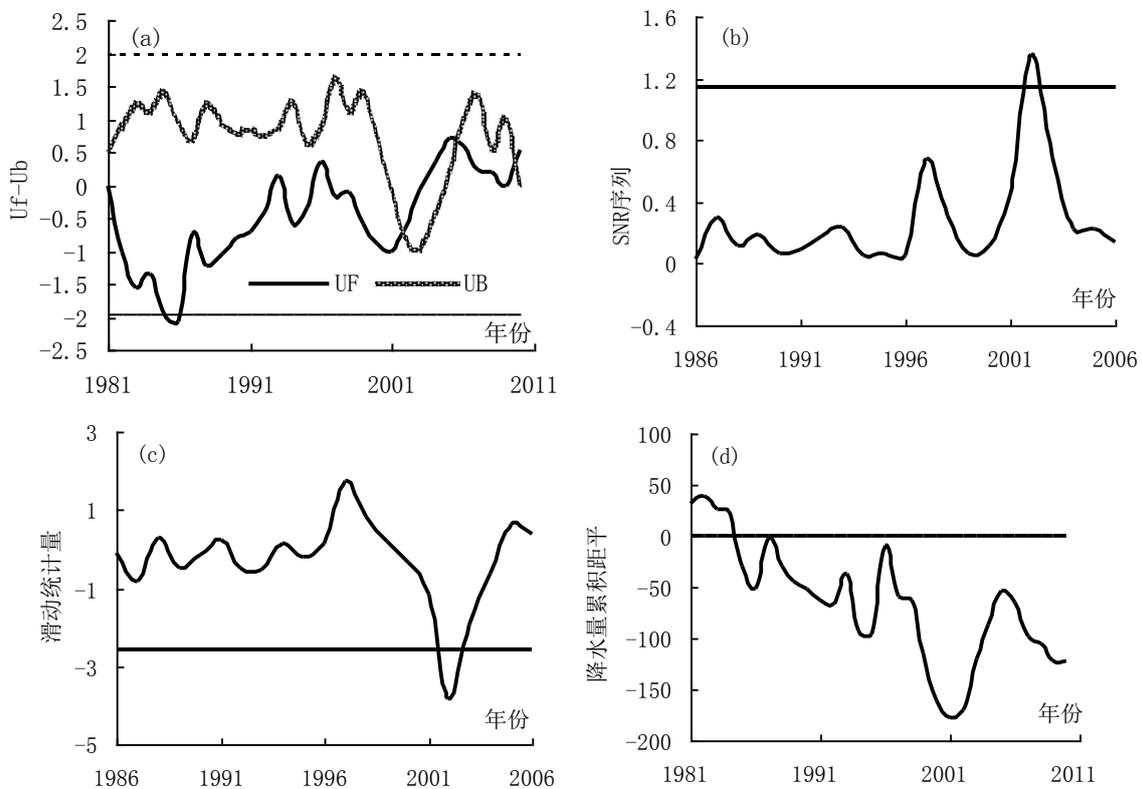


图 4-6 喀什市年降水量突变判别曲线图

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

这次转折是降水量从少期转为多期, 2001 年之后是降水量持续增多。

从以上四种检验法分析结果可看出, 这四种方法的结果基本相合, 且喀什市近 30 年的气温大概在 2001-2002 年左右发生, 并从偏少期转变为偏多期, 而且这些检验都通过  $n_1=n_2=5$ ,  $\alpha=0.05$  显著性检验。

## 5 喀什市日照时数变化特征

### 5.1 日照时数变化

#### 5.1.1 日照时数年变化特征分析

太阳辐射是地球上一切能量的主要来源，也是地表辐射平衡和热量平衡的主要组成部分。达到地表的太阳辐射与太阳日数、云量、大气中的水汽含量等有密切关系，太阳辐射变化的最直接反映是日照时数的变化<sup>[50]</sup>。喀什市是日照十分充足的城市之一，从图(5-1)可以看到，喀什市30年来日照时数总体呈上升趋势，其变化倾向率为166.52h/10a，上升趋势显著，呈阶段性变化。喀什市多年平均日照时数为2779.0h。日照时数最多年份出现在2009年，为3067.1h；而最小值为2405.2h，出现在1982年；两者相差达661.9h。日照时数较多年分主要是1980、1996、1997、1999、2000、2001、2007和2009年。波峰出现在1995-1998、1998-2003、2006-2010年间，平均波动周期为3-5年；日照时数较少的年份是集中在1982、1986、1989、1992和1994年。波谷在1981-1984年、1985-1987、1987-1991、1991-1996年之间，波动周期大约为2-4年。从中可知，日照时数少的年份主要集中在80年代和90年代中期，反而日照时数较多的年份大部分集中在90年代后期和21世纪前10年。从距平图可看出(5-1(b))，日照时数偏多的年份都出现在90年代后期，有17个年份出现平均值以上，占总年份的57%。日照时数偏少的年份出现在80年代、90年代初期和中期，日照时数偏少的年份占总年份的43%。总之，喀什市日照时数90年代后期开始逐步增加趋势。

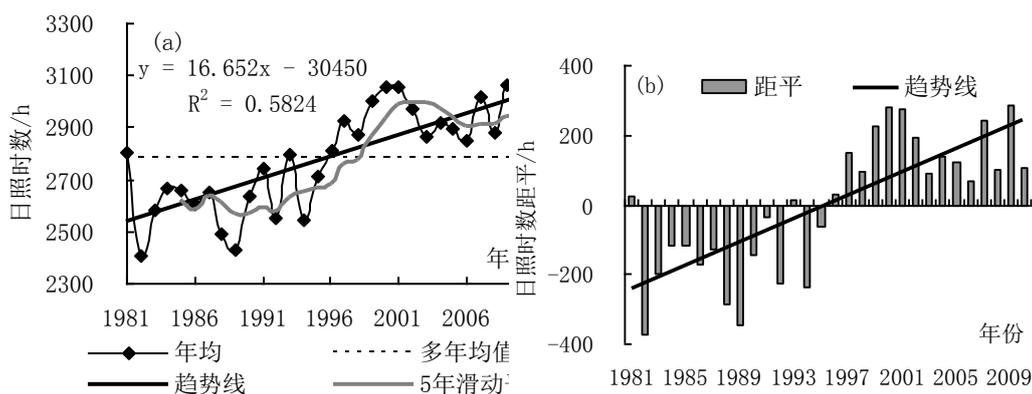


图 5-1 喀什市平均日照时数和距平变化曲线图

#### 5.1.2 日照时数的季节变化

喀什市的日照时数有明显的季节性变化，从表（5-1）可看出，喀什市春季日照时数上升最慢，冬季日照时数的上升最快，夏季和秋季的上升率基本上一致。夏季平均日照时数为 918.6h，冬季平均日照时数为 471.3h，二者相差 447.3h。春季和秋季的平均日照时数基本相等，分别为 688.1h 和 701.0h。各年代的变化幅度很不相同，变化幅度最大的是冬季，其次是春季，冬季变差系数比其它的季节高，与春季的变差系数仅高于 0.02。夏季和冬季的分别高于 0.08 和 0.05。可知，夏季的日照时数年代变化程度是最小。

表 5-1 喀什市日照时数的季节变化趋势

时段	平均日照时数/h	倾向率/h	相关系数 R 值	变差系数
春季	688.1	5.907	0.624	0.121
夏季	918.6	4.465	0.681	0.063
秋季	701.0	4.481	0.595	0.095
冬季	471.3	1.798	0.239	0.141
全年	2779	16.652	0.763	0.069

从春季的曲线年际变化图来看（图 5-2），1981-2010 年喀什市春季日照时数呈上升趋势，其上升趋势是四季中最明显。每 10a 上升速率为 59.07h。平均日照时数达 688.1h。最高日照时数出现在 2000 年，为 849.1h，比平均日照时数高 161.0h。则最少值为 537.1h（1995 年），可见，日照时数最多值和最小值都出现在 90 年代后期，波动尤为明显，两者相差 312.0h。日照时数最多年份出现在

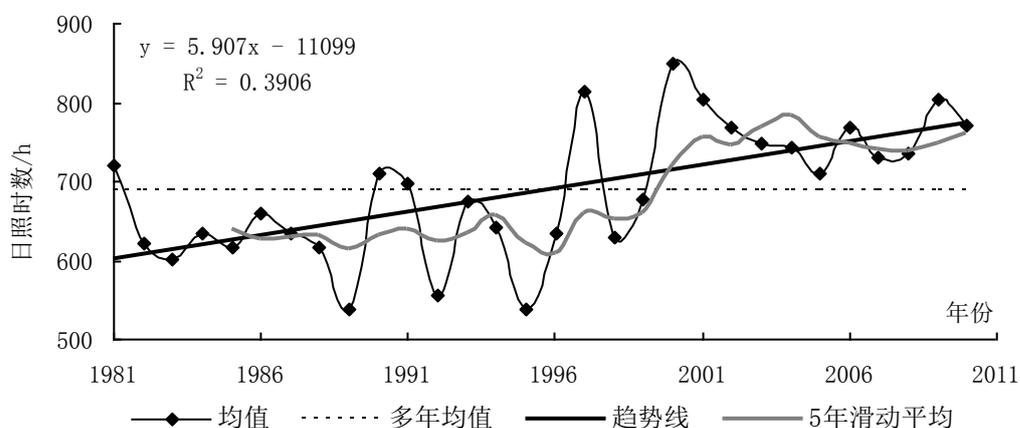


图 5-2 喀什市春季平均日照时数变化曲线图

1997、2000、2001 和 2010 年。日照时数波峰在 1995-1998、1999-2003 和 2007-2010 年间，平均波动周期为 3-5 年。可知，日照时数偏多年份出现在 90 年代后期和进入 21 世纪以来。尤其是进入 21 世纪以来，增多趋势较明显且波动趋势较稳定。则日照时数偏少年份出现在 80 年代和 90 年代初、中期。80 年代日照时数偏少年份比 90 年代多，可是 90 年代下降率比 80 年代快。日照时数偏少的年份主要有 1989、1992 和 1995 年。主要是 1988-1990、1991-1997 年间下降速率比

较大，以每 3-5 年出现一次。

从图 5-3 中可知，夏季日照时数也呈上升趋势，日照时数倾向率为 44.6h/10a，夏季日照时数的年平均值为 918.6h，是四季中总日照时数为最多的季节，2009 年达到最高值，为 1007.5h，比年平均日照时数多 2 倍。夏季最少日照时数则出现在 1982 年，为 780.9h，两者相差 226.6h。夏季出现日照时数较多的年份主要是在 1990-1992、1992-1994、1998-2005 和 2005-2010 年之间，平均波动周期为 2-5 年。主要在 90 年代初期，90 年代后半期和 21 世纪前 10 年，日照时数时间比较多。夏季日照时数较少的年份有 1982、1986、1989 年，主要集中在 80 年代；比较明显的波谷在 1981-1983、1984-1990 年之间，平均波动周期为 3-5 年，大都集中在 80 年代。80 年代夏季日照时数波动上升趋势不太明显，到 90 年代前期和后期出现了两个波动上升阶段，进入 21 世纪到现在，日照时数又逐渐上升，夏季日照时数最多的年份出现在 21 世纪。夏季日照时数最多的 5 个年份分别出现在：1991、1993、1999、2003 和 2009 年。

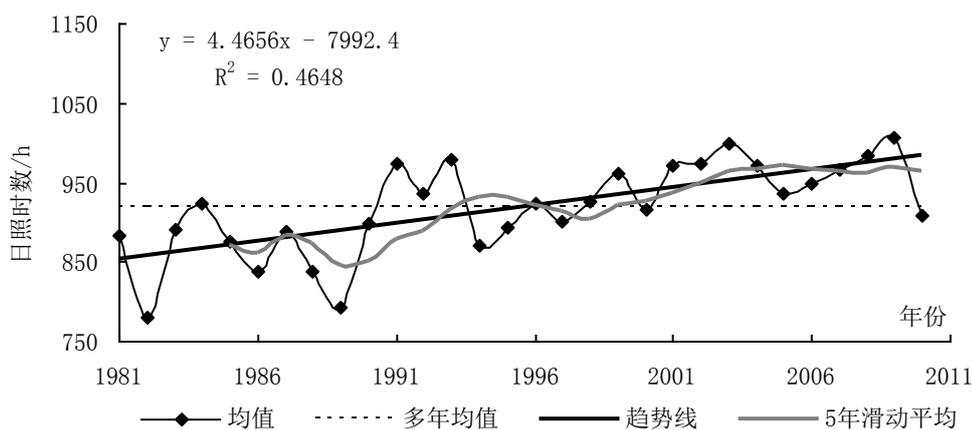


图 5-3 喀什市夏季平均日照时数变化曲线图

从图 5-4 中可看出，秋季的日照时数其次于春季日照时数，上升率为最明显，上升速率为 44.81h/10a，平均日照时数为 701.0h。秋季日照时数最多的年份出现在 1998 年，为 807.1h，最少年份出现在 1982 年，为 582.8h，两者相差 324.3h，变率较大。秋季日照时数较多的年份出现在 1998、2001、2002 和 2006 年。主要集中在 90 年代后期和 21 世纪前 10 年，较明显的波峰出现在 1994-1996、1997-2003、2004-2010 年之间，平均波动周期为 3-5 年。日照时数较少的年份出现在 1982、1988、1992、1994 和 1997 年，主要集中在 80 年代和 90 年代中期。波谷出现在 1981-1984、1985-1988、1989-1990、1995-1998 年间，波动周期为 2-4 年。80 年代秋季日照时数波动幅度较稳定，从 90 年代后期秋季日照时数一直都在波动中上升。尤其是进入 21 世纪以来，日照时数不断上升，这 10 年中秋季日照时数以 30.24h 的速率增多。

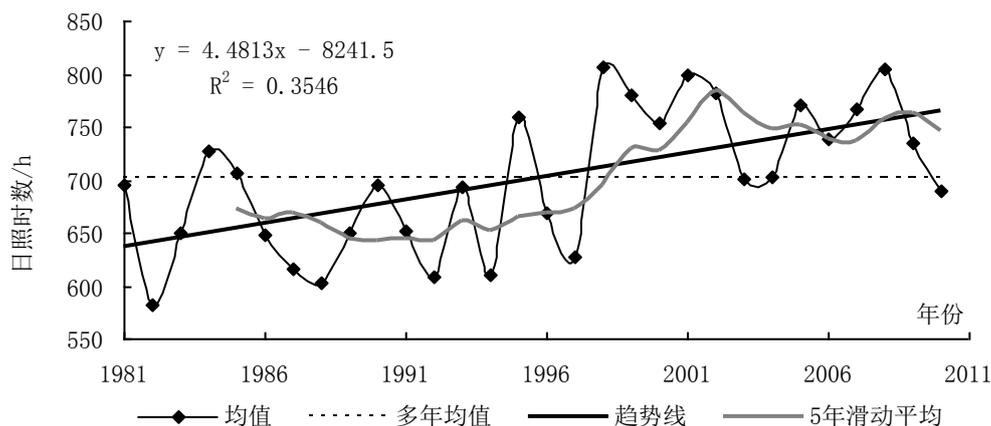


图 5-4 喀什市秋季平均日照时数变化曲线图

冬季日照时数年平均值为 471.3h, 1997 年达到最高值, 为 585.9h, 冬季最少日照时数则出现在 1990 年, 为 330.4h, 两者相差 255.5h, 倾向率为 17.98h/10a, 上升速率四季中最小, 冬季出现日照时数较多的年份有 1996、1997、1999 和 2007 年, 主要集中在 90 年代后期和 2006 年之后, 波峰出现在 1994--2007、2003-2008 年间, 平均波动周期为 2-4 年。冬季日照时数较少的年

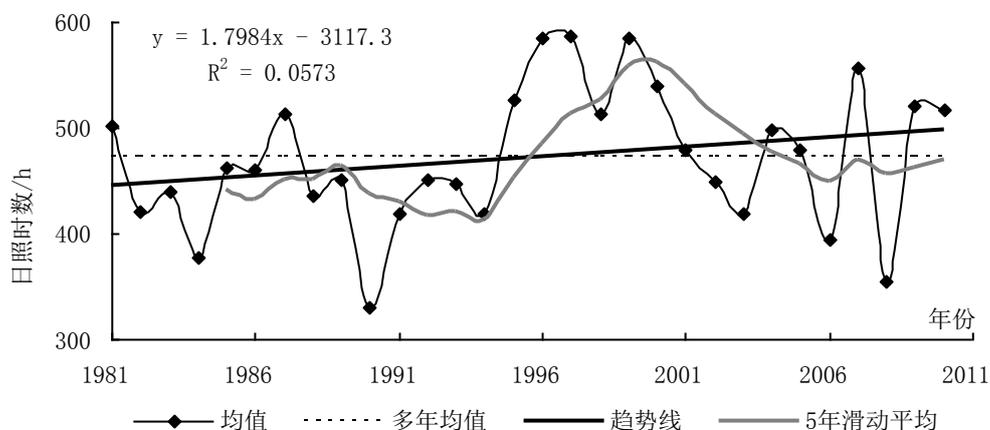


图 5-5 喀什市冬季平均日照时数变化曲线图

份有 1984、1990、1994、2005 和 2008 年, 主要集中在 80 年代后期, 90 年代初期和进入 21 世纪 10 年的前 5 年, 波谷在 1989-1992、1999-2004 和 2006-2009 年之间, 平均波动周期为 3-5 年。80 年代冬季日照时数波动上升趋势较为明显, 到 90 年代前期, 出现了一个波动下降阶段, 90 年代后期日照时数又逐渐上升, 进入 21 世纪以后, 上下波动也很明显, 21 世纪前 10 年前期变少趋势, 而从 2006 年开始又回上升。其中日照时数最多的年份出现在 90 年代中期。冬季日照时数发生率最高的 4 个年份, 分别出现在: 1996 年、1997 年、1999 年、1998 年。

#### 5.4 喀什市日照时数突变分析

采用 Mann-Kendall 法对喀什市近 30 年的日照时数进行突变检验可知（图 5-7 (a)），UF 和 UB 在信度线  $\pm 1.96$  ( $\alpha=0.05$ ) 之间有一个交叉点，且发生 UF 随后上升，交点发生在 1996 年。1996 年 UF 曲线由偏多期转到偏少期，说明喀什市的日照时数此年发生突变，并通过显著性检验；采用 Yamamoto 法进行突变检验（图 (b)），可得，当  $n_1=n_2=5$  时，1997 年发生一次突变，并从  $t>SNR$  达到  $\alpha=0.05$  显著性水平。用滑动 t 检验法来进行检验可知（图 (c)），1997 年发生一次突变，并 1997 年统计量序列 t 值为-4.42，达到  $\alpha=0.05$  显著性水平，这与 Yamamoto 法的分析结果一致；算出喀什市近 30 年日照时数的累积距平可得，绝对最大值出现在 1996 年，这次转折是日照时数从少到多的突变点。为了检验喀什市日照时数的是否达到突变的标准，算出了此年的信噪比为 1.45，且  $S/N>1$ ，可认为是日照时数突变发生年份。

从以上突变检验结果可知，上述四种检验方法的结果基本相合，并喀什市近 30 年的日照时数突变大概发生在 1996-1997 年间，而且通过  $n_1=n_2=5$ ， $\alpha=0.05$  显著性水平。

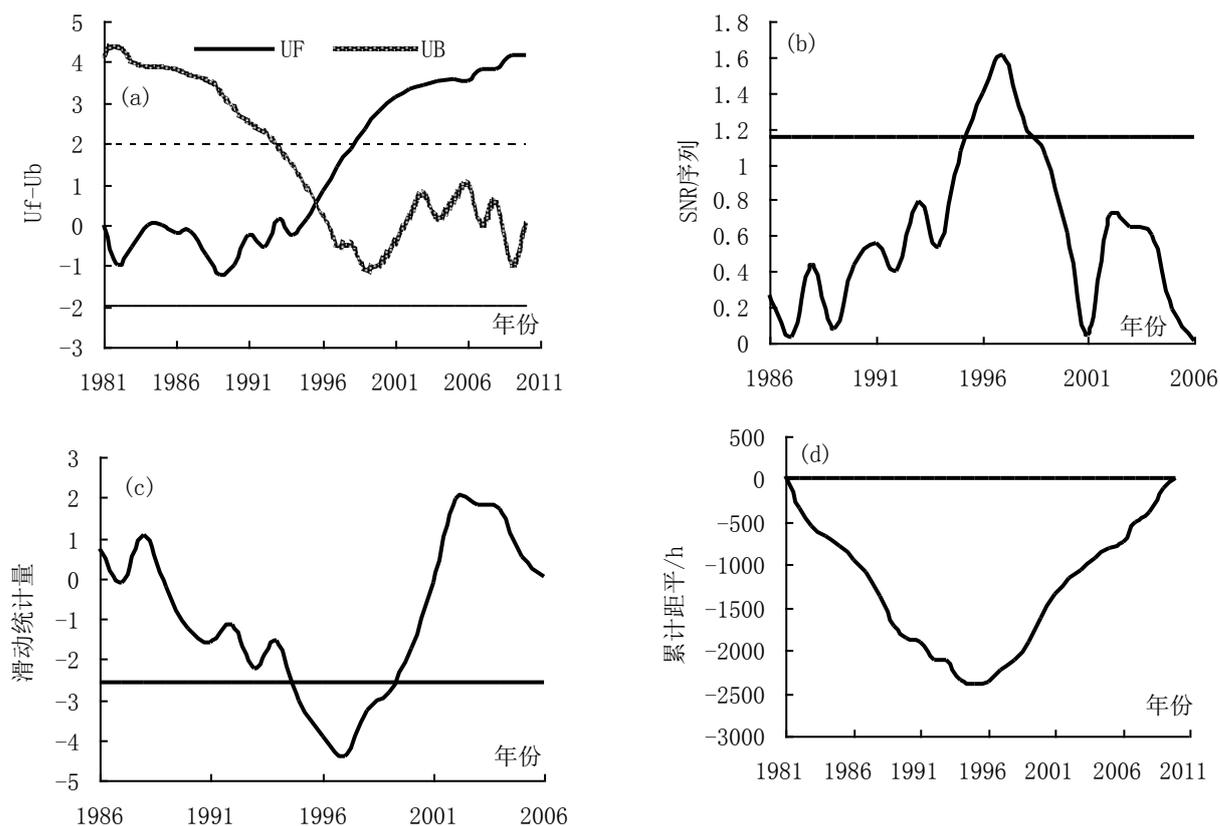


图 5-7 喀什市日照时数突变判别曲线图

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

## 6 喀什市沙尘天气的变化特征

### 6.1 浮尘日数的变化

#### 6.1.1 浮尘日数的年变化

喀什市浮尘天气较多发生的县市之一。尤其是在春天发生的浮尘天气较频繁,这主要是由地面冷空气自西伯利亚翻越天山而来,有时由南疆盆地先侵入喀什市,再加上地形的影响,形成大风<sup>[51]</sup>。春季大风发生频率高,气温变暖解冻,地表土层疏松,引起容易起沙,因而是浮尘天气的发生频率高。喀什市浮尘日数趋于逐步减少趋势,每10a减少57.1d(图6-1)。近30年来浮尘发生平均天数为90d,1981-2010年发生的浮尘日数总日数达2666d。80年代为上升趋势,并出现两个历史峰值分别为1984和1985年均为233d;其次是90年代,发生浮尘天气日数为63d;21世纪前10年为最少,42d,其中2005年发生次数为24d。浮尘日数最多发生年份主要是有80年代初、中期和90年代初期,这些年浮尘日数都在平均值以上。

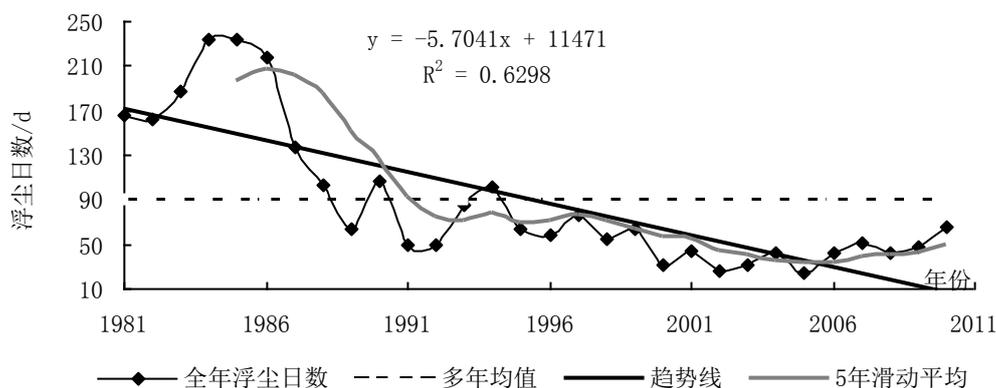


图6-1 喀什市年平均浮尘日数变化曲线图

#### 6.1.2 浮尘日数的季节变化

喀什市1981-2010年各个季节的浮尘日数均有下降趋势,但各有不同之处。其中春季(图6-2),喀什市是浮尘天气最多发生的季节。1982年为浮尘日数最多的一年,为22d;80年代和90年代均是喀什市春季浮尘天气发生频率最高的时期,图中还可以看出,80年代发生率比90年代高,比90年代多发生7d。而21世纪前10年是浮尘天气减少较明显的阶段。2005年为浮尘天气为最少发生的一年,仅有3d发生浮尘天气。近30年来春季浮尘日数以每10a减少3.9d。夏季与春季不同的是浮尘天气多集中在80年代,最多的浮尘天气也发生在这段时期,1984年达23d;而90年代浮尘日数减少很明显,相比80年代浮尘日数减少9d。进入21世

纪前10年也是浮尘天气发生率较低的时期，与90年代的平均浮尘日数相差1d。

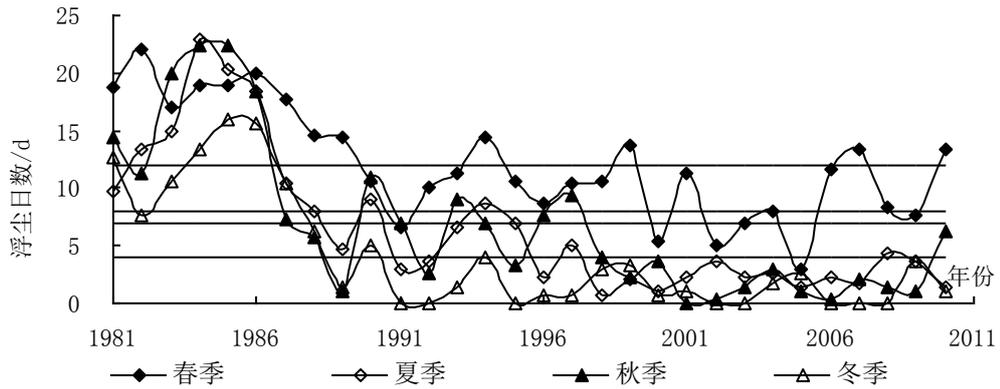


图6-2 喀什市四季浮尘日数变化曲线图

秋季浮尘日数是四季中减少速度尤为明显，每10a 减少5.6d。平均浮尘日数为8d，其次与春季浮尘天气多发生的季节之一。80年代浮尘日数最多，1984年和1985年达到最高值，均为22d；90年代秋季浮尘日数的波动幅度较大。近10年来秋季浮尘日数为最少，有些年还未见浮尘天气现象。比如2001和2006年均未发生浮尘天气。冬季是喀什市浮尘天气最少发生的季节，减少为4.1d/10a。与其它季节不同的是，80年代浮尘日数发生次数最多之外，从90年代开始有些年份都没发生浮尘天气，发生浮尘天数与近10年的一样，浮尘日数均为1d。

## 6.2 沙尘暴日数的变化

### 6.2.1 沙尘暴日数的年变化

喀什市属于干旱气候带，沙尘天气的出现受气温的影响，由于气温升高，蒸发量增大，地表干旱，容易起沙，遇到大风日，极易造成沙尘天气<sup>[52]</sup>。喀什市经常受到西北风的影响，沙尘暴发生的可能性和频率也较多。沙尘暴也是影响农业生产的重要指标之一，沙尘暴日数呈明显的下降趋势，变化倾向率为

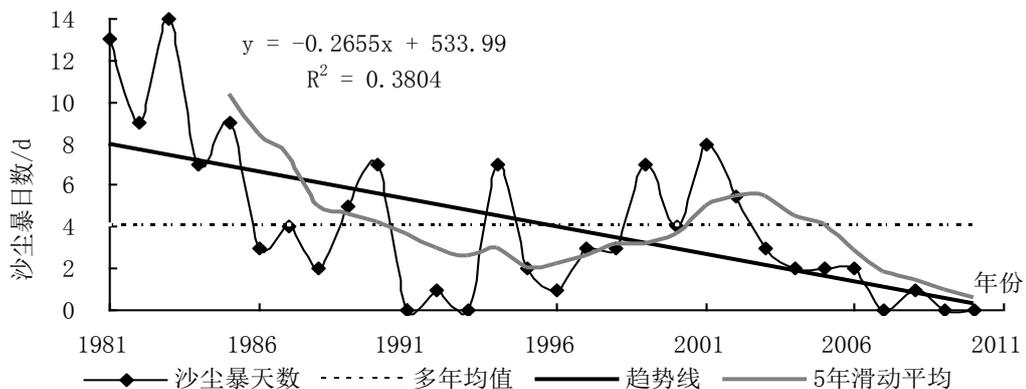


图6-3 喀什市沙尘暴日数年变化曲线图

-2.6d/10a, 变化趋势明显。80年代初、中期呈稍微上升趋势, 80年代后期到至今一值保持下降趋势。90年代上下波动较为明显, 出现两个波峰期, 分别是1990年(7d)和1994年(7d)。近10年沙尘暴下降趋势很明显, 以每10a减少7.6d。1991、1993、2007和2010年没有出现过沙尘暴天气(图6-3)。

### 6.2.2 沙尘暴日数的季节变化

喀什市各季节沙尘暴日数都呈减少趋势。其中春季的下降速度最为明显, 达到了-1.26d/10a的速率; 其次是夏季为-0.9d/10a和秋季-0.32d/10a; 变化幅度最小的是冬季, 为-0.16d/10a。春季是喀什市沙尘暴天气最多发生的季节, 达到69d, 其中80年代为最多(37d), 90年代和近10年来沙尘暴日数基本上相等, 90年代比近10年的少2d。其次是夏季沙尘暴日数最多(47d), 80年代沙尘暴发生日数最多, 占夏季总日数的1/2。秋季和冬季沙尘暴日数发生率为最低, 分别为9d和6d, 这两个季节21世纪近10年里都没发生过沙尘暴天气(图(6-4))。

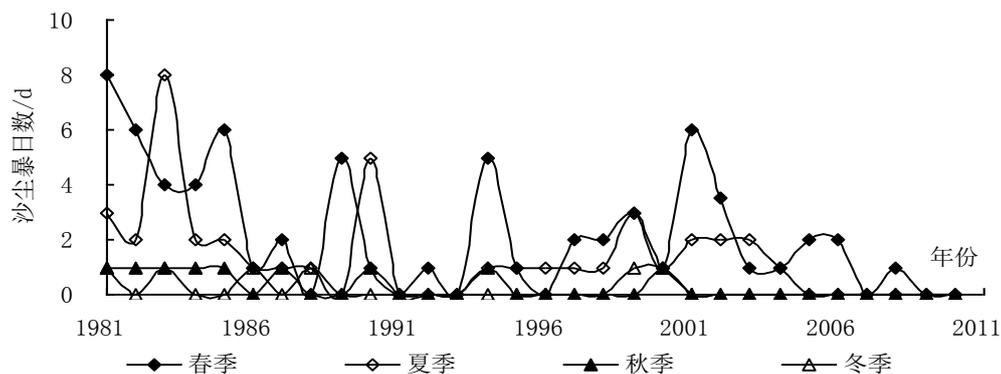


图6-4 喀什市四季沙尘暴日数变化曲线图

## 6.3 扬沙日数的变化

### 6.3.1 扬沙日数的年变化

扬沙是由于本地或附近尘沙被风吹起而造成的。能见度明显下降, 出现时天空混浊。在喀什市扬沙春季容易出现。扬沙天气时风较大, 影响的能见度在1公里到10公里之间。据统计, 新疆扬沙的平均风速为5.5~7.0m/s<sup>[53]</sup> 喀什市扬沙日数近30年来基本上没有变化, 每10a只有0.7d的上升速度。扬沙的平均发生日数为26天, 30年里发生的总日数达772d。分年代来看, 喀什市80年代扬沙天气较多, 平均为26d, 其中1981和1987年的发生率较高; 90年代略有减少趋势, 比80年代少于2d; 但进入21世纪以来, 扬沙天气又有升高趋势, 甚至比80年代的发生次数还高, 尤其是2009年扬沙天气发生47d。扬沙日数年变化趋势是: 高-

低-高的波动趋势（图6-5）。

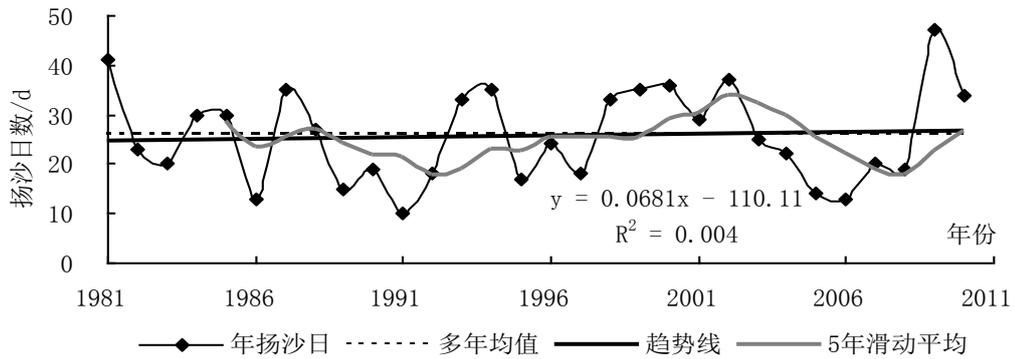


图6-5 喀什市年平均扬沙日数变化曲线图

### 6.3.2 扬沙日数的季节变化

喀什市近30年，春、夏、秋、冬季扬沙日数的气候倾向率分别为1.5d/10a、-0.2d/10a、-0.1d/10a、-0.3d/10a。可以看出，除了春季，其他季节都呈减少趋势。尤其是冬季的减少趋势最快，其次是夏季和秋季。各季节扬沙天气主要发生在80年代和90年代；进入21世纪以后，发生频率有所下降。其中夏季跟别的季节有所不同，即夏季80年代中期到90年代中期的扬沙日数比较少，1996年开始有增多趋势。

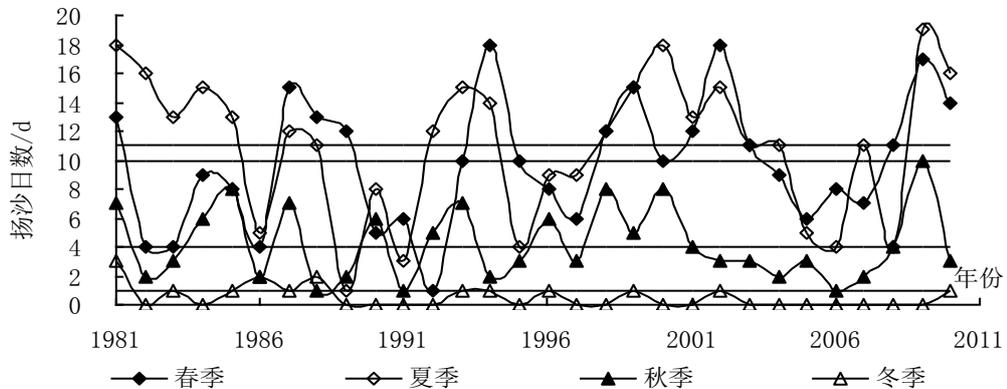


图6-6 喀什市四季扬沙日数变化曲线图

## 6.4 大风日数的变化

### 6.4.1 大风日数的年变化

从喀什市大风日数的变化图（6-7）可看出，近30年来大风日数有所减少趋势，而且下降趋势很明显，以每10a减少4.8d。1982和1983年大风日数发生率最多，均为20天；而2009年没有发生过大风天气；最多发生日数与最少发生日数相差20d，30年平均大风日数为9d。从图中还可以看出，喀什市80年代

大风日数发生率最高，其次是 90 年代，21 世纪前 10 年最少，各年代有逐步减少趋势。

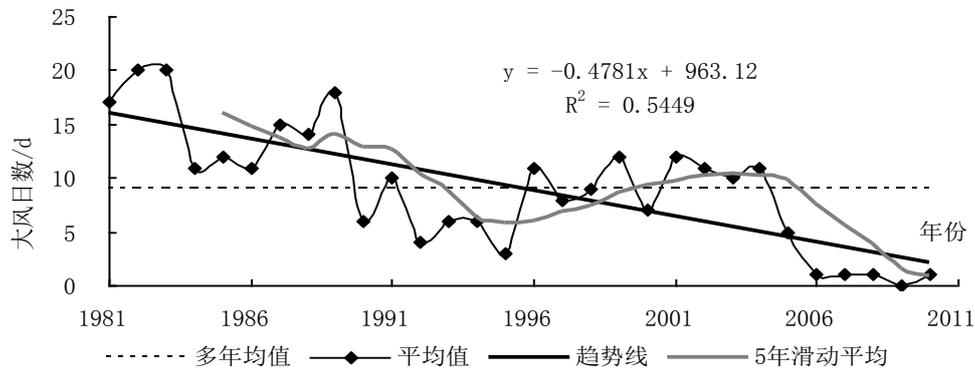


图 6-7 喀什市大风日数年变化曲线图

#### 6.4.2 大风日数的季节变化

喀什市近 30 年春、夏、秋、冬季大风日数的气候倾向率分别为-1.6d/10a、-2.3d/10a、-0.6d/10a、-0.1d/10a。可以看出，各季节大风日数都呈减少趋势。尤其是夏季的减少趋势最快且很明显，其次是春季；秋季和冬季几乎没有大风天气，最多发生也 3-4d 左右。各季节大风天气主要发生在 80 年代和 90 年代后期；进入 21 世纪以后，发生频率有逐步下降。

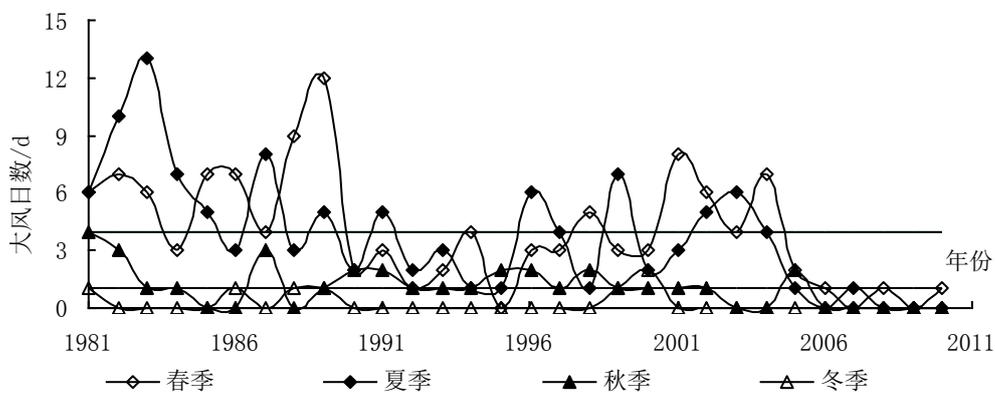


图 6-8 喀什市四季大风日数变化曲线图

## 7 气候变化对农业生产的影响

### 7.1 主要农业生产情况

#### 7.1.1 喀什市种植业生产情况分析

种植业是人们进行大田及园艺作物生产、管理的产业。作物通过光合作用制造的有机物质，是人类最主要的物质和能量来源之一。种植业生产主要包括粮食和豆类作物、纤维作物、油料作物、蔬菜的栽培与管理。

2001-2010年，喀什市农业适应市场需求，农作物种植结构进一步优化，种植业扩大水稻、小麦、玉米、甜瓜、苜蓿及蔬菜种植面积。2010年底，全市粮食作物与经济作物种植面积比2001年的55:28调整到124:74，及比例大幅度提高。粮食作物播种面积和产量分别达12428公顷和77694吨，比2001年增多6898公顷和37338吨。其中，水稻由2001年的600公顷和6446吨，调增到2010年的1528公顷和11248吨；小麦由2001年的3350公顷和21992吨，增长到2010年的7470公顷和45102吨；玉米由1580公顷和11918吨，增长到3430公顷和21344吨。可看出，小麦的播种面积增多幅度最大，玉米的最小。蔬菜和瓜类的播种面积达7376公顷(2010年)，比上年调增面积1500公顷，增加幅度为25.6%，比2001年增多4573公顷，总产量比2001年增多4755吨。其中，蔬菜的播种面积以2001年的2410公顷，增加到2010年的6579公顷；总产量达268911吨。瓜类播种面积以2001年380公顷，增加到2010年的657公顷；总产量增到24628吨。苜蓿种植面积1514公顷，总产13560吨。喀什市农作物品质结构加步改善。在加强结构调整的同时，喀什市在种植业生产方面获得发展(图7-1)。

#### 7.1.2 林果业生产基本情况

林业与种植业一样，是构成喀什市农业的主要的部门之一，是增加经济的重要组成部分。它既是社会性的大产业，又是一项公共事业，兼有经济效益、社会效益和生态效益。林业的经营对象是森林，它不仅提供人类生存所必需的生物资源及林产品，而且森林作为喀什市生态系统的主体，对改善环境和城市化的快速发展起着决定性作用，具有巨大的和不可替代的生态功能。

喀什市2001-2010年的，林业生产发展速度比较快。尤其是2006年以后发展进一步加快，但到了2010年处于稍微减少趋势。2010年林果总面积达5976公顷，其中，杏树面积约878公顷、葡萄面积2358公顷、石榴面积为1427公顷、红枣面积达1018公顷，比上一年分别减小4、3、17和3公顷。总产量也是逐年增多的趋势。其中石榴的增多趋势比较明显，2010年已达10685吨(图7-1)。

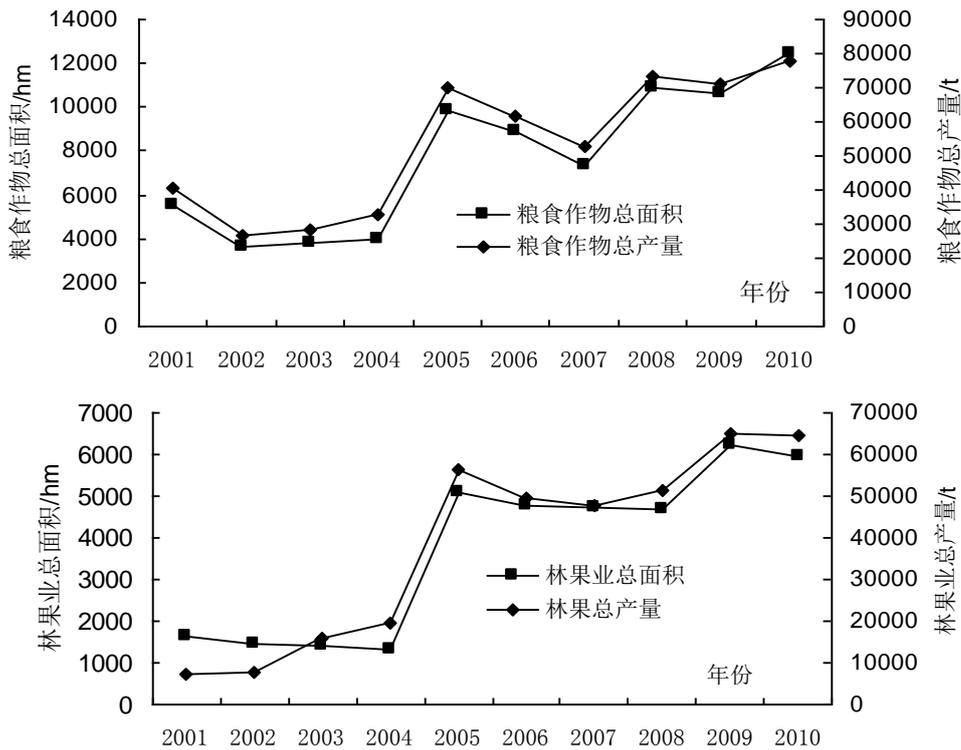


图 7-1 喀什市近 10a 粮食作物与林果业的总面积和总产量变化曲线图

## 7.2 气候变化对农业生产的影响

气候变化对整个农业生态系统的平衡与农业生产的可持续发展带来重大影响。气候变暖对粮食生产的可能影响是：作物生长季节温度升高、生育期缩短、加速发育、产量降低；干旱地区降水量少，蒸发量大，干旱率可能增加，造成粮食减产。

中国是农业大国，农业是对气候变化最为敏感的部门之一。气候变化将使农业生产面临以下几个问题：一、农业生产的不稳定性增加，产量波动增大。估计 2030 年，中国种植业产量总体上因全球变暖减少 5%-10%，其中小麦、水稻、玉米三大作物产量均以减少。二、农业生产结构和布局将出现波动，使中国种植制度进一步发生变化。到 2050 年时一熟制地区的面积减少 23.1%。三、农业成本和投资增加、农业生产条件发生改进，喀什市也不例外。气候变暖造成地力下降、使土壤有机质的微生物分解加快、农药的施用量增大，投入也增加。

近 30 年来，喀什市年平均气温及秋冬季平均气温也呈明显的上升趋势，进入 21 世纪以来，年平均降水量增多，日照时数也增长趋势，沙尘天气发生率减少。这些变化对喀什市的小麦、水稻、石榴、杏子等农作物和果树的生长发育、产量和品种都带了有利和不利的影响。

### 7.2.1 气温变化对农业的影响

近 30 年来，喀什市的年平均气温、季节气温和日较差都呈上升趋势。这种气候变暖对农业的主要影响有：

(1) 农作物生长的决定性因素是温度。在一定温度范围内，温度升高，将喀什市农作物的生长发育速度加快。进入 21 世纪以来，由于喀什市冬季气温增高对小麦、玉米一年一熟的种植有利。据研究，作物生育期气温每升高  $1^{\circ}\text{C}$ ，冬小麦生育期日数全国平均缩短  $17\text{d}^{[54]}$ 。如小麦适宜生长的温度一般为日平均气温  $\geq 12^{\circ}\text{C}$ 。从而适宜生长期有所增长，小麦的生育期 21 世纪前 10 年比 20 世纪 90 年代延长了 9-10d。适宜生长期的变化对于小麦种植区的扩大和耕作制度的调整是有利的。但超过上限的高温会使作物遭受高温胁迫，生长发育受到抑制而普遍减产，这反而有可能导致产量下降，品质的改变。比如 2007 年喀什市平均气温为  $14.0^{\circ}\text{C}$ ，此年喀什市小麦总产量为 21.7 万吨；比 2005 年，比较适宜的温度  $12.7^{\circ}\text{C}$  时的总产量减少 8.4 万吨。

(2) 气候变暖也将改变农药的施用。随着作物生长季延长，昆虫繁衍代数也增加，冬温较高也有利于其安全过冬，各种病虫害发生的范围扩大，加剧土壤有机质中的微生物分解速度，使来年春夏的病虫源基数增大，造成地力下降，不得不施用大量农药和除草剂。有些过去不曾出现的病虫害也会出现，对农药生产和生产布局将产生重大影响，农业生产的成本也会上升。2005 年玉米总产量为 24.5 万吨，这时喀什市近 10 年来的偏冷年份；而到了 2007 年玉米总产量减产到 14.9 万吨。为应对这种不利局面，喀什市不得不加大农药的使用量，这会增加农药污染，使农产品质量下降，引发危害面积扩大，危害程度加重。

(3) 温度升高可能使蒸发量增大，使土壤中水分的蒸发速度加快，变得干旱，有些作物的可利用水资源会减少，热量资源增加导致的积极方面可能会由于水资源的缺乏而得不到充分发挥。如不增加灌溉，不满足作物对水分的需求，灌溉小麦、水稻可能减产，会提高喀什市的生产成本。

(4) 一个地区气温日较差大小影响该地适宜种植的植物，是很重要的农业生产指标。喀什市大致年日较差上下波动没有明显的变化，但除了冬季以外，春、夏、秋季的日较差都是减少。根据统计喀什市冬季温差 21 世纪前 10 年，比 20 世纪 80 年代增高了  $0.7^{\circ}\text{C}$ 。春季 80 年代后期的气温日较差，比近 10 年的平均值低  $1.4^{\circ}\text{C}$ 。气温日较差的变小，会影响对小麦的光温需求，不利于光合产物的积累，使作物的蛋白质含量降低。这对该市葡萄、杏子、石榴等主要水果的产量和品种都有不利影响。因为日较差变小，阻止植物的光合作用，制造和积累营养物质的功能变弱。因此水果的含糖量下降，导致产品质量下降。如：2008 年喀什市夏季日较差为  $26.4^{\circ}\text{C}$ ，此年喀什市石榴总产量为 12.2 万吨；而 2010

年夏季日较差 24.9℃时，总产量下降 10.7 万吨。

### 7.2.2 降水对农业的影响

气温上升的同时，喀什市的降水量在年代和年际降水量也在逐年增多变化。但各季节变化不同，其中夏季降水减少，春季降水增多不明显。包括喀什市的我国西部是世界上著名的干旱区，春秋季节喀什市盛行来自塔克拉玛干沙漠的东南风，空气干燥，水汽含量小。这使得喀什市的农业生产产生严重的影响。

(1) 降雨增多对农作物的生长发育有利影响，利于旱地作物播种出苗、早稻移栽以及冬小麦和玉米开花授粉结实，可以提高区域的生产力水平。2008 年喀什市降水量近 10 年中最少 (39.4 mm)，此年小麦与玉米的总产量分别 21.7 万吨和 14.9 万吨；2010 年降水量达 191.6 mm，此年小麦与玉米的总产量分别增加 45.1 万吨和 21.3 万吨。降水过程对喀什市土壤表层旱情有所缓解，减少受灾面积。如喀什市降水多将小麦生长的有利之处，可以有效地解除了去冬今春以来的旱情，对小麦浇了灌浆水，对增加小麦穗粒数和千粒重有很好的促进作用。对化肥的使用，有效地增强了小麦生长期间的抗性。受前期干旱天气影响，该市小麦生长期较短，蹲苗较好，避免了降雨可能引起倒伏现象发生。小麦灌浆后期将不会出现干热风等高温逼熟现象，相比去年收获期可能推迟 3-5d。如果后期以晴好天气为主，有利于增加小麦千粒重。

(2) 降水增加对经济林木、果树开花授粉也十分不利。春天开花的石榴、葡萄、杏子等水果由于连续受到降雨的影响，导致落花、落果、裂果增多、栽培难的问题，使水果减产，授粉结实率将受到较大影响。不利于后期产量形成，产量和品质受到很大影响，采收后易腐烂还带来些经济损失。如：2010 年 3 月 22 日-24 日，喀什偏南地区出现中量以上降雨，其中喀什市当天降水量为 9.5 mm，大雨把部分花朵打落，影响杏子座果率有较大幅度下降，一般在 30%~50%，最大降落幅度在 60%以上，导致了喀什市 2010 年杏子大幅度减产<sup>[55]</sup>，此年杏子总产量为 22.4 万吨。

(3) 降水量增加会水热配合不协调，无助于农业生产，有时还会造成洪涝灾害。农作物遭受洪水倒灌，部分农田被冲毁，造成绝收，被冲毁的农田土壤肥力流失严重，也不利于改种。降雨增多、适温、高湿给农作物病虫害多发，对农产品多种病虫害的侵染、蔓延较为有利。再说对农产品灌浆期的光合作用受到有一定影响，这还引起对农田喷施磷酸二氢钾等化肥，导致作物生产力下降，生产成本高等现象，也不利于春播作业以及设施农业生产。

(4) 对于一些地区，本来水热资源配合较好，降水量的增加对农业生产没有多大实际意义。但对于西部地区的喀什市，本来就干旱地区，水热资源配合不均匀，降水量的增加对该市由一定有利不利影响。

### 7.2.3 日照时数对农业的影响

喀什市主要种植粮食作物是小麦、玉米和水稻。玉米是喜光作物，全生育期都要求强烈的光照。出苗后，在 8-12 h 的日照下，发育快、生育期缩短、开花早，反之则延长。玉米在强光照下，净光合生产率高、有机物质移动快，反之则慢。喀什市玉米生长期主要集中在夏季，夏季日照时数增加趋势十分明显，夏季日平均日照时数 918.6h，21 世纪初的近 10 年夏季日照时数增长速度更快。充足的光照进行光合作用，很快获得较高产量，会给玉米生长带来有利的影响。7 月种植水稻拔节、孕穗期，玉米抽雄、吐丝期，充足的太阳辐射影响作物的正常光合作用和干物质积累。使水稻拔节期加快；由于土壤通气性好，根吸收能力强，营养物质供应多，使玉米造成增产。2006 年喀什市年平日照时数 160.0h，当时玉米总产量为 18.1 万吨；到了 2009 年玉米总产量达 20.9 万吨，因为此年日照时数近 10 年最多，作物接受的光照时间长有助于玉米的生长增产。

### 7.2.4 沙尘天气对农业的影响

农作物的减产、破坏是由于受到环境的不断恶化，沙尘天气是大风引起的。沙尘天气的频率增加对小麦、玉米、水稻和林果业发生危害。尤其是对林果产品的发育、生长受到明显的危害。2010 年，喀什市的浮尘日数较多（66d），使玉米后期，造成籽粒小，下降产量；此年比 2005 年（浮尘日数少，为 24d）的总产量少 3.2 万吨。大风能增强空气与地面的热量与水分的交换，增加土壤的蒸发，增加空气中的 CO<sub>2</sub> 的交换，因此作物群体之内的空气更换加快，调节株间水分和温度，大风还可以进行花粉之间的授粉和传播，增加作物的质量和增产。但过于 6 级以上的大风造成作物的落花、落果和倒伏，严重影响作物的生长发育和产量增减；加重土壤的干旱，造成风沙，还能传播病虫害。

### 7.2.5 气候的季节变化对农业的影响

喀什市近十年春季气温高，天气干燥多风，降雨量少，气温回升快，蒸发剧烈。随着土壤底墒的减少，表层土很快变干，这就形成了春旱。它直接威胁着越冬作物的正常生长和春播作物的播种出苗。春旱发生的时期正是冬小麦返青、拔节、抽穗和开花之时，也是小麦和其它农作物需水量最多的时期。喀什市近 10 年降水减少趋势，若此时水分不足，影响小麦灌浆，品质下降。总之，3-5 月期间，冬小麦的耗水量较多。在这一时期内发生干旱，直接影响农作物的产量，影响到小麦的穗、小穗及开花等生殖器官的发育，导致减产。这个时期又是农作物春播阶段，玉米、豆类、棉花等作物的播种育苗、移栽等都须在此期进行。若发生春旱，土壤表层含水率降至 9% 以下，干土层超过 5~8 cm 时就会延误农事，影响适时播种和栽苗，给全年的农业生产带来影响。

夏季喀什市本来就降水较多的季节。但近十年来,随着气温的升高,喀什市夏季降水逐步减少,高温天气持续时间长、影响范围广、发生强度高,致使夏季水稻花粉活力降低,空壳率增加、粒重降低、玉米授粉受阻、棉花蕾铃脱落,对秋收作物生长和产量造成不利影响。晴热高温还导致农田土壤失墒加剧,喀什市部分地区旱情发展,对蔬菜、瓜果等的生长和成熟十分不利,降低了产量与品质。而2010年喀什市夏季降水突然增多,气温降低,影响秋收作物正常生长发育,喀什棉区6-7月出现低温多雨天气,日照偏少,棉花发育迟缓,开花期偏晚,棉花产量,果树产量少于常年和2009年。

喀什市秋季气温偏高,光照充足,降水增多。秋季喀什市主要农区光、温、水条件匹配较好,总体气象条件利于秋收作物产量,收获晾晒和秋播作物播种及苗期生长,土壤墒情适宜,晴到多云天气利于大多水稻、玉米等作物成熟收晒,机械化收割进度明显加快,农区秋收进展整体顺利。但有些年份出现低温连阴雨、大风等灾害,农业生产受到一定影响。对果树断折,蔬菜、玉米等农作物遭受不同程度的危害,导致减产,影响农作物的质量和产量。

喀什市冬季近10年来气温逐步升高,冬季气温偏高将给农业生产带来影响。气温偏高有利于虫卵、病菌越冬,害虫越冬提供了有利条件。易导致次年春季病虫害蔓延,对农业生产带来非常不利影响。同时由于喀什市冬季气候干燥,还会造成土壤失墒,有可能引发部分地区的春旱。另一方面,气温偏高有利于土壤热量积累,对小麦等冬作物生长发育产生有利影响。

### 7.2.6 气候变化对喀什市粮食产量的影响

农作物的产量是生产力条件、农技措施、作物的品种、抗旱性等自然因素综合作用的结果。对某个地区来说,土壤和农技措施是比较稳定的因素。气候变化对喀什市粮食产量产生影响时,将气象产量分离出来分析。影响作物产量的主要因素是气候条件的好坏。因此,粮食产量即可表示为气温和降水的函数。

自然生产力中气候生产力是最主要的内容。用气候条件来计算农业生产潜力就等于气候生产力。它主要表示在该地的光、温、水等气候因子的作用下,假设作物的品种、土壤、栽培技术、化肥等都得到充分利用时,单位面积可能达到的最高产量,称为气象产量。本文选了李斯方法来算出农作物气候生产力,并对生产力的对策提供了依据。李斯根据植物产量与年均气温、年降雨量之间的关系,用实际蒸散量估算植物产量的公式,即称ThorntwaiteMemoriae模型<sup>[56]</sup>:

$$P_v = 30000(1 - e^{-0.0009696v-20}) \quad (7.1)$$

$$V = 1.05r\sqrt{1 + (1.05r/L)^2} \quad (7.2)$$

$$L = 300 + 25t + 0.05t^3 \quad (7.3)$$

式中 $V$ 是年均蒸散量： $L$ 为年均最大蒸散量，它是气温 $t$ （ $^{\circ}\text{C}$ ）的函数；30000是经验系数，是李斯经过世界各地资料来分析出来的地球自然植物在每公顷面积上全年的最高干物质产量。 $P_v$ 就是(7.1)-(7.3)式计算出来的作物气象产量，它的单位是 $\text{kg}$  介田 12a。(7.1)式是充分考虑了光、热和水对作物干物质积累综合影响的模型，并且与作物的光合作用密切相关，这对利用气温和降水，讨论它的变化对作物产量的影响最明显的。

喀什市 1981-2010 年的年均气温和年均降水量资料，据(7.1) - (7.3)式，求出 30 年来的气象产量值。值的逐年变化曲线和 5 年滑动平均变化曲线。

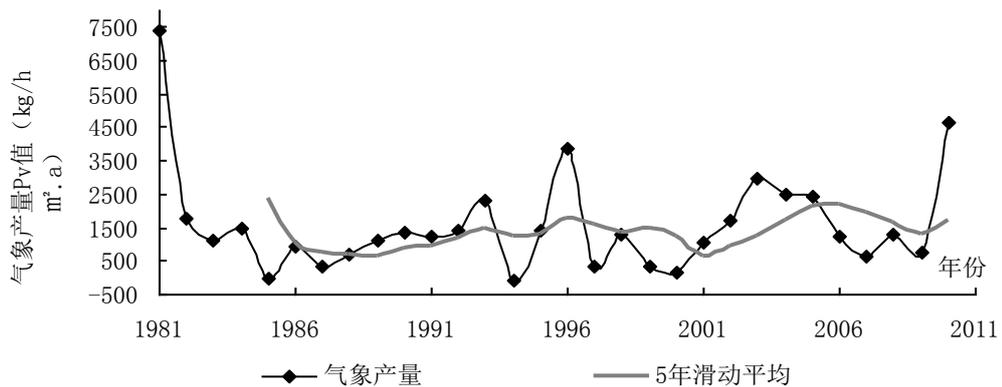


图 7-2 喀什市全年气象产量变化曲线和 5 年滑动平均曲线图

从图(7-2)可看出，气象产量呈上升趋势，年际变化也很大。80年代时 $P_v$ 值波动不大；90年代 $P_v$ 值开始上升，达到一个低谷期；到了21世纪近10年， $P_v$ 值开始上升，产生一个波峰，不过没有90年代中期的峰值大。

20世纪90年代之后的气象产量变化幅度明显高于80年代，而90年代是温度最高的十年。这说明了，随着气温的逐步升高，对喀什市粮食生产的稳定性受到了较大的影响。此外降水距平值的大小也直接决定气象产量的高低，即降水量过多或过少的年份，容易发生旱涝灾害。因此，气象产量一般为负值；而降水量接近平均值的年份，粮食产量一般较高，气象产量较低。由于近年来喀什市降水增多趋势，旱涝灾害也会相应增加，这要求喀什市的农业基础设施加快的重要步伐，不然粮食安全将得不到有效保证。

### 7.3 气候变化的农业适宜基本对策

为了使农业生产系统能较快的适应气候变化，增强喀什市农业生产系统的抗逆性和应变适应能力，实现农业可持续发展，应有计划的采取一些适应对策和措施。

#### (1) 合理利用农业自然资源，加强生态环境的保护和建设

加强生态环境的保护与建设，有利于控制和减少大气中的 $\text{CO}_2$ 浓度、降低

升温幅度、涵养水分、提高空气湿度和改善农业生态环境。对于缺水严重的喀什市，一定要注意对有限的水资源进行高效利用。要做到首先对耕地资源施行重点保护，要严格控制非农业的扩展，正确处理好建设用地与保护用地和保护耕地之间的关系；其次是加强对林地和草地资源的保护和合理利用，禁用滥伐森林，加强砍伐区的人工营造更新，扩大自然植被覆盖率；最后因地制宜地规划实施退耕还林还草。

#### (2) 调整农业种植结构和种植制度

改变种植作物的用途，如增加饲用玉米，饲用小麦和水稻的生产，有利于降低农业生产对气候变化条件的严格要求，降低农业对气候的敏感性。

随着喀什市农业生产水平和复种指数的提高，作物对适宜气象条件的要求更加严格，对不利气象条件的反应更加敏感。在高产水平下，产量基本上随着气象波动而波动。为此，在改革种植制度时，要深刻了解作物生长发育、产量形成和气象条件的关系，开展合理利用农业气候资源，防御农业气象灾害的研究，提供农业气象灾害的预报服务。

#### (3) 改进现有的农耕措施和经营管理

开发推广新技术，新措施，积极宣传新知识，新方法，就能在新的气候环境中变弊为利，变害为利，提高农业的自适应能力。如营造农田防护林，发展农田林网，既能增强对 CO<sub>2</sub> 的吸收，还能改善农田小气候环境，提高农作物的抗灾能力。如在喀什市改进灌溉方案，优化灌溉系统和灌溉方式，又如改漫灌为喷灌、滴灌，发展旱作农业、节水农作等提高灌喷水分的利用效率。

#### (4) 实行人工增雨和降雪

喀什市光热和土地资源丰富，唯水资源贫乏，气候多变。充分利用冬季变暖和降水增加的有利条件，开展人工增雨和降雪，增加河流径流，改善水资源状况，有利于喀什市农业作物的生长。

#### (5) 发展相关前沿科学和高新科技

面对新世纪人口、资源、环境、气候变化与可持续发展等问题，各地区的科学家们在农业有关的前沿学科领域积极探索，以保障在气候变暖情境下实现保护环境和可持续发展的协调双赢。喀什市也应从战略上分析该地区所面临的各种有利条件的制约因素，制定适合该地区实际情况的发展规划，加大投入力度，积极促进有关农业学科和高新科技，提高喀什市的农业生产适应气候变化的能力。

#### (6) 利用短期气候预报和网络为农民提供咨询服务

对位于中国西北地区的喀什市而言，网络的普及还比较落后。但将来有可能会根据短期气候预报，对农民提供调整品种和栽培措施的咨询服务。气候的际年变化具有随机性和不确定性，根据上年的经验教训，农户在在农业生产中

减少气象事件的概率，事实上重演前一年气象事件的概率是很小的。

(7) 消除农业自身污染

在农业生产中，不合理的使用化学制品，以及对农业废弃物（如作物秸秆、留在田里的塑料薄膜等）处理不当，都会造成农业污染。为消除农业自身污染，提倡秸秆还田，合理施用化肥，清理塑料薄膜，保持水田养分平衡等方法。

## 8 结论与研究展望

### 8.1 结论

本文通过对喀什市 1981-2010 年来的气温、降水量等气象要素和喀什市 2001-2010 年的农业数据进行年代、年际、季节和突变分析,初步揭示了喀什市的气候变化特征及规律,并进一步分析了这种气候变化对农业生产的影响。

(1) 近 30 年来喀什市年平均气温整体上呈上升趋势,增加幅度为年平均气温的气温偏向率为  $0.71^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 。20 世纪 80 年代为低温期,且有上升趋势不明显;但从 90 年代后期一直延续到 21 世纪初,气温有明显的上升趋势。年均日较差略为上升趋势,但上升趋势不明显。四个季节的变化趋势大致一致,都呈上升趋势,其中秋季的上升速率最高,冬季的最小。进行突变分析喀什市气温突变大概发生在 1996-1997 年左右。

(2) 喀什市近 30 年的多年平均降水量呈增多趋势,降水以每 10a 增加 8.12 mm,湿润化趋势较为突出。30 年多年平均降水量达到了 71.4 mm。喀什市 20 世纪 80 年代和 90 年代降水量在多年平均值以下,与平均值相差 5.0 mm、11.0 mm。进入 21 世纪以后,增长趋势显著。从季节降水倾向率上看,秋季的降水变化率最大 ( $6.37\text{mm}/10\text{a}$ ),冬季次之,春季最小 ( $1.06\text{mm}/10\text{a}$ ),夏季降水变化下降趋势。从突变分析可以看出,喀什市降水量在 2001-2002 年之间发生突变。

(3) 喀什市日照时数总体上呈上升趋势,其变化倾向率为  $166.5\text{h}/10\text{a}$ 。日照时数少的年份主要集中在 80 年代和 90 中期,反而日照时数较多的年份大部分集中在 90 年代后期和近 10 年。四个季节的日照时数均呈上升趋势,其中春季的增多趋势最明显,其次是秋季,最少的是夏季和冬季。对喀什市的日照时数进行突变分析可知,1996-1997 年间发生一次突变。

(4) 喀什市沙尘天气的变化:喀什市浮尘日数趋于逐步减少趋势,每 10a 以 54.9d 的速率减少。近 30 年来平均浮尘日数为 90d,1981-2010 年发生的浮尘日数总达 2666d。80 年代为上升趋势,其次是 90 年代,21 世纪前 10 年为最少,为 42d。各季节的浮尘日数也下降趋势。其中秋季的下降速度最快,以每 10 年下降 5.6d。

沙尘暴也是影响农作物的重要指标之一,沙尘暴日数呈明显的下降趋势,变化倾向率为  $-2.6\text{d}/10\text{a}$ ,变化趋势明显。80 年代初、中期呈稍微上升趋势,80 年代后期到至今一直呈下降趋势。30 年来喀什市扬沙日数以  $0.7\text{d}/10\text{a}$  的速度增多;四季中除了春季扬沙日数增多 ( $1.5\text{d}/10\text{a}$ ) 之外,夏、秋、冬季均呈下降趋势;大风日数下降趋势很明显,变化趋势为  $-4.8\text{d}/10\text{a}$ ;从 80 年代开始扬沙日

数逐步递减。80年代扬沙日数最多，90年代次之，21世纪前10年为最少。

(5) 进入21世纪以来，由于喀什市冬季气温增高，将喀什市的光热资源增加，对小麦、玉米、水果的生产引起了有益影响。此外温度升高引起农作物生长发育速度加快，生育期缩短导致单产下降。气候变暖也将改变农药的施用；随着作物生长季延长，昆虫繁衍代数也增加，冬温较高有利于病虫安全过冬，各种病虫害发生的范围扩大，加剧土壤有机质中的微生物分解速度，使来年春夏的病虫源基数增大，造成地力下降，不得不施用大量农药和除草剂。

降雨增多会对农作物的生长发育产生有利影响，利于旱地作物播种出苗、早稻移栽以及冬小麦的开花授粉结实，可以提高该区域的生产力水平。喀什市降水多将小麦生长的有利之处，可以有效地解除去冬今春以来的旱情，对小麦浇了灌浆水，对增加小麦穗粒数和千粒重有很好的促进作用。降水增多对经济林木、果树开花授粉也十分不利。秋天果熟的石榴、葡萄等水果由于连续受到降雨的影响，导致落花、落果、裂果增多，栽培难的问题，使水果产量减产，授粉结实率将受到较大影响。

沙尘天气对林果的影响比较明显，近10年来喀什市沙尘天气的发生日数逐步减少，这对春季开花的杏子、石榴、葡萄的生长发育、提高产量总数产生了有利影响。

## 8.2 研究展望

气候变化是一个复杂的变化系统，喀什市气候变化对农业生产的影响是非常重要的并很复杂。今后，加强气候变化的机理研究，加强灾害性天气对农作物生长和生产发生影响的研究，应从一个发展方向来考虑。气候变化由很多方面来对农业发生影响；增温有利于病虫、草害的增多和发展，快速分解土壤有机质，使土壤盐渍化，将改变已有的种植制度的布局。对于所有类似这些问题，也有期待今后进一步的研究并合理调整。气候变化是由人类活动和自然变化综合影响所致，但喀什市近30年气候变化究竟哪种因素占主导作用，影响程度如何，是更进一步查清和研究解决的问题。气候变化的影响涉及到自然生态系统以及社会经济系统的方方面面，但由于时间紧、工作量大，本研究仅涉及到气候变化对农业的影响，未涉及到其它方面，这都是今后进一步深入研究努力的方向。

农业生产不仅受气候的影响，还受到农业技术、国内国际的农业政策、农业贸易、农业管理方式、市场波动等要素的影响。这些社会经济因素都是影响未来农业生产的重要因素，在后的研究中应该加以考虑。

## 参考文献

- [1]叶笃正, 曾庆存, 郭裕福, 等. 当代气候研究[M]. 北京: 气象出版社, 1991.
- [2]张家诚. 气候与人类[M]. 郑州: 河南科学出版社, 1998.
- [3]国家科学技术委员会. 气候[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 1990.
- [4]倪允琪, 周秀骥, 张仁禾, 等. 我国南方暴雨的实验与研究[J]. 应用气象学报, 2006, 17 (6): 690~674.
- [5]王绍武. 近百年气候变化与变率的诊断研究[J]. 气象学报, 1994, 52(3): 261~273.
- [6]林而达, 许吟隆, 蒋金荷, 等. 气候变化国家评估报告(二): 气候变化的影响与适应[J]. 气候变化研究进展, 2006, 2(2): 51~56.
- [7]王菱, 谢贤群, 李运生, 等. 我国北方地区 40 年来湿润指数和气候干湿界限的变化[J]. 地理研究, 2004, 23(1): 45~54.
- [8]刘祥梅. 三峡库区的气候评价及近 54 年来的气候变化[D]. 西南大学, 2007.
- [9]张宇. 温室效应与气候变化对农业影响研究概况[J]. 山东气象, 1991, 3: 1~6.
- [10]康淑媛. 石羊河流域气候变化及其对雨养农业区农业生产的影响[D]. 西北师范大学, 2010.
- [11]费维扬, 赵兴雷, 周文戟. 全球气候变暖: 人类面临的世纪挑战[J]. 生态经济, 2009, 04(1): 24~29.
- [12]刘志澄. 湖北省气候变化、生态灾害与应变对策[J]. 气象学报, 2003, 98 (2): 492~501.
- [13]姚檀栋. 末次冰期青藏高原的气候突变[J]. 中国科学, 1999, 29(2): 175~183.
- [14]符涂斌, 王强. 南亚夏季风长期变化中的突变现象及其与全球迅速增暖的同步性[J]. 中国科学, 1991, (6): 666~672.
- [15]张先恭, 李小泉, 等. 本世纪我国气温变化的某些特征[J]. 气象学报, 1982, 03(2): 198~200.
- [16]田红, 李春, 张士洋. 近 50 年我国江淮流域气候变化[J]. 中国海洋大学学报 2005, 35 (4): 539~544.
- [17]龚敬瑜, 王谦谦. 江淮梅雨期降水不同尺度异常与 SSTA 的关系[J]. 南京气象学院学报, 2006, 29(5): 656~661.
- [18]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.
- [19]施雅风, 沈永平, 等. 中国西北气候由暖干向暖湿转型的信号、影响和前景初探[J]. 科技导报, 2003, 20 (02): 54~57.

- [20]任朝霞, 杨达源, 等. 近 50a 西北干旱区气候变化趋势及对荒漠化的影响[J]. 干旱区资源与环境, 2008, 22(4): 91~95.
- [21]于淑秋, 林学椿, 徐祥德, 等. 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): 9~17.
- [22]任朝霞, 杨达源. 近 50a 西北干旱区气候变化趋势研究[J]. 第四纪研究, 2006, 26(2): 299~30.
- [23]张家宝, 史玉光. 新疆气候变化及短期气候预测研究[M]. 北京: 气象出版社, 2002: 49~50.
- [24]李栋梁, 魏丽, 蔡英, 等. 中国西北现代气候变化事实与未来趋势展望[J]. 冰川冻土, 2003, 25(2): 135~142.
- [25]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.
- [26] 任朝霞, 杨达源. 西北干旱区近 50 年气候变化特征与趋势[J]. 地球科学与环境学报, 2007, 29(1): 99~102.
- [27]翟盘茂. 中国降水极值变化趋势检测[J], 气象学报, 1999, 57(2): 208~216.
- [28]朱西德, 李林, 秦宁生, 等. 青藏高原年降水量的气候变化及其异常类型研究[J], 气象科学, 2003, 23(01) 4: 452~459.
- [29]刘引鸽. 陕北黄土高原降水的变化趋势分析[J]. 干旱区研究, 2007, 30(07): 49~55.
- [30]靳立亚, 符娇兰, 陈发虎. 近 44 年来中国西北降水量变化的区域差异以及对全球变暖的响应[J]. 地理科学, 2005, 25(5): 567~572.
- [31]徐贵青, 魏文寿, 等. 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.
- [32]袁玉江, 何清, 喻树龙, 等. 天山山区近 40 年降水变化特征与南, 北疆的比较[J]. 气象科学, 2004, 24(2): 220~226.
- [33]胡汝骥, 马虹, 樊自立, 等. 近期新疆湖泊变化所示的气候趋势[J]. 干旱区资源与环境, 2002, 16(1): 20~27.
- [34]秦大河. 中国西部环境演变评估 [M]. 北京: 科学出版社, 2002: 49~50.
- [35]郑红莲, 严军, 元慧慧. 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.
- [36]Zhang Y, 1993. Hydrothermal to winter wheat growth simulation[J]. Weather , (7) : 19~32.
- [37]新疆维吾尔自治区统计局. 新疆统计年鉴—2005[R]. 北京: 中国统计出版社, 2005.

- [38]王元红. 西藏年平均气温增长率明显高于全球和全国[N]. 中国气象报, 2007.
- [39]肖军, 赵景波. 西安市 54 年来气候变化特征分析[J]. 中国农业气象, 2006, 27(3): 179~182.
- [40] 王遵娅, 丁一汇, 何金海, 等. 近 50 年来中国气候变化特征的再分析[J]. 气象学报, 2004, 2 (62): 228~236.
- [41]任宜勇. 新疆决策气象服务手册[M]. 乌鲁木齐: 新疆大学出版社, 2006.
- [42]刘彩红. 近 45a 新疆气候特征及异常研究[D]. 南京信息工程大学, 2008.
- [43]元慧慧, 李杰, 等. 1951~2007 年南疆地区气温异常的时空变化特征[J]. 气候与环境研究, 2012, 2 (17) :541~548.
- [44] 黄艳, 裴江文, 羊兴. 喀什地区 1961-2005 年降水变化特征[J]. 沙漠与绿洲气象, 2009, 3(3) :31-34.
- [45]Thomas R, Karl, Richard, W.Knight et al.1996.Indices of Climate Change for the United States. Bulletin of the American Meteorological Society, (77): 279~292.
- [46]赵庆云. 西北东部极端气候变化倾向和预报方法研究[D]. 南京信息工程大学, 2005.
- [47]李琴. 乌鲁木齐近 50 年的气候变化分析[D]. 新疆大学, 2006.
- [48]刘艳菊. 气候变化对山西省水资源的影响分析[D]. 河海大学, 2007.
- [49]赵霞, 张中伟, 张勇年, 等. 喀什市 1971-2007 年气候分析[J]. 科技论坛, 2010, 5: 235~236.
- [50]郭军, 任国玉, 等. 天津地区近 40 年日照时数变化特征及其影响因素[J]. 气象科技, 2006, 4 (34): 415~420.
- [51]张俊. 喀什地区春季大风的形成与预报模式[J]. 资源与环境, 2008(02): 180.
- [52]程立峥, 崔新华, 秦榕, 等. 新疆喀什极端温度和风沙日数变化特征分析[J]. 学术论坛, 2009(02): 244~245.
- [53]徐德源. 新疆农业气候资源及区划[M]. 北京: 气象出版社, 1989: 103~107.
- [54]杜华明. 气候变化对农业的影响研究[J]. 甘肃农业, 2006, 1: 97.
- [55]羊兴, 高移林, 等. 2010 年喀什重大天气气候事件对棉花, 杏树影响的评估[J]. 新疆农业科技, 2011, 05: 20~21.
- [56]高素华. 中国农业气候资料及主要农作物产量变化图集[J]. 北京: 气象出版社, 1995: 17~18.

### 在读期间发表论文

- [1]阿依仙木古丽·阿布来提, 买托合提·阿那依提. 近三十年新疆喀什市气候变化特征分析. 边疆经济与文化[J], 2012, (4): 169-172.
- [2]阿依仙木古丽·阿布来提, 买托合提·阿那依提. 新疆喀什市 1981-2010 年气候变化分析. 干旱区地理[J] (维), 2012, (1):63-70.

## 致谢

短暂的三年研究生生活即将结束，回首这三年宝贵的求学生涯，沐浴在师大良好的学风和校风的氛围中，不断的促我前行。在做人、做学问、做事方面，都有了进步，我不但在生活上过的充实而快乐，而且在学习和思想上都受益非浅，这些都与我的老师、朋友、同学们的鼓励、支持和关心是分不开的。

首先感谢我的导师买托合提·阿那依提副教授，在这三年的学习生活中，老师给了我莫大的帮助，从第一篇论文的写作，到现在毕业论文的定稿，老师费尽心血的帮助我改论文。大到论文的选题、结构的布局，小到标点符号的修改，导师严谨的治学态度及精益求精的工作作风，让我敬佩。

衷心感谢答辩委员会的各位老师，您在百忙之中抽出时间来审阅我的论文，为我指点迷津。

感谢吴炎老师三年来对我学习和生活的关心和帮助。感谢学校和院图书室的老师在学习、及资料的查阅过程中提供的无私帮助。

感谢师兄（姐）姑丽吧哈尔、加米拉、帕丽达，感谢感谢同室好友托合提姑丽、古丽巴合尔、比力克孜的真挚友情，感谢同师门兄弟姐妹的甘苦与共，感谢同班同学的互相鼓励。

最后我还要感谢家人，虽然他们没有直接参与我论文的写作，有了他们的支持，在今后的生活中我将更加自信、乐观，走向人生新的征程。

阿依仙木古丽·阿由来提

2013年6月4日