

# An Analysis of Climate Change in the Arid Regions of Northwest China in Recent 50 Years

Xiaoping Shi, Xiaojing Wang, Jingjing Li, Zhi Li\*

College of Natural Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling Shaanxi  
Email: \*553477618@qq.com

Received: Nov. 15<sup>th</sup>, 2016; accepted: Nov. 26<sup>th</sup>, 2016; published: Dec. 5<sup>th</sup>, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## Abstract

A more significant impact on arid and semi-arid area from climate change has long been certified. Therefore, it is necessary to be clear about the trend of climate change in arid area of Northwest China, so as to provide management basis for sustainable development. Based on the data from 152 meteorological stations of precipitation, temperature, wind speed, humidity and sunshine hours during 1961 to 2011, the spatial distribution and temporal trends in the arid region of northwest China were analyzed using different methods. In recent 50 years, these meteorological elements on the Arid Northwest spatially distributed with an obvious gradient. Maximum, minimum and mean temperature showed an increasing trend, while precipitation and relative humidity exhibited the trend of decrease from the southeast to the northwest; data showed that, sunshine hours and wind speed were high, while precipitation and relative humidity were low on the north and south strip. Different elements represent different changing trends over time, overall, in investigating years on researching area, precipitation and temperature were mostly on the rise, while sunshine hours, relative humidity and wind speed mostly decreased. The numbers of stations with significant trends for different meteorological elements were quite different. About 92% of stations had significant upward trends in precipitation and temperature, 69% of stations had significantly downward trends in wind speed, and about 40% of stations had significant downward trends in relative humidity and sunshine hours. The meteorological elements basically present abrupt change in the 1980s.

## Keywords

Arid Region, Climate Change, Spatial Distribution, Temporal Variation, Northwest China

作者简介: 石小平(1990-), 女, 湖北黄冈人, 研究生, 从事气候变化及水资源方面的研究。  
\*通讯作者。

文章引用: 石小平, 王小静, 李京京, 李志. 西北旱区近 50 年气候变化分析[J]. 水资源研究, 2016, 5(6): 538-552.  
<http://dx.doi.org/10.12677/jwrr.2016.56063>

# 西北旱区近50年气候变化分析

石小平, 王小静, 李京京, 李志\*

西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌

Email: \*553477618@qq.com

收稿日期: 2016年11月15日; 录用日期: 2016年11月26日; 发布日期: 2016年12月5日

## 摘要

气候变化对干旱半干旱地区的影响更加显著, 为此, 需要明确其气候变化趋势, 从而为可持续发展提供管理依据。基于152个气象站点1961~2011年降水、温度、风速、湿度和日照时数等气象资料, 分析了西北旱区气候的空间分布和变化趋势。近50年, 各气象要素的空间分布具有明显的梯度变化特征, 最高、最低及平均温度由东南-西北方向表现出增加的趋势, 而降水和相对湿度则表现出递减的趋势; 在旱区西部南北条带上, 日照时数和风速较高, 而降水和相对湿度较低。不同要素随时间变化趋势不同, 降水和温度多呈上升趋势, 而日照时数、相对湿度和风速则多呈下降趋势; 变化趋势的显著站点数不同, 92%以上站点温度和降水的上升趋势明显, 69%站点的风速下降趋势显著, 约40%站点的相对湿度和日照时数下降趋势显著; 各气象要素基本上都在1980s发生了突变。

## 关键词

旱区, 气候变化, 空间分布, 时间尺度, 西北

## 1. 绪论

气候变化受到各种因素的影响, 又对社会与自然的发展产生重要影响, 人类社会环境与生态系统的状况变得越来越脆弱, 与天气和气候有关的灾害给人类生产、生活及生命财产造成了巨大的损失[1] [2] [3]。全球范围内温度、降水等均发生明显变化[4] [5] [6] [7] [8] [9], 中国地区气候也已发生明显变化[10] [11] [12] [13], 气候变化越来越成为人们关注的重点。对气候变化趋势及其影响机制的研究, 有助于预测未来气候, 减少气候变化所造成的灾害。

气候变化对干旱、半干旱地区的影响更加显著[14] [15] [16] [17] [18]。我国西北旱区位于中纬度地带, 地域宽广, 地形复杂, 生态环境脆弱, 是全球同纬度地区中最干旱的地区之一[19] [20]。全球变暖背景下, 明确西北旱区的气候变化趋势, 对于分析该区农业生产和生态环境建设等具有重要的意义。但当前对该区气候变化的研究多针对单个气象要素, 如对温度和降水的研究较多[21] [22], 而对日照时间和相对湿度等研究较少, 且研究的时间较短, 站点数目和位置不同。不同研究间存在的这些差异, 导致所得出的结论不统一。因此, 对西北旱区进行长序列多站点的分析, 有利于全面了解研究区的气候变化特征。

本研究选用降水、平均温度、最高温度与最低温度、日照时数、相对湿度及风速等多个指标, 基于152个气象站点1961~2011年的数据, 分析西北旱区这些气象要素的空间分布与时间变化, 全面了解西北旱区气候变化特征, 为解释该区的其他环境变化提供相关的背景知识。

## 2. 材料与方法

### 2.1. 研究区概况

西北旱区包括陕西、宁夏、甘肃、青海、新疆以及内蒙古等地区, 地理位置在东经 75.23°~117.60°、北纬

32.20°~48.05°，且多年平均温度为 6.1℃，平均降水量为 246.7 mm，地理位置在大兴安岭以西，青藏高原和黄土高原以北的内陆地区，地处大陆的腹地，具有高山、平原、盆地等多种地形，包括天山、阿尔泰山、昆仑山和祁连山等高山，塔里木、准噶尔盆地，还有中国的四大沙漠和大片的戈壁，地理位置特殊，地形复杂，总面积为 403.2 km<sup>2</sup>，占我国国土面积的 42% [14] [15] [16]。

## 2.2. 数据来源与处理

选择西北旱区 152 个气象站点 1961~2011 年的气象观测资料，包括降水、温度、日照时数、相对湿度及风速等气象要素，数据来源于中国国家气象局，站点的位置和分布状况见图 1。

对气象要素的研究本文主要是从空间和时间这两个方面进行分析，采用反距离权重插值法(IDW)对气象因子进行空间插值，分析空间分布特征。IDW 是一种加权距离平均函数，研究结果与两样本间的地理距离有关，这种方法认为两种样本之间的地理距离越近它们之间的联系也就越大，反之则联系越小，符合气象站点间的联系规律[24]，是一种精确性插值方法。气象因子时间序列分析，一方面是对单调性分析采用 Mann-Kendall 法，简称 M-K 法，是一种非参数统计检验法，检验结果不受少数异常值干扰，假设气候序列平稳且具有随机性和独立性[25] [26]，利用统计量的均值和方差，将统计量标准化后通过显著性检验确定序列的增加或减少趋势。另一方面采用 Pettitt 方法检验各气象因子的时间突变年份，Pettitt 法也是一种非参数检验方法，适合于突变点较少的情况。

## 3. 结果与分析评价

### 3.1. 气象要素的空间分布

1961~2011 年，旱区各气象要素具有明显的梯度分布特征。总的来说，在东南 - 西北方向上，平均温度、最高温度、最低温度因子和日照时数均呈现出增加的趋势，降水和相对湿度值递减；在旱区西部的南北条带上日照时数和风速值较高，而降水和相对湿度却出现了比较低的值。这与目前我国西北部分研究结论基本一致[26] [27]。

由(图 2(a))可看出，西北旱区多年平均降水量各地不同，以陕西华山最大，为 817.5 mm，而新疆吐鲁番最小，只有 14.8 mm，平均值为 246.7 mm，变异系数为 0.24，属中等变异。降水的空间分布的梯度变化特征明显。由东南向西北方向降水先减少后增多，最大量出现在东南部，最小值出现在新疆南部。研究区的大部分地区降水量处小于 250 mm 和 400 mm 的干旱、半干旱区，只有南部小部分属半湿润区。

西北旱区平均温度(图 2(b))的最低值-5.2℃出现在青海伍道梁，最高值 14.8℃出现在甘肃武都，多年平均气温 6.1℃，变异系数为 0.13，属中等变异。除了新疆南部地区的温度高于 9.0℃外，大部分地区的温度在 2℃~7℃间。最高温度年均值为 13.4℃，最大值出现在新疆吐鲁番(21.8℃)，最低值出现在青海伍道梁(2.4℃)；最低温度的年均值为-0.1℃，最低值在青海的清水河(-11.3℃)，最高值在甘肃武威(1.8℃)。平均、最高和最低温度的空间分布一致，总的趋势沿东南 - 西北方向递增，梯度分布特征较降水复杂，不同区域温度差别较大，气温的日较差从 6.5 到 17.3℃。

相对湿度(图 2(c))的多年平均值为 58.5%，最低值点在青海冷湖(29.2%)，最高值点在陕西武功(71.4%)，变异系数为 0.06。除东南和西北少部分地区相对湿度大于 55%，大部分区域相对湿度低于 50%。平均日照时数(图 2(d))为 7.8 h，介于 5.2 h (甘肃武都)~9.4 h (青海冷湖)，变异系数为 0.05，除内蒙、青湖地区的日照时数大于 8 h 外，大部地区的日照时数在 6~8 h，日照时数的梯度变化特征也很显著。平均风速(图 2(e))的最低值点在新疆拜城，为 0.9 m/s，最高值点在新疆达板城，为 5.9 m/s，多年平均风速平均值为 2.6 m/s，变异系数为 0.22。旱区大部分的西北和南部地区的平均风速在 1.5~2.7 m/s，内蒙古的大部分地区及青海中部南北条带的风速大于 3 m/s。总体来说，西北旱区东南方向相对湿度较西北方向高，西南方向日照时间相对较长。

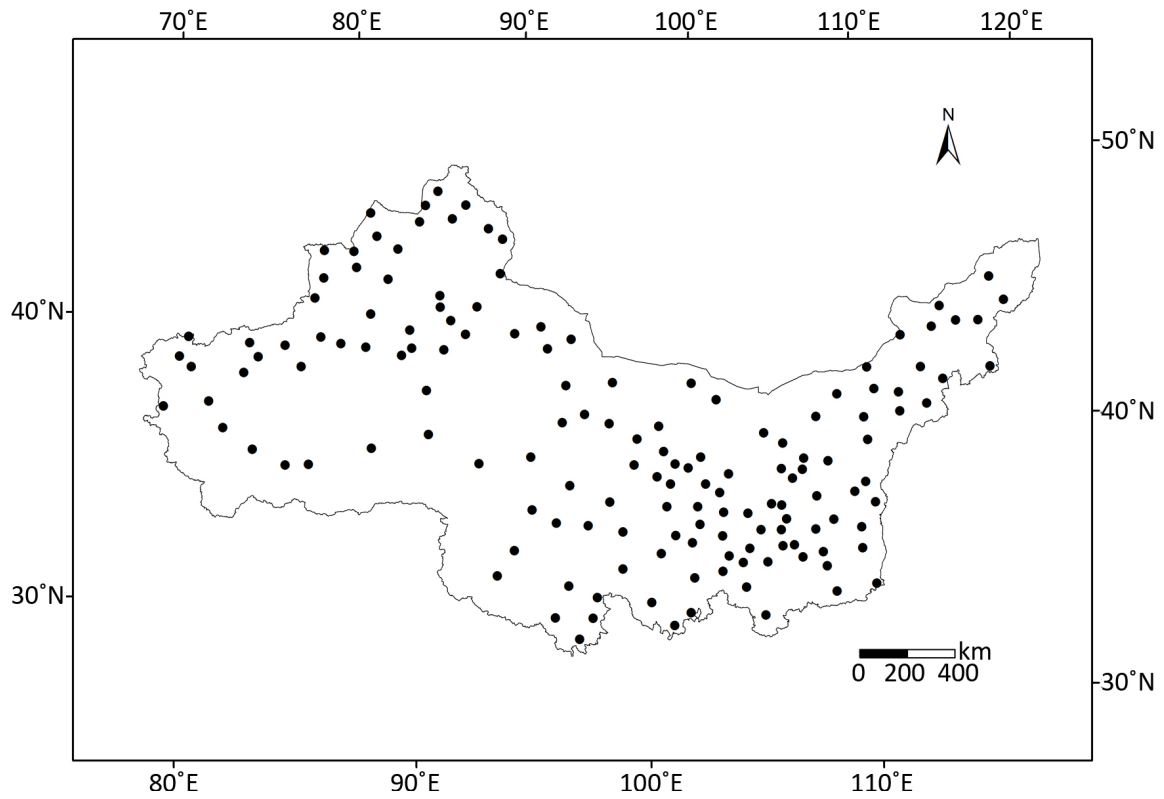
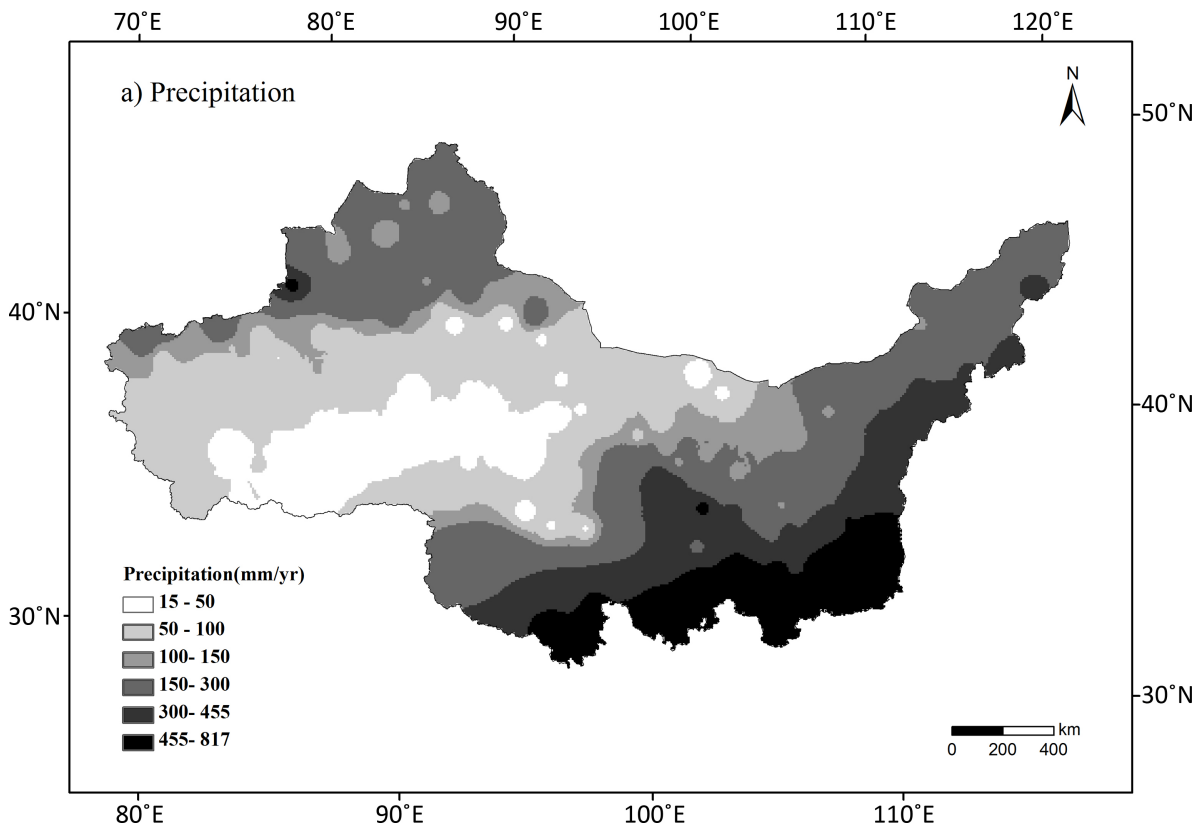
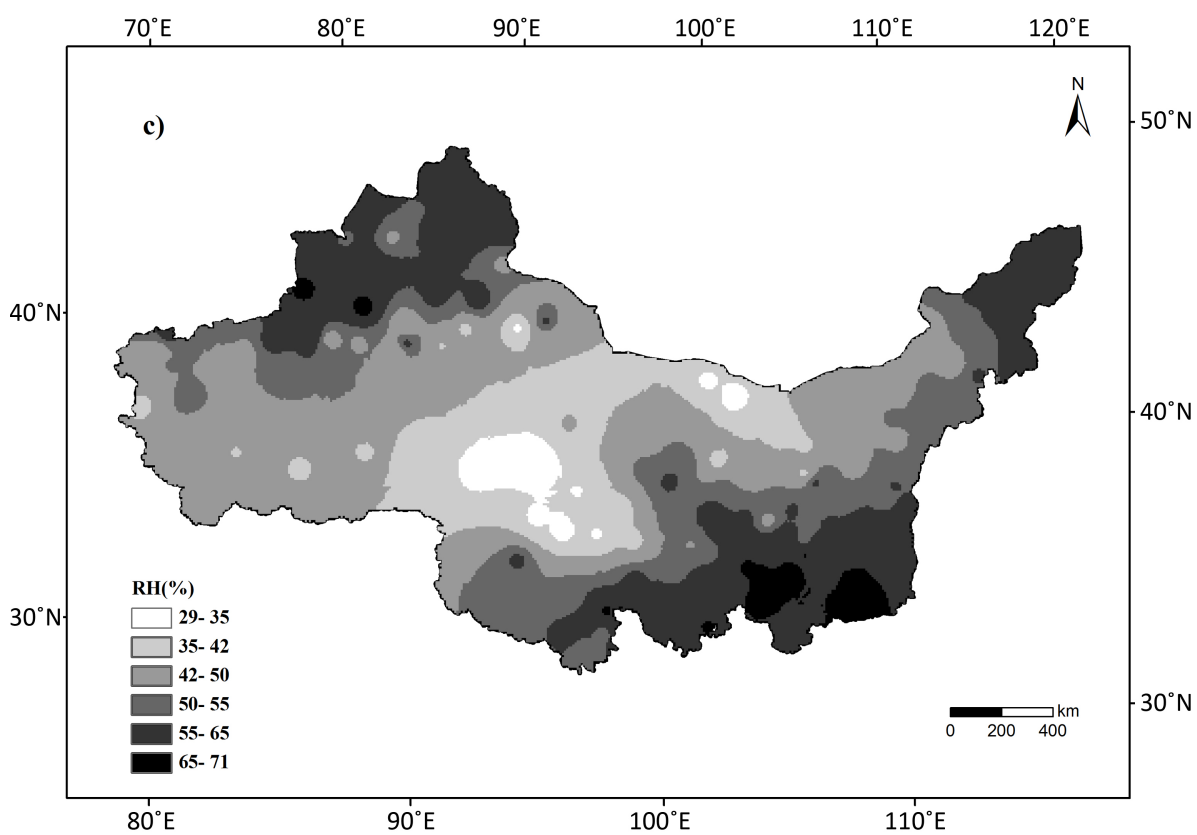
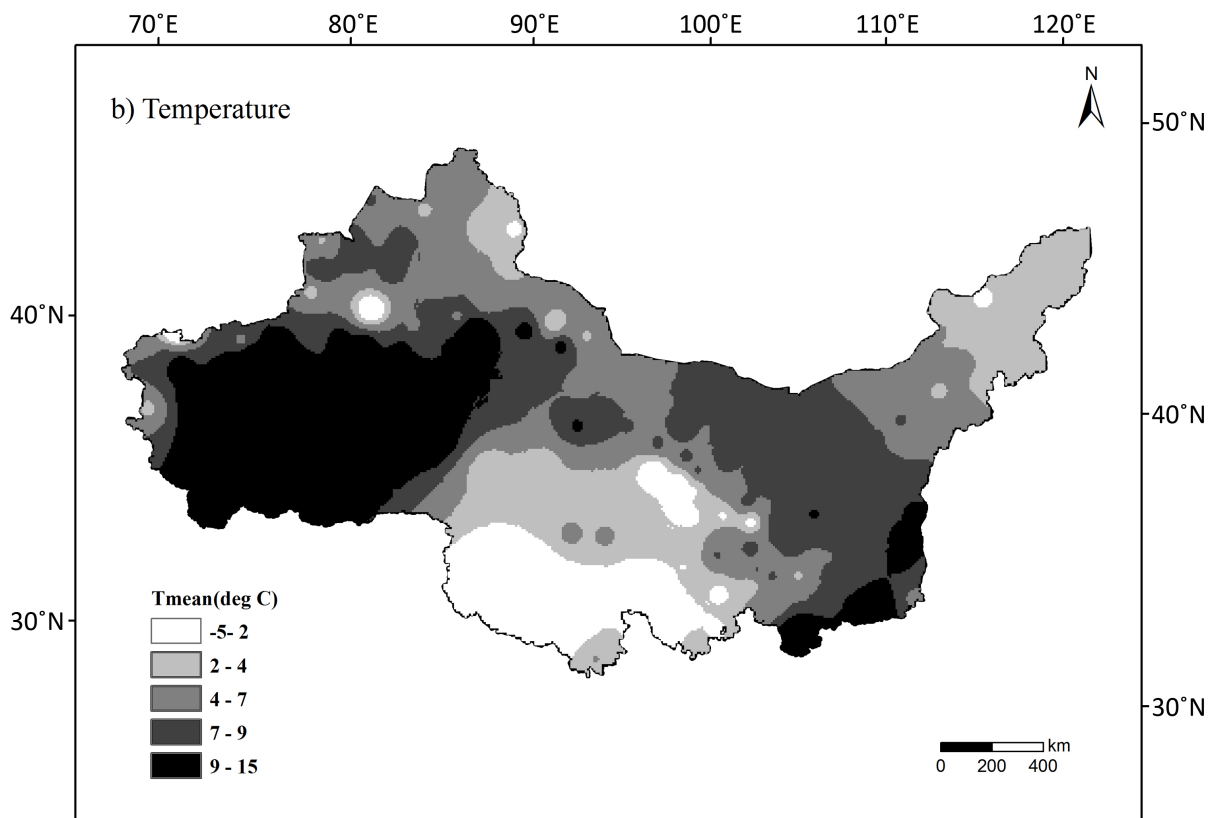
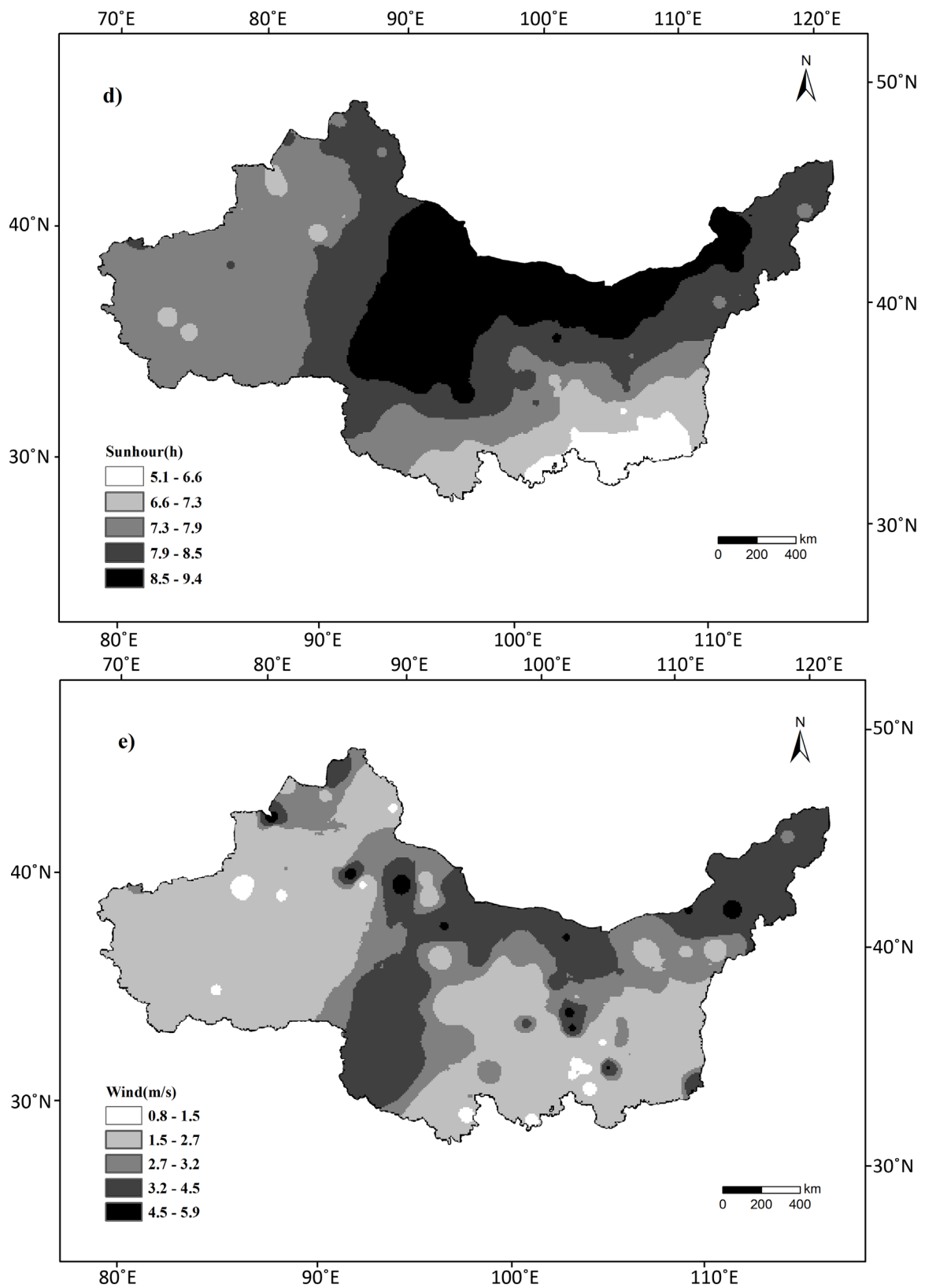


Figure 1. Location of meteorological stations in the arid region of northwest China

图 1. 西北旱区气象站点分布图







**Figure 2.** Spatial distribution of meteorological factors in the northwest arid region during 1961-2011  
**图 2.** 1961~2011 年气象因子的空间分布

## 3.2. 气象要素的时间变化趋势

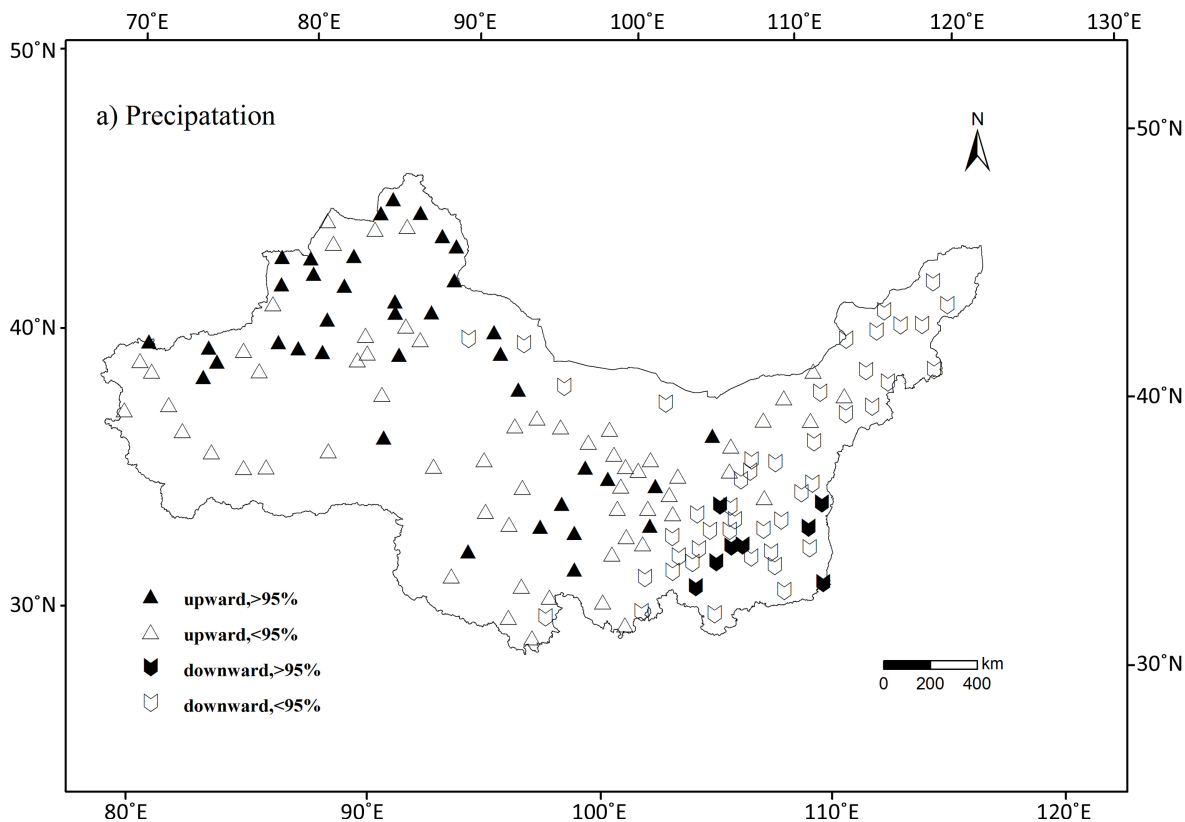
### 3.2.1. 单调趋势

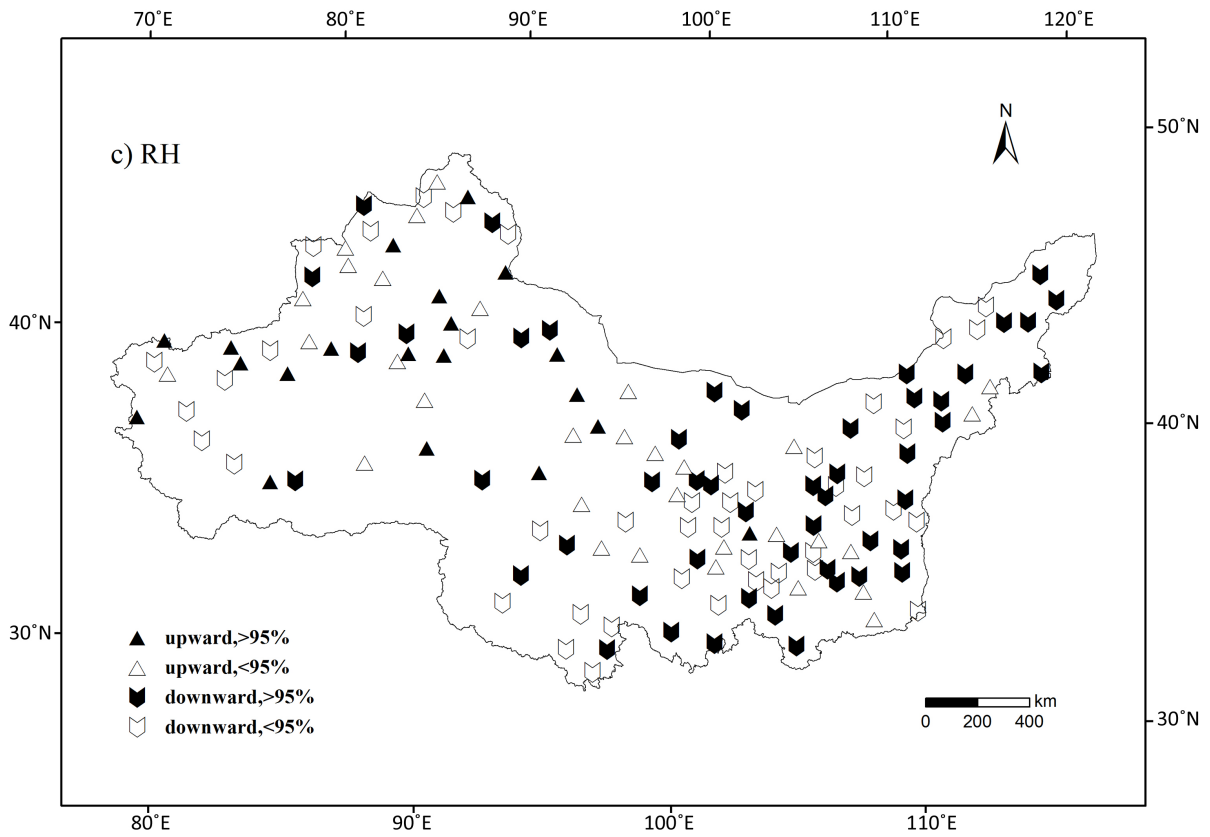
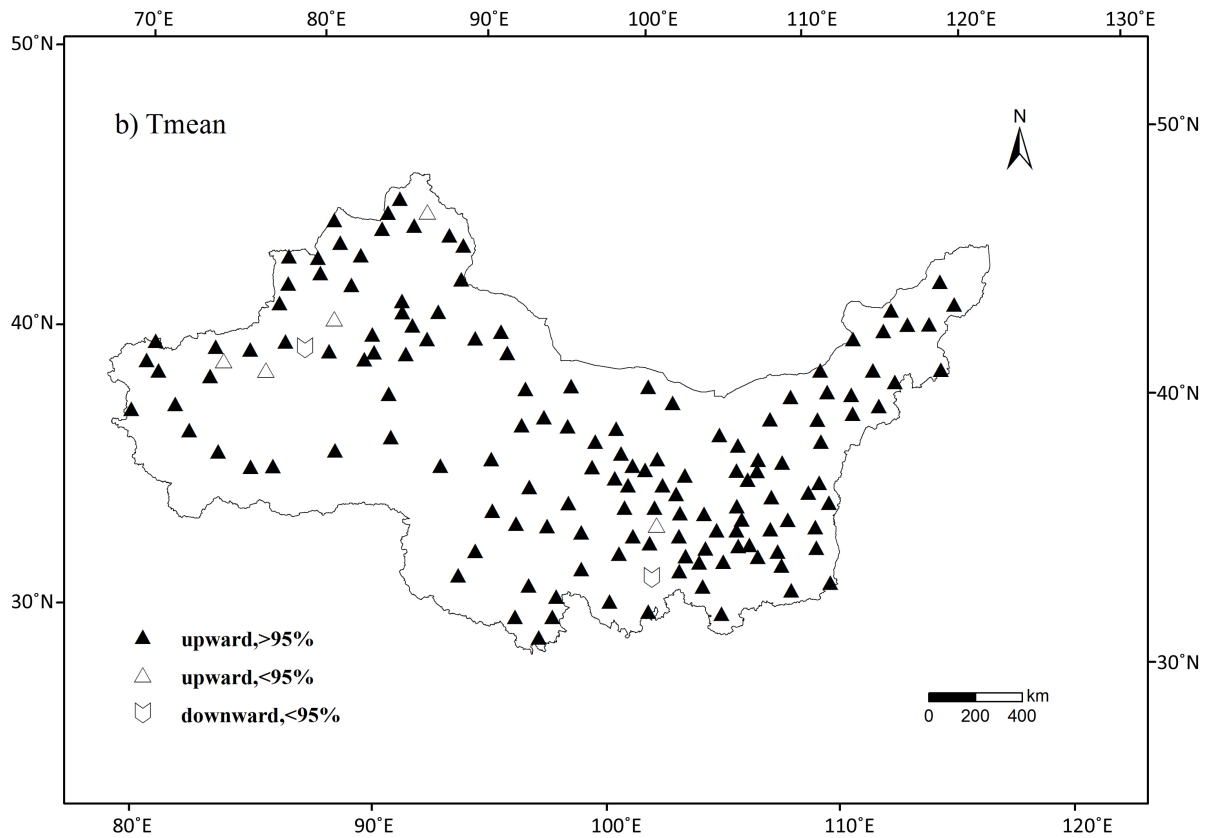
图 3 是西北旱区 1961~2011 年气象要素时间变化趋势图。整体而言,各气象要素在多数站点都具有单调变化趋势。但不同要素的变化趋势不同,降水和温度多呈上升趋势,相对湿度、日照时数和风速呈相反的下降趋势,且各气象要素的显著站点数也有较大差异。

152 个站点中,降水有 98 和 53 个站点分别呈上升和下降趋势,但通过显著性检验的站点数分别为 38 和 8 个(图 3(a))。变化趋势存在空间变异,以黄土高原东部为分界线,降水量在分界线以东的区域主要呈下降趋势,而以西地区主要呈上升趋势。总体而言,多年降水量略呈上升趋势,平均上升速率为 0.98 mm/10a,且越往西北方向上升趋势越明显。

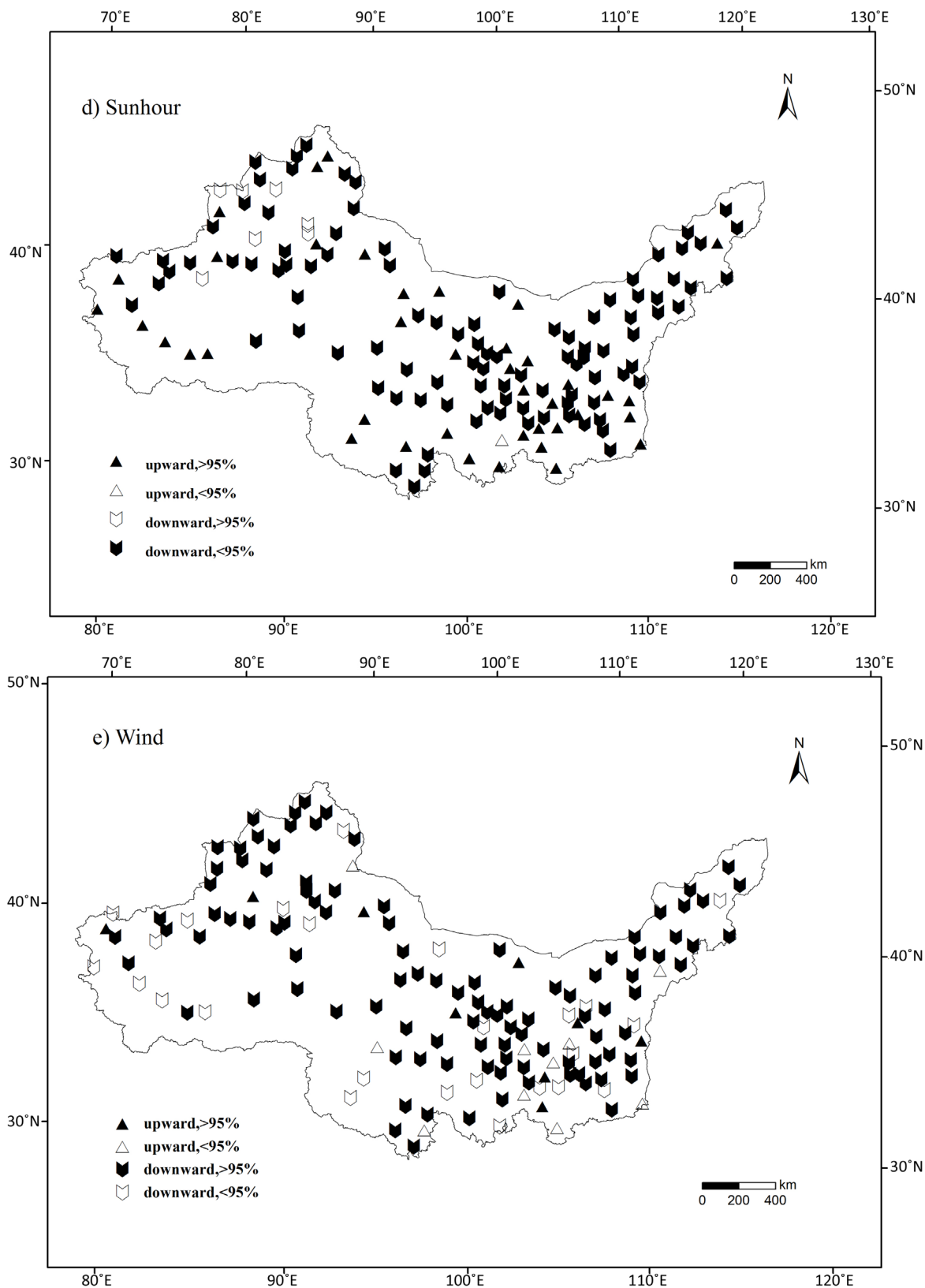
约 95% 站点的最高、最低和平均温度显著上升,且没有下降趋势显著的站点(图 3(b))。最高、最低与平均温度的增幅不同,分别为 0.35、0.46 和 0.27°C/10a,增温幅度远高于全国和我国的平均水平。气温和降水的变化趋势与我国区域及全球气候变化趋势变化具有一致性,气温的变化可能与人类活动产生的温室气体效应以及气候自然变化有关,西北旱区地理位置特殊,温带大陆性气候系统内部相互作用使我国西北旱区温度普遍具有上升趋势。降水的变化趋势可能与自东向西的逐渐减弱季风,空气中的水汽自东向西增加具有一定的关系,近半个世纪东南季风的减弱趋势,致使东南季风区内的降水显著下降而西北区变化趋势不显著。区域变暖趋势也使水的循环加快,从而也使旱区的降水相对增加。

相对湿度和日照时数都呈下降趋势。相对湿度上升和下降趋势的站点数分别为 52 个和 96 个,显著站点数分别为 20 个和 50 个(图 3(c))。日照时数上升和下降的站点数分别 41 个和 107 个,其显著站点分别为 19 个和 67 个(图 3(d))。区域平均的 10a 变幅分为 -0.25%、-0.05 hr。相对湿度变化不明显的区域主要在新疆南部,而呈上升趋势的站点也主要在新疆,黄土高原及内蒙地区则表现出下降趋势。日照时数在青海以及黄土高原南部地









**Figure 3.** The temporal trend of meteorological factors on the northwest arid region during 1961-2011  
**图 3.** 1961~2011 年气象因子时间显著性变化趋势

区有上升趋势，而新疆及内蒙大部分地区呈下降趋势。日照时数的减少可能导致该地区的太阳辐射量在一定程度上减少，这不利于旱区的部分植物生长以及有机物质累积。

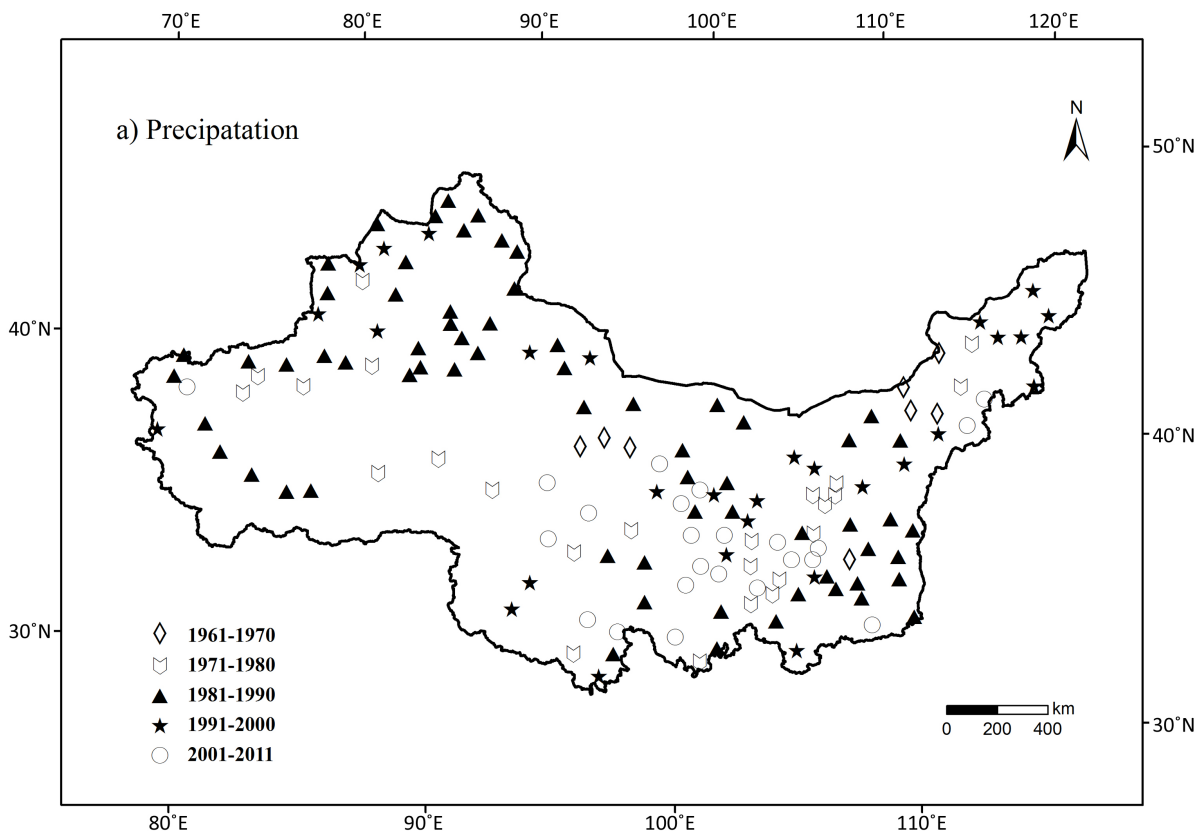
图 3(e)是风速变化趋势图，其中有 130 个站点下降，约占 85%；有 19 个站点上升，显著上升的站点仅占 6%。表明近 50 年西北旱区风速整体呈下降趋势，平均 10a 变幅为 $-0.15$  m/s。旱区风速、湿度等的这种变化趋势可能是区域的温度差、地形等引起的，对空气气体流动产生影响，进一步影响旱区水分蒸散发和植物蒸腾作用，从而对区域气候的调节具有重要作用。

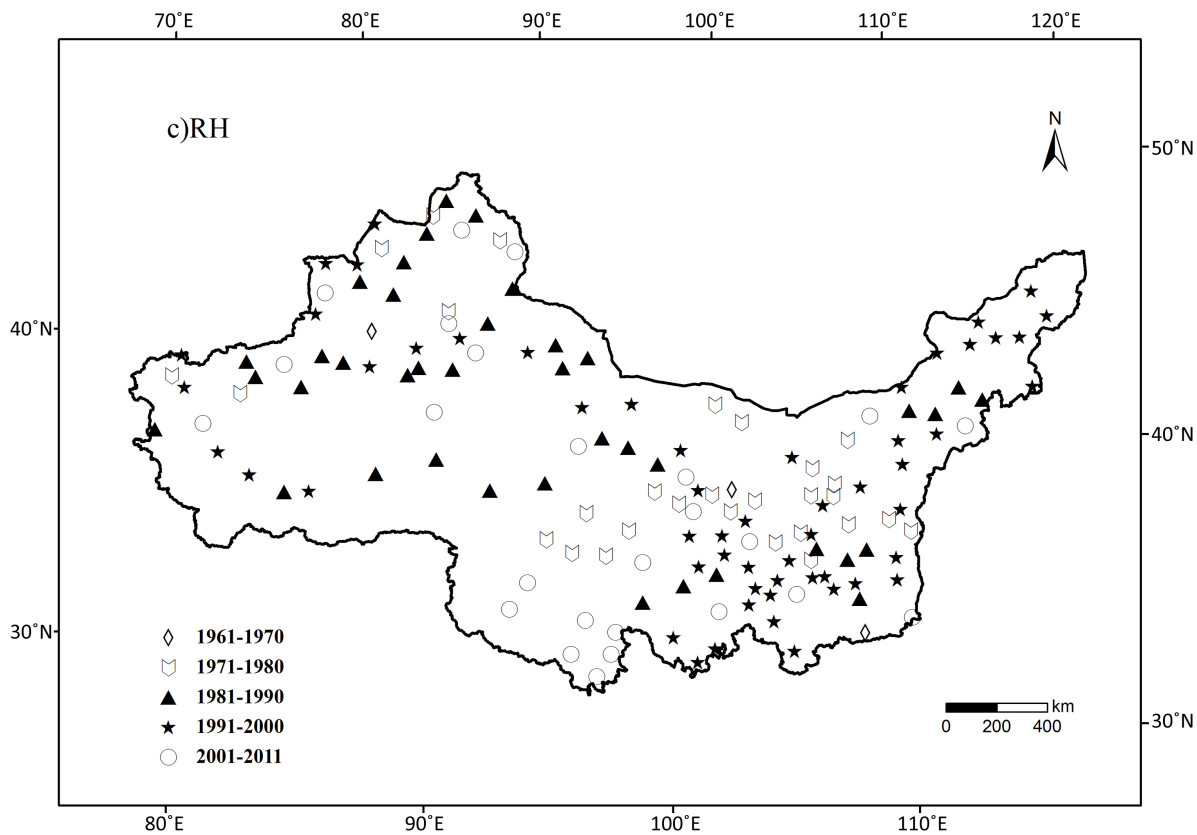
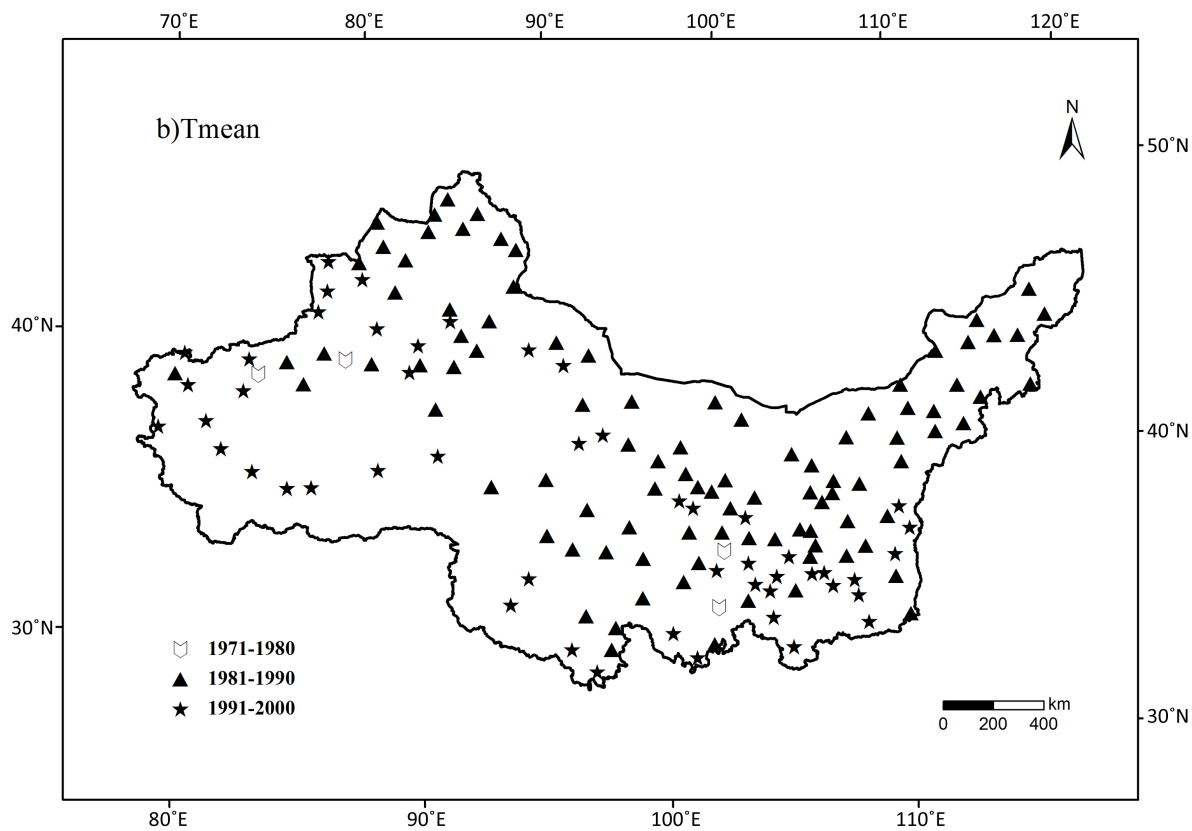
### 3.2.2. 突变检验

图 4 是气象因子突变时间的空间分布情况。可以看出，西北旱区各气象因子都出现了明显的突变。总体而言，降水、相对湿度以及日照时数的突变时间主要在 1970s，而温度和风速的突变时间多出现在 1980s。

多数站点的降水在 1970s 年发生明显突变(图 4(a))，但黄土高原地区突变相对较晚在 2000s 后才开始持续发生，2000 年之后该地区温度上升明显但降雨是以下降趋势为主，表明该区气候趋于暖干。北疆地区降水在 1980s 后出现了大范围的增加突变，在 2000s 后变化趋势不明显，表明其气候趋于暖湿。内蒙古东部突变的时间不一，越往东部突变的时间越晚。

气温多数站点进入 1980s 开始发生明显突变，进入 2000s 年后突变趋势减缓(图 4(b))。相对湿度的突变时间差距较大，大部分地区的突变时间在 1970s 后(图 4(c))，但存在空间变异；青海西部到内蒙中部的南北条带上 1970s 开始发生突变，新疆地区在 1980s、黄土高原在 1990s、而青海西南及新疆少数区域 2000s 才发生突变。日照时数从 1970s 开始发生较大范围突变，在 1980s 趋势持续，但到了 2000s 以后突变不明显(图 4(d))。风速集中在 1980s 发生突变，而黄土高原及内蒙东部从 2000 年突变增强(图 4(e))。不同气象因子在不同的区域突变时间相差较大，区域的气候也会有较大的差别，对区域气候变化情景研究提供了一定的参考依据。





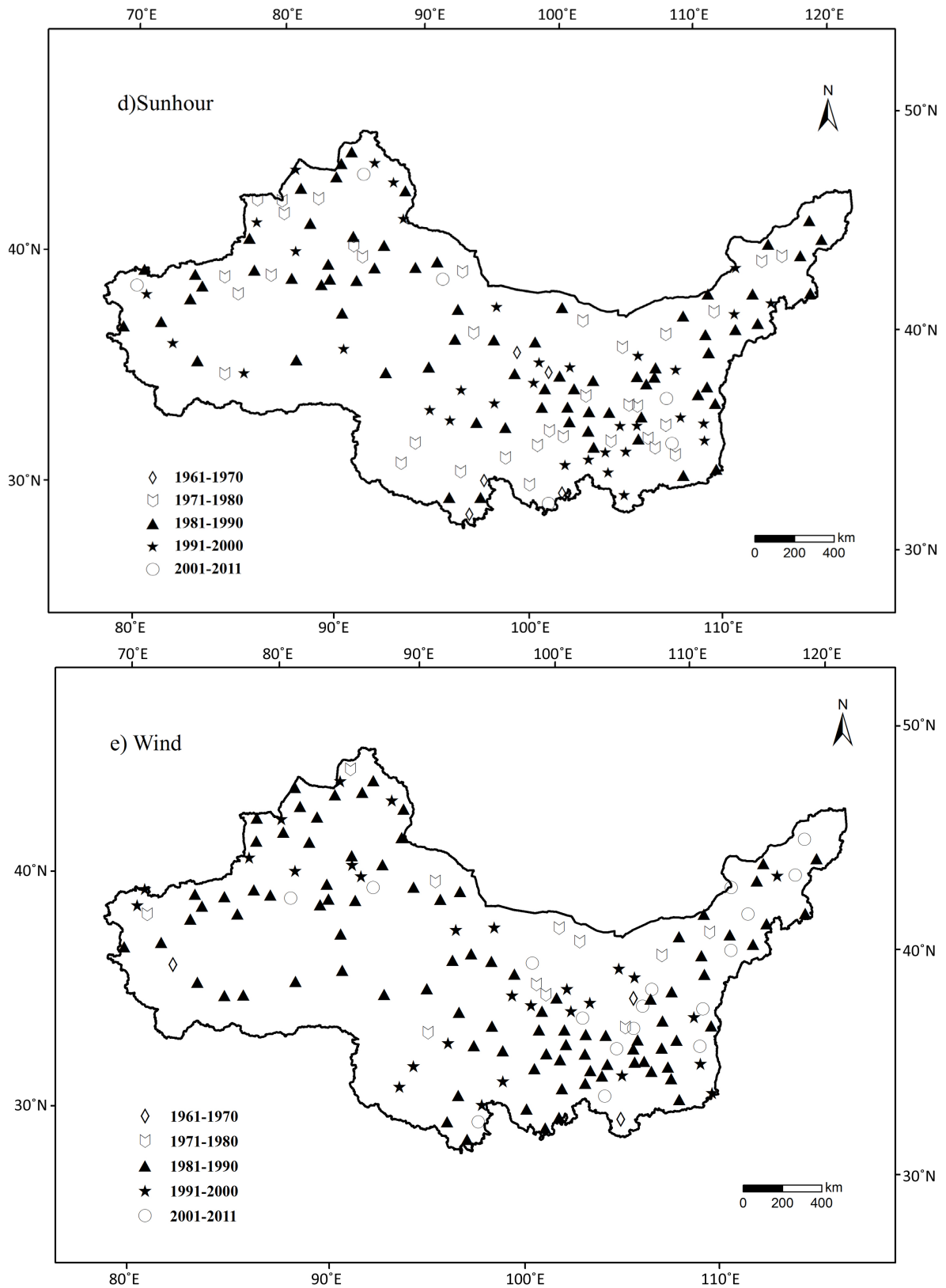


Figure 4. The abrupt year distribution of meteorological factors in the northwest arid region during 1961-2011  
图 4. 1961~2011 气象因子时间突变

## 4. 结论

近 50 年西北旱区各气象要素的空间分布呈梯度变化, 最高、最低与平均温的空间分布一致, 由东南向西北方向上, 最高、最低和平均温度递增, 在西北及东南方向, 降水和相对湿度的值均较高, 而风速和日照时数的值较低。

不同气象要素的时间变化趋势不同。温度显著上升; 降水以黄土高原为分界线, 分界线以东呈下降趋势, 以西主要呈上升趋势; 其它气象要素以下降趋势为主。各气象要素的单调趋势的显著站点数有较大差别, 约 92% 以上站点的温度上升趋势显著, 69% 站点风速下降趋势显著, 约 40% 站点相对湿度和日照时数下降趋势显著, 只有约 25% 站点的降水上升趋势显著。各指标都发生了显著的突变, 降水、相对湿度以及日照时数的突变时间主要在 1970 s, 而温度和风速的突变时间多出现在 1980 s。这些研究结果表明, 西北旱区的气候正在发生变化。

各种气象要素的空间分布和时间变化是多种因素综合作用的结果。如降水从东南向西北的梯度分布、以黄土高原东缘为界区分的不同时间变化趋势, 都与季风的影响有关系。由于季风自东向西的影响力逐渐减弱, 导致其降水量在空间上呈梯度变化; 而近半个世纪东南季风的减弱趋势, 致使东南季风区内的降水显著下降而西北区变化趋势不显著[24] [28]-[34]。不同要素的时间变化还可能受到其他大气环流的因子的影响, 如厄尔尼诺和南方涛动等[22] [35] [36] [37]。同时, 气象要素的空间分布还受到局地条件的影响, 如地形等[38] [39]。上述方面为解释和预测气候变化提供了重要的基础信息。

## 基金项目

感谢国家自然科学基金项目(41101022); 霍英东基金(141016); 中央高校基本科研业务费专项资金(2452015105) 项目的支持, 感谢气象局提供的各气象站点多年气象数据, 并且感谢我的导师李志教授在科研道路上给予的帮助和支持。

## 参考文献 (References)

- [1] 夏军, 刘春葵, 任国玉, 等. 气候变化对我国水资源影响研究面临的机遇与挑战[J]. 地球科学进展, 2011, 26(1): 1-12.  
XIA Jun, LIU Chunzhen, REN Guoyu, et al. Opportunity and challenge of the climate change impact on the water resource of China. *Advances in Earth Science*, 2011, 26(1): 1-12. (in Chinese)
- [2] 郭正堂, 羊向东, 陈发虎, 等. 末次冰盛期以来我国气候环境变化及人类适应[J]. 科学通报, 2014, 59(30): 2937-2939.  
GUO Zhengtang, YANG Xiangdong, CHEN Fahu, et al. Climate changes in China since the Last Glacial Maximum and Holocene human adaptation. *Chinese Science Bulletin*, 2014, 59(30): 2937-2939. (in Chinese)
- [3] 张强, 韩永翔, 宋连春. 全球气候变化及其影响因素研究进展综述[J]. 地球科学进展, 2005, 20(9): 991-998.  
ZHANG Qiang, HAN Yongxiang, SONG Lianchun. The summarize of development of global climate change and its effect factors. *Advances in Earth Science*, 2005, 20(9): 991-998. (in Chinese)
- [4] 孙侦, 贾绍凤, 吕爱锋, 等. IPCC AR5 全球气候模式对 1996~2005 年中国气温模拟精度评价[J]. 地理科学进展, 2015, 34(10): 1229-1240.  
SUN Zhen, JIA Shaofeng, LV Aifeng, et al. Assessment on precision of temperature simulated by the IPCC AR5 GCMs in China, 1996-2005. *Progress in Geography*, 2015, 34(10): 1229-1240. (in Chinese)
- [5] 王绍武, 叶瑾琳, 龚道义, 等. 近百年中国年气温序列的建立[J]. 应用气象学报, 1998, 9(4): 393-401.  
WANG Shaowu, YE Jinlin, GONG Daoyi, et al. Construction of mean annual temperature series for the last one hundred years in China. *Quarterly Journal of Applied Meteorology*, 1998, 9(4): 393-401. (in Chinese)
- [6] 林学椿, 于淑秋. 近 40 年我国气候趋势[J]. 气象科学研究院, 16(10): 16-21.  
LIN Xuechun, YU Shuqiu. Climatic trend in China for the last 40 years. *Academy of Meteorological Science*, 16(10): 16-21. (in Chinese)
- [7] 秦大河, 陈振林, 罗勇, 等. 气候变化科学的最新认知[J]. 气候变化研究进展, 2007, 3(2): 64-73.  
QIN Dahe, CHEN Zhenlin, LUO Yong, et al. Updated understanding of climate change sciences. *Advances in Climate Change Research*, 2007, 3(2): 64-73. (in Chinese)
- [8] 贾绍凤, 孙侦, 吕爱锋, 等. IPCC AR5 全球气候模式模拟的中国地区日平均降水精度评价[J]. 地球信息科学, 2016,

- 18(2): 227-237.  
SUN Zhen, JIA Shaofeng, LV Aifeng, et al. Precision estimation of the average daily precipitation simulated by IPCC AR5 GCMs in China. *Journal of Geo-information Science*, 18(2): 227-237. (in Chinese)
- [9] 雷 Wen, 查尔斯 A. Lin. 全球气候变化及其影响[J]. *水科学进展*, 2003, 14(5): 668-674.  
LEI Wen, Charles A. Lin. Global climate change and its impacts. *Advances in Water Science*, 2003, 14(5): 668-674. (in Chinese)
- [10] 任国玉, 封国林, 严中伟. 中国极端气候变化观测研究回顾与展望[J]. *气候变化研究进展*, 2010, 15(4): 338-353.  
REN Guoyu, FENG Guolin and YAN Zhongwei. Progresses in observation studies of climate extremes and changes in mainland China. *Climatic and Environmental Research*, 2010, 15(4): 338-353. (in Chinese)
- [11] 钱维宏, 符娇兰. 近 40 年中国平均气候与极值气候变化的概述[J]. *地球科学进展*, 2007, 22(7): 674-684.  
QIAN Weihong, FU Jiaolan. Changes in mean climate and extreme climate in China during the last 40 years. *Advances in Earth Science*, 2007, 22(7): 674-684. (in Chinese)
- [12] 姜彤, 李修仓. 气候变化 2014: 影响、适应和脆弱性[J]. *气候变化研究进展*, 2014, 10(3): 158-166.  
JIANG Tong, LI Xiucang. Highlights and understanding of climate change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability. *Progressus Inquisitiones de Mutatione Climatis*, 2014, 10(3): 158-166. (in Chinese)
- [13] 胡国权, 赵宗慈. IPCC 第五次评估报告中所用的气候模式有进步吗[J]. *气候变化研究进展*, 2014, 10(1): 45-50.  
HU Guoquan, ZHAO Zongci. Has the climate model used in the IPCC fifth assessment report progresses? *Progressus Inquisitiones de Mutatione Climatis*, 2014, 10(1): 45-50. (in Chinese)
- [14] 任朝霞, 杨达源. 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): 92-95.  
REN Zhaoxia, YANG Dayuan. Climate change and surface runoff change impact on desertification in the arid area of northwest China in recent 50 years. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2008, 22(4): 92-95. (in Chinese)
- [15] 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): 100-102.  
REN Zhaoxia, YANG Dayuan. Trend and characteristics of climatic change in arid region of northwest China in recent 50 years. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 2007, 29(1): 100-102. (In Chinese)
- [16] 郭慕萍, 王志伟. 54 年来中国西北地区降水量的变化[J]. *干旱区研究*, 2009, 26(1): 121-125.  
GUO Mupin, WANG Zhiwei. Changes in precipitation in northwest China over the last 54 years. *Arid Zone Research*, 2009, 26(1): 121-125. (In Chinese)
- [17] YUFIANG, Y. 348-year precipitation reconstruction from tree-rings for the north slope of the middle tianshan mountains. *Acta Meteorologica Sinica*, 2001, 15(1): 95-104.
- [18] RICHARD ALLEY, T. B., NATHANIEL, L. Climate change 2007 the physical science basis. IPCC WGI Fourth Assessment Report, 2007, 1-196.
- [19] MINGXIA, H. J. J. An Overview of Arid and Semi-Arid Climate Change. *Progressus Inquisitiones de Mutatione Climatis*, 2013, 25(6): 621-960.
- [20] 刘引鸽. 西北干旱灾害影响因子分析[J]. *灾害学*, 2003, 18(2): 18-22.  
LIU Yingge. Analysis of influencing factors drought disaster in northwest China. *Disaster Science*, 2003, 18(2): 18-22. (In Chinese)
- [21] GONG, D.-Y., SHI, P.-J. and WANG, J.-A. Daily precipitation changes in the semi-arid region over northern China. *Journal of Arid Environments*, 2004, 59(4): 771-784. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2004.02.006>
- [22] 赵传成, 王雁. 西北地区近 50 年气温及降水的时空变化[J]. *高原气象*, 2011, 30(2): 386-390.  
ZHAO Chuancheng, WANG Yan. Spatial-temporal variations of temperature and precipitation in northern China in recent 50 years. *Plateau Meteorology*, 2011, 30(2): 386-390. (In Chinese)
- [23] 姚玉璧, 肖国举, 王润元, 等. 近 50 年来西北半干旱区气候变化特征[J]. *干旱区地理*, 2009, 32(2): 160-165.  
YAO Yubi, XIAO Guoju, WANG Runyuan, et al. Climatic changes of semi-arid region over the northwest China in recent 50a. *Arid Land Geography*, 2009, 32(2): 160-165. (In Chinese)
- [24] 李志, 郑粉莉. 1961-2007 年黄土高原极端降水事件的时空变化分析[J]. *自然资源学报*, 2010, 25(2): 292-299.  
LI Zhi, ZHENG Fenli. Analyzing the spatial-temporal changes of extreme precipitation events in the Loess Plateau from 1961 to 2007. *Journal of Natural Resources*, 2010, 25(2): 292-299. (In Chinese)
- [25] 徐宗学, 张楠. 黄河流域近 50 年降水变化趋势分析[J]. *地理研究*, 2006, 25(1): 27-34.  
XU Zongxue, ZHANG Nan. Long term trend of precipitation in the Yellow River basin during the past 50 years. *Geographical Research*, 2006, 25(1): 27-34. (In Chinese)
- [26] HUANG, J., ZHANG, W. An overview of the Semi-arid Climate and Environment Research Observatory over the Loess Plateau. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2008, 25(6): 906-921. <https://doi.org/10.1007/s00376-008-0906-7>
- [27] 任国玉. 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.

- REN Guoyu. Climate changes of China's mainland over the past half century. *Acta Meteorologica Sinica*, 2005, 63(6): 943-956. (In Chinese)
- [28] 马芹, 张晓萍, 万龙, 等. 1957-2009 年黄土高原地区风速变化趋势[J]. 自然资源学报, 2012, 27(12): 2124-2134.  
MA Qin, ZHANG Xiaoping, WAN Long, et al. Spatial and temporal trends of wind speed on the Loess Plateau during 1957-2009. *Journal of Natural Resources*, 2012, 27(12): 2124-2134. (In Chinese)
- [29] 陈亚宁. 西北干旱区气候变化对水文水资源影响研究进展[J]. 地理学报, 2014, 69(4): 1295-1304.  
CHEN Yaning. Research progress on the impact of climate change on water resources in the arid region of northwest China. *Acta Geographica Sinica*, 2014, 69(4): 1295-1304. (In Chinese)
- [30] 黄小燕, 李耀辉, 冯建英, 等. 中国西北地区降水量及极端干旱气候变化特征[J]. 生态学报, 2015, 35(5): 1360-1370.  
HUANG Xiaoyan, LI Yaohui, FENG Jianying, et al. Climate characteristics of precipitation and extreme drought events in northwest China. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, 35(5): 1360-1370. (In Chinese)
- [31] Houghton, J. T., Jenkins, G. J. and Ephraums, J. J. *Climate change: The IPCC scientific assessment*. Cambridge: Cambridge University Press, 1990: 78-567.
- [32] GUOYU, R. Recent progress in studies of climate change in China. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2012, 29(5): 958-977.  
<https://doi.org/10.1007/s00376-012-1200-2>
- [33] 李志, 赵西宁. 1961-2009 年黄土高原气象要素的时空变化分析[J]. 自然资源学报, 2013, 28(2): 288-299.  
LI Zhi, ZHAO Xining. Spatiotemporal analysis of meteorological elements on the Loess Plateau during 1961-2009. *Journal of Natural Resources*, 2013, 28(2): 288-299. (In Chinese)
- [34] 李志, 刘文兆, 郑粉莉. 1965 年至 2005 年泾河流域极端降水事件的变化趋势分析[J]. 资源科学, 2010, 30(3): 470-474.  
LI Zhi, LIU Wenzhao and ZHENG Fenli. Analyzing variation trends in extreme precipitation events in the jing river watershed during 1965-2005. *Resources Science*, 2010, 30(3): 470-474. (In Chinese)
- [35] 潘家华, 孙翠华, 邹骥, 等. 减缓气候变化的最新科学认知[J]. 气候变化研究进展, 2007, 3(4): 187-194.  
PAN Jiahua, SUN Cuihua, ZOU Ji, et al. Updated scientific understanding of climate change mitigation. *Advances in Climate Change Research*, 2007, 3(4): 187-194. (in Chinese)
- [36] 杨学斌, 代玉田. 鲁西北地区近 50 年气温和降水量的变化趋势分析[J]. 中国农业气象, 2009, 31(1): 25-28.  
YANG Xuebin, DAI Yutian. Analysis on temperature and precipitation in northwest of Shandong in last 50 years. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2009, 31(1): 25-28. (In Chinese)
- [37] 陶娜, 王冰晨. 河套地区气温和降水的气候特征分析[J]. 内蒙古气象, 2011, 1(14): 19-21.  
TAO Na, WANG Bingchen. Analysis on climatic characteristics of air temperature and precipitation in Hetao region. *Inner Mongolia Climate*, 2011, 1(14): 19-21. (In Chinese)
- [38] 蔡新玲, 吴良素. 变暖背景下陕西极端气候事件变化分析[J]. 中国沙漠, 2012, 32(4): 1096-1101.  
CAI Xinling, WU Suliang. Change of extreme climate events in Shanxi Province under global warming background. *Journal of Desertresearch*, 2012, 32(4): 1096-1101. (In Chinese)
- [39] 姜大膀, 富无海. 全球变暖背景下中国未来气候变化预估[J]. 大气科学, 2012, 36(2): 235-246.  
JIANG Dabang, FU Yuanhai. Climate change over China with a 2°C global warming. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 2012, 36(2): 235-246. (In Chinese)