

# 1951 – 2008 年乌鲁木齐极端气候事件分析<sup>\*</sup>

慈晖<sup>1,2</sup>, 张强<sup>1</sup>

(1. 中山大学 水资源与环境系, 广东 广州 510275;

2. 中山大学 华南地区水循环与水安全广东省普通高校重点实验室, 广东 广州 510275)

**摘 要:** 采用乌鲁木齐 1951 – 2008 年逐日降水、气温时间序列资料, 利用数理统计方法分析了乌鲁木齐年、季降水、气温变化特征。其次, 采用线性倾向估计、M – K 趋势检验等方法分析了乌鲁木齐极端气候事件。研究表明: ①乌鲁木齐降水量和气温分别在 1987 年、1993 年发生气候突变, 呈现出一致的上升趋势, 气温突变的程度比降水突变的程度更为明显; ②乌鲁木齐降水量以及高温主要集中在 4 – 10 月, 发生突变以后, 降水更为丰沛, 冬、夏降水量增多趋势比较明显, 而气温也呈现出上升趋势, 且日最高温的上升趋势较日最低温的上升趋势明显; ③年平均气温呈上升趋势, 主要是由冬季增温造成的, 所表现出的上升趋势夜间变化较昼间变化明显; ④夏季降水量呈上升趋势主要是由于极端降水事件的发生, 也有可能以此作为一种冷却机制抑制了夏季最高温的上升趋势, 而冬季降水量同样呈现出显著上升趋势, 可能是由于冬季最低温的持续上升趋势, 进一步的加剧了冬季降水量的增多; ⑤对比分析了多种极端气温指标以及极端降水指标, 表明降水以及气温均呈现出上升趋势。

**关键词:** 降水; 气温; 突变分析; 极端气候事件; 乌鲁木齐

**中图分类号:** P426.6; X43      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1000 – 811X(2013)04 – 0022 – 07

由于人类活动的影响, 气候变化越来越显著<sup>[1]</sup>。极端天气、气候事件对于社会、经济、环境发展均有重大影响<sup>[2]</sup>。气候变化还会对生态环境的可持续性、人类健康以及社会经济的发展造成影响<sup>[3]</sup>。前人已对上个世纪世界多个地区极端气候事件的变化进行了研究分析<sup>[4]</sup>。尽管人类对于气温变化的认知还在进一步的完善, 但是整个气候变化以及全球变暖现象是被众人皆知的。极端降水事件以及极端气温事件的发生对于人类社会以及自然环境的影响远高于对气候变化的影响<sup>[5]</sup>。同降水量的影响一样, 气温也会通过控制水分的蒸发来影响该地区的干湿状况。前人已作较多研究, 表明长期形成的极端降水<sup>[6]</sup>、气温<sup>[7]</sup>事件会在极短时间内对人类社会造成巨大的破坏和影响。

为了进一步了解气候变化对农业发展以及生产的影响, 从细节上去了解温度变化显得十分必

要。近年来, 对于极端气温事件的关注越来越多, 1990 年以后, 关于极端气候事件的时空分布的研究越来越多, 致力于分析极端气候事件的长期气候特征, 包括强度、历时、频率等多个方面, 为极端气候事件的预防以及控制提供服务<sup>[5]</sup>。

乌鲁木齐地处亚欧大陆腹地, 天山北麓, 准噶尔盆地南缘<sup>[8]</sup>, 在整个新疆经济的发展中处于重要地位<sup>[9]</sup>, 是世界干旱区最大的城市之一<sup>[10]</sup>, 缺水严重, 干旱灾害的易损性很高。伴随着极端气候事件的发生, 将会对自然生态系统以及人类活动产生深远的影响<sup>[11–12]</sup>。新疆地区降水所表现出的差异, 不只在于水汽来源的多少, 更在于降水产生的动力条件、水汽辐合以及其他各种因素的共同作用<sup>[13]</sup>。前人对于新疆地区以及乌鲁木齐的极端气候事件以及气温、降水变化也做了较多分析。李剑锋、张强、孙佳丽等分析了新疆极端降水事件的概率分布特征及演变规律<sup>[14–16]</sup>。张延

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2013 – 01 – 30      修回日期: 2013 – 04 – 07

基金项目: 水利部公益项目(201001066); 新疆自治区科技攻关项目(200931105); 国家自然科学基金项目(41071020; 50839005); 教育部新世纪优秀人才支持计划共同资助成果

作者简介: 慈晖(1989 –), 女, 甘肃临夏人, 在读博士生, 主要从事区域水文循环与水资源演变的研究工作。

E-mail: h\_ci@yahoo. cn

通讯作者: 张强(1974 –), 男, 山东沂水人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事流域气象水文学研究、旱涝灾害机理、流域地表水文过程及其对气候变化的响应机制与机理以及流域生态需水等领域的研究工作。E-mail: zhangq68@mail. sysu. edu. cn

伟等指出新疆地区的气候在 1980 年代后期由暖干向暖湿转型, 发生了明显变化<sup>[17]</sup>, 而乌鲁木齐是新疆降水事件强度和概率较大的地区之一<sup>[18]</sup>, 90 年代以后气候异常加重, 年份差异较大, 短历时强降水呈频发趋势<sup>[19]</sup>。杨霞等也对乌鲁木齐极端天气事件以及区域响应作了相关研究<sup>[20]</sup>。刘盛梅等也分析了乌鲁木齐近年来极端气温变化以及气温周期变化等特征<sup>[21]</sup>, 王世杰、冷中笑、何清等分析了乌鲁木齐年降水、气温变化特征<sup>[22–24]</sup>。在这样的背景下, 本文针对乌鲁木齐的气温、降水变化以及极端气候事件作了较为详细的分析评判。

## 1 数据与方法

本文采用由国家气象中心提供的新疆乌鲁木齐测站 1951 – 2008 年逐日降水、气温资料进行分析, 气象测站的地理位置如图 1 所示。本文采用了国际上分析极端气候事件经常采用的 12 个极端气温指标以及 14 个极端降水指标来分析研究乌鲁木齐极端气候事件, 如表 1、表 2 所示。在分析气温、降水序列变化趋势以及突变特征的时候采用了最小二乘法<sup>[25–26]</sup>以及 Mann-Kendall 非参数检验方法<sup>[27–28]</sup>, 对这些方法, 前人已做过较多研究, 在此, 对于具体方法不再赘述。

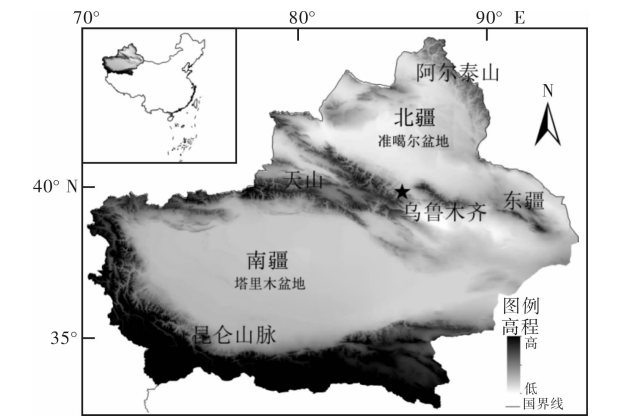


图 1 新疆乌鲁木齐测站地理位置

## 2 计算结果

如图 2(a) 所示, 乌鲁木齐年降水量在 20 世纪中期呈现出波动性的上升和下降趋势, 1987 年发生气候突变, 突变以后降水量呈现出显著上升趋势, 通过 95% 的置信度检验。

如图 2(b) 所示, 乌鲁木齐年均温在 20 世纪中期波动性变化幅度较大, 在 1960 – 1975 年间发生

了多次突变, 1993 年同样发生突变, 通过了 99% 的置信度检验, 此后, 乌鲁木齐气温呈现出持续上升的变化趋势。气温的突变程度比降水突变的程度更为明显。

表 1 极端降水指标		
缩写	定义	单位
RX1	每月最大 1 d 降水量	mm
RX5	每月连续 5 d 最大降水量	mm
CDD	最大无雨持续天数	d
RR0.1	日降水量 (PRCP) $\geq 0.1$ mm 的天数	d
RR1	日降水量 (PRCP) $\geq 1$ mm 的天数	d
RR5	日降水量 (PRCP) $\geq 5$ mm 的天数	d
RR10	日降水量 (PRCP) $\geq 10$ mm 的天数	d
RR20	日降水量 (PRCP) $\geq 20$ mm 的天数	d
SD II	总降水量与降水天数的比值	mm/d
R75	日降水量 $> 75\%$ 分位值的总天数	d
R95	日降水量 $> 95\%$ 分位值的总天数	d
R99	日降水量 $> 99\%$ 分位值的总天数	d
R95T	超过 95% 日降水量分位数的降水量比例	%
preptot	年内日降水量之和	mm

表 2 极端气温指标		
缩写	定义	单位
ETR	年内日极端最高与极端最低温度的差值	$^{\circ}\text{C}$
SU	年内最高气温 $> 25^{\circ}\text{C}$ 的天数	d
Tx30GE	年内最高气温 $> 30^{\circ}\text{C}$ 的天数	d
Tx35GE	年内最高气温 $> 35^{\circ}\text{C}$ 的天数	d
Tx0LT	年内最高气温 $< 0^{\circ}\text{C}$ 的天数	d
FD	日最低气温 $< 0^{\circ}\text{C}$ 的总天数	d
Tn20GT	日最低气温 $> 20^{\circ}\text{C}$ 的总天数	d
Tn - 10LT	日最低气温 $< -10^{\circ}\text{C}$ 的总天数	d
TN10p	日最低气温 $<$ 第 10 个百分位数的天数	d
TN90p	日最低气温 $>$ 第 90 个百分位数的天数	d
TX10p	日最高气温 $<$ 第 10 个百分位数的天数	d
TX90p	日最高气温 $>$ 第 90 个百分位数的天数	d

如图 3(a) 所示, 1987 年以后大于 2 mm 的降水量呈上升趋势, 比 1987 年以前增多了 35%。

如图 3(b) 所示, 为了分析日变化时间尺度上极端降水事件的变化情况, 比较分析了 1987 年突变前后五日滑动平均降水量以及两者差值的序列变化。可以看出, 乌鲁木齐降水量主要集中在 4 – 10 月, 7 月中旬连续到 9 月初, 1987 年以后降水量较 1987 年以前更为丰沛, 11 月底到 1 月底, 1987 年以后降水量连续高于突变以前的降水量。冬、夏降水量增多趋势比较明显。

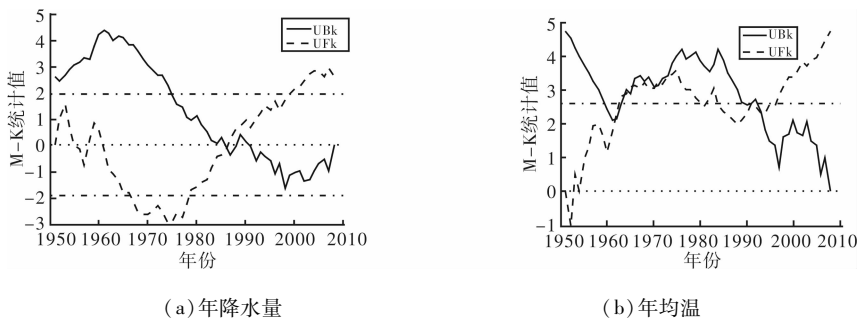


图2 乌鲁木齐年降水量及年均温趋势

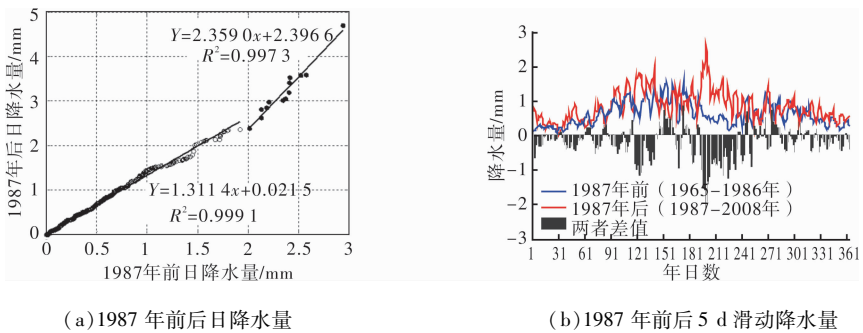


图3 1987年前后乌鲁木齐日降水量及5 d滑动降水量对比分析

如图4(a)所示，10~20℃的温度范围内，日最高温的上升较日最低温的上升趋势更为明显，低于10℃以下的范围上，日最高温的上升趋势同样较日最低温的上升趋势明显。1993年后气温明显上升，并未出现-18℃左右的气温。

如图4(b)所示，为了分析日变化时间尺度上极端气温事件的变化情况，比较分析了1993年突

变前后五日滑动均温以及两者差值的序列变化。可以看出，乌鲁木齐高温主要集中在4~10月，7~8月为一年最高温，而1月、2月为一年最低温，全年只有冬季12月中旬、1月中旬在1993年以后气温较1993年以前明显上升。

如图5所示，冬季最高温、最低温显著上升趋势较夏季最高温、最低温上升趋势明显，且达到

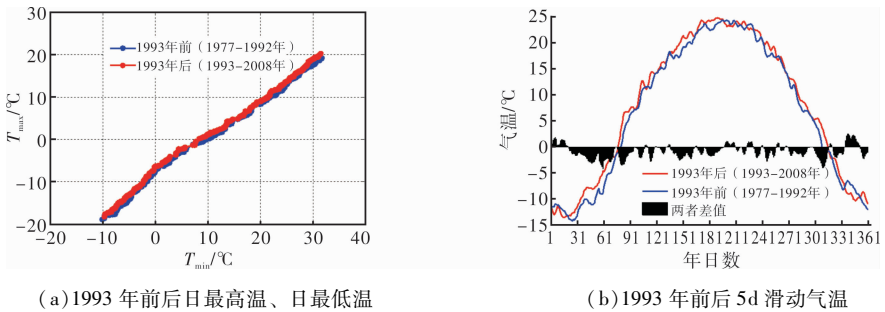


图4 1993年前后乌鲁木齐日最高温、最低温及5 d滑动气温对比分析

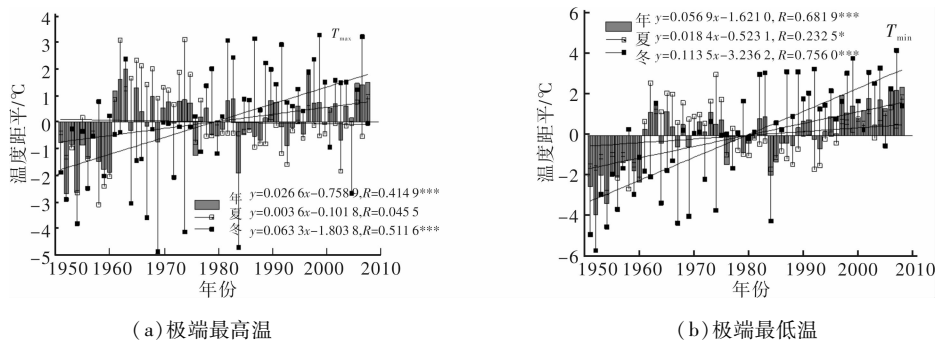
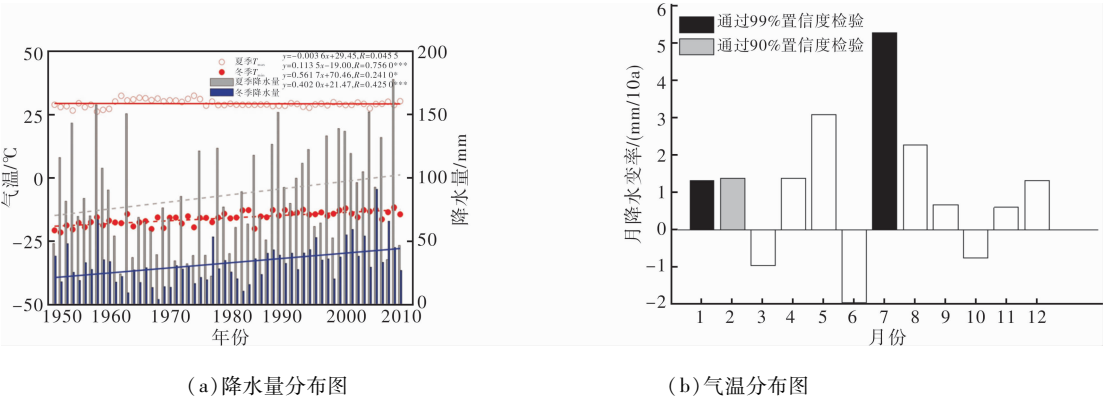


图5 乌鲁木齐年极端最高温、最低温时间序列

( \* 通过 90% 置信度检验; \*\* 通过 95% 置信度检验; \*\*\* 通过 99% 置信度检验)



(a) 降水量分布图 (b) 气温分布图  
图 6 乌鲁木齐 1951 - 2008 年间年、季、月降水量及年、季气温  
(\* 通过 90% 置信度检验; \*\* 通过 95% 置信度检验; \*\*\* 通过 99% 置信度检验)

95% 的显著水平。冬季最高温以及最低温上升趋势分别为 0.63 °C/10a、1.14 °C/10a。夏季最高温表现出下降趋势, 而夏季最低温上升趋势为 1.14 °C/10a, 通过 90% 的置信度检验。年平均气温呈上升趋势, 也主要是由于冬季增温造成的, 年最高温及年最低温上升趋势达到 99% 的显著水平。夏季、冬季最低温上升趋势较夏季、冬季最高温上升趋势更为明显, 所表现出的上升趋势夜间变化较昼间变化明显。

如图 6(a) 所示, 夏季(6 - 8 月)降水量的上升趋势(通过 90% 置信度检验)主要是由于极端降水事件的发生, 也有可能以此作为一种冷却机制抑制了夏季最高温的上升趋势, 而冬季(12 - 1 - 2 月)降水量同样呈现出显著上升趋势(通过 99% 置信度检验), 可能是由于冬季最低温的持续上升趋势(通过 99% 置信度检验), 进一步的加剧了冬季降水量的增多。

为了表示年降水量上升趋势的季节性特征, 对乌鲁木齐逐月降水量做了线性趋势分析以及显著性检验。如图 6(b) 所示, 根据逐月降水量趋势分析, 7 月降水量上升趋势超过了 5 mm/10a, 通过 99% 置信度检验, 冬季降水量上升趋势均超过了 1 mm/10a, 1 月降水量的上升趋势通过 99% 置信度检验, 2 月降水量的上升趋势通过 90% 置信度检验。春季、夏季、秋季均有个别月份(3 月、6 月、10 月)的降水量呈现出下降趋势。

图 7 中采用 12 种极端气温指标分析了乌鲁木齐极端气温事件, 其中, ETR、Tx0LT、FD、Tn - 10LT、TN10P、TX10P 均呈显著下降趋势, 通过 99% 置信度检验, 而 Tn20GT、TN90P 均呈显著上升趋势, 通过 90% 置信度检验。

图 8 中采用 14 种极端降水指标分析了乌鲁木

齐极端降水事件, 其中, SD II、prcptot、RR5、RR10 均呈显著上升趋势, 达到 95% 显著水平, 而 CDD 呈下降趋势, 表明乌鲁木齐在整个 1951 - 2008 年间呈降水增多趋势。而 R95、R99 除了个别年份之外, 始终维持在同一水平。

3 结论与讨论

(1) 乌鲁木齐降水量和气温分别在 1987 年、1993 年发生气候突变, 呈现出一致的上升趋势, 气温突变的程度比降水突变的程度更为明显。

(2) 乌鲁木齐降水量以及高温主要集中在 4 - 10 月, 发生突变以后, 降水更为丰沛, 冬、夏降水量增多趋势比较明显, 而气温也呈现出上升趋势, 且日最高温的上升趋势较日最低温的上升趋势更为明显。

(3) 冬季最高温、最低温显著上升趋势较夏季最高温、最低温上升趋势明显, 通过 95% 置信度检验, 年平均气温呈上升趋势, 主要是由于冬季增温造成的, 且所表现出的上升趋势夜间变化较昼间变化明显。

(4) 夏季降水量的上升趋势主要是由于极端降水事件的发生, 也有可能以此作为一种冷却机制抑制了夏季最高温的上升趋势, 而冬季降水量同样呈现出显著上升趋势, 可能是由于冬季最低温的持续上升趋势, 进一步的加剧了冬季降水量的增多。

(5) 对比分析了多种极端气温指标以及极端降水指标, 表明降水以及气温均呈现出上升趋势, 气候变化具有较强的区域性、独特性和复杂性, 对乌鲁木齐的环境和社会经济发展均会造成很大的影响, 对其机制以及检测还有待进一步的探讨<sup>[29]</sup>。

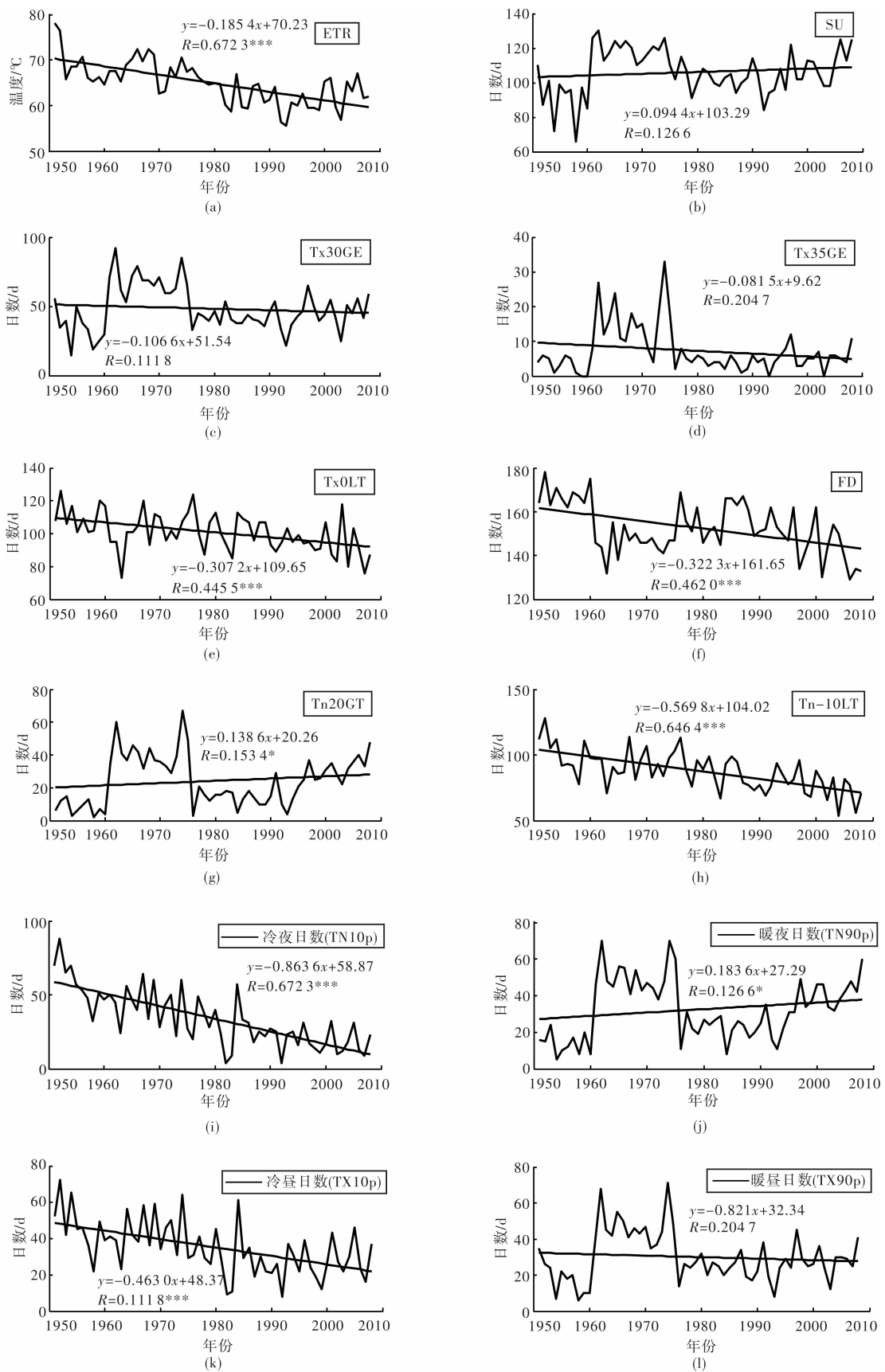


图7 乌鲁木齐1951-2008年极端气温指标序列

( \* 通过 90% 置信度检验; \* 通过 95% 置信度检验; \*\*\* 通过 99% 置信度检验)

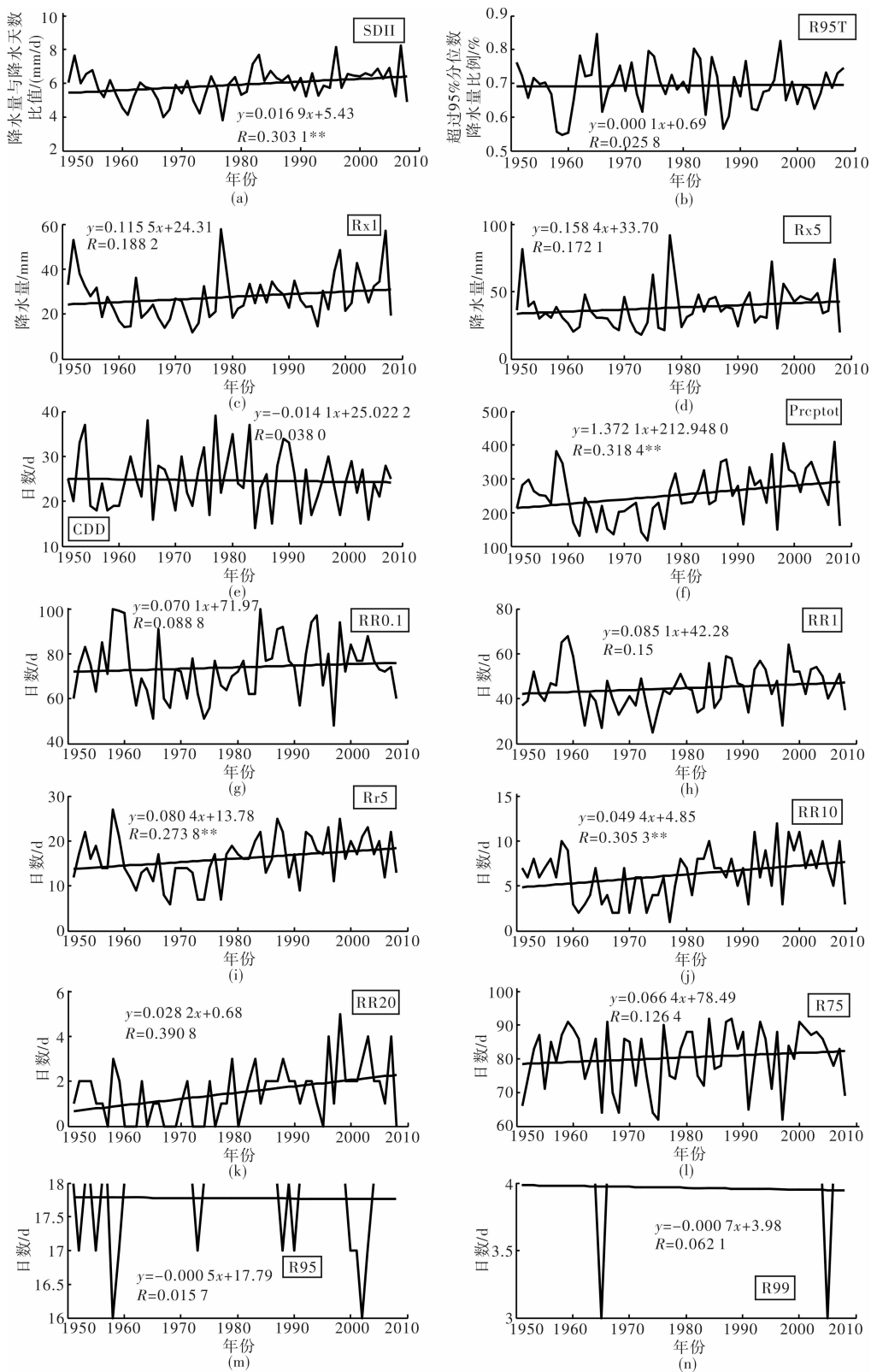


图8 乌鲁木齐 1951 - 2008 年极端降水指标序列

( \* 通过 90% 置信度检验; \*\* 通过 95% 置信度检验; \*\*\* 通过 99% 置信度检验)

参考文献:

[1] Price C, Michaelides S, Pashiardiset S, et al. Long term changes in diurnal temperature range in Cyprus [J]. Atmospheric Research, 1999, 51(2): 85 - 98.

[2] Manton M J, Della-Marta P M, Haylocket M R, et al. Coauthors, 2001: Trends in extreme daily rainfall and temperature in South-east Asia and the South Pacific: 1961 - 1998[J]. Int. J. Climatol, 2001, 26(21): 269 - 284.

[3] Ventura F, Rossi Pisa P, Ardizzoni E. Temperature and precipitation trends in Bologna (Italy) from 1952 to 1999[J]. Atmospheric

- ic research, 2002, 61(3): 203–214.
- [4] Karl T R, Nicholls N, Ghazi A. Clivar/GCOS/WMO workshop on indices and indicators for climate extremes workshop summary[J]. Climatic Change, 1999, 42(1): 3–7.
- [5] Choi G, Collins D, Renet G, et al. Changes in means and extreme events of temperature and precipitation in the Asia-Pacific Network region, 1955–2007[J]. International Journal of Climatology, 2009, 29(13): 1906–1925.
- [6] Zong Y, Chen X. The 1998 flood on the Yangtze, China[J]. Natural Hazards, 2000, 22(2): 165–184.
- [7] Huynen M M, Martens P, Schramet D, et al. The impact of heat waves and cold spells on mortality rates in the Dutch population [J]. Environmental health perspectives, 2001, 109(5): 463–70.
- [8] 李妮, 尹林克, 王喜勇, 等. 乌鲁木齐主要植被类型及其分布[J]. 新疆农业科学, 2009, 46(4): 818–823.
- [9] 刘海燕, 张小雷, 杜宏茹, 等. 乌鲁木齐绿洲型都市圈发展现状分析研究[J]. 干旱区资源与环境, 2005, 19(3): 22–27.
- [10] 姜逢清, 李珍, 杨跃辉. 乌鲁木齐降水分布型及其 40 多年来的变化[J]. 干旱区研究, 2006(1): 83–88.
- [11] 丁一汇, 张锦, 宋亚芳. 天气和气候极端事件的变化及其与全球变暖的联系——纪念 2002 年世界气象日“减低对天气和气候极端事件的脆弱性”[J]. 气象, 2002, 28(3): 3–7.
- [12] 姜逢清, 胡汝骥. 近 50 年来新疆气候变化与洪、旱灾害扩大化[J]. 中国沙漠, 2004, 24(1): 35–40.
- [13] 史玉光, 孙照渤. 新疆大气可降水量的气候特征及其变化[J]. 中国沙漠, 2008, 28(3): 519–525.
- [14] 李剑锋, 张强, 陈晓宏. Archimedean Copulas 在降水变异概率分布特征研究中的应用——以新疆福海县为例[J]. 灾害学, 2011, 26(3): 1–7.
- [15] 李剑锋, 张强, 陈晓宏, 等. 新疆极端降水概率分布特征的时空演变规律[J]. 灾害学, 2011, 26(2): 11–17.
- [16] 孙桂丽, 陈亚宁, 李卫红, 等. 新疆极端水文事件年内分布的非均匀性[J]. 灾害学, 2011, 26(2): 18–23.
- [17] 张延伟, 魏文寿, 姜逢清, 等. 1961–2008 新疆气候由暖干到暖湿的变化统计事实[C]//2011 年第二十八届中国气象学会年会. 厦门, 2011.
- [18] 姜逢清, 张延伟, 胡汝骥, 等. 新疆年降水不规则性空间差异与长期演变[J]. 干旱区地理, 2010, 33(6): 853–860.
- [19] 刘惠云, 王晓梅, 肖书君, 等. 乌鲁木齐市近 40 多年降水演变特征[J]. 干旱区研究, 2007, 24(6): 6785–6789.
- [20] 杨霞, 赵逸舟, 李圆圆, 等. 乌鲁木齐极端天气事件及其与区域气候变化的联系[J]. 干旱区地理, 2009, 32(6): 867–873.
- [21] 刘盛梅, 成鹏. 乌鲁木齐地区近 50 年来平均气温及极端气温变化特征[J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25(6): 138–146.
- [22] 何清, 杨青, 李红军. 新疆 40a 来气温、降水和沙尘天气变化[J]. 冰川冻土, 2003, 25(4): 423–427.
- [23] 王世杰, 杨莲梅, 史玉光. 乌鲁木齐 1991–2010 年降雨特征分析[J]. 中国沙漠, 2012, 32(2): 509–516.
- [24] 冷中笑, 格丽玛, 海米提·依米提, 等. 全球变暖背景下的乌鲁木齐市气温及降水气候特征分析[J]. 干旱区资源与环境, 2007, 21(4): 60–64.
- [25] 陆健. 最小二乘法及其应用[J]. 中国西部科技, 2007(12): 19–21.
- [26] 王可, 毛志伋. 基于 Matlab 实现最小二乘曲线拟合[J]. 北京广播学院学报: 自然科学版, 2005, 12(2): 52–56.
- [27] K H Hamed. Trend detection in hydrologic data: The Mann-Kendall trend test under the scaling hypothesis[J]. Journal of Hydrology, 2008, 349(3): 350–363.
- [28] Libiseller C, Grimm A. Performance of partial Mann-Kendall tests for trend detection in the presence of covariates[J]. Environmetrics, 2002, 13(1): 71–84.
- [29] 普宗朝, 张山清, 纪冬梅, 等. 近 30 年乌鲁木齐地区的气候变化[J]. 新疆气象, 2005, 28(4): 15–17.

## Extreme Climate Events in Urumqi during 1951–2008

Ci Hui<sup>1, 2</sup> and Zhang Qiang<sup>1</sup>

(1. School of Water Resources and Environment, Zhongshan University, Guangzhou 510275;

2. Key Laboratory of Water Cycle and Water Safety of Southern China in Guangdong Province, Zhongshan University, Guangzhou 510275)

**Abstract:** Based on sequence data of daily precipitation and temperature time in Urumqi during 1951–2008, and yearly and seasonal variation characteristics of precipitation and temperature of Urumqi are analyzed by using mathematical statistics method. Extreme climate events in the city are studied by methods as linear trend estimation, M–K trend test, etc. Results show that: ① precipitation and temperature had an abrupt climate change in 1987 and 1993 respectively, presenting a consistent upward trend and the abrupt change of temperature is more obvious than the precipitation mutation; ② precipitation amount and high temperature mainly concentrated in from April to October, and the precipitation becomes more plentiful after an abrupt change. precipitation amount increases obviously in winter and summer, and the temperature also increases with a more obvious daily maximum temperature than daily minimum temperature; ③ Mainly caused by winter warming, the annual average temperature is rising, showing a more obvious nighttime variation than diurnal change; ④ Precipitation shows a rising trend in summer, which is mainly because of extreme precipitation events, or taking this as a cooling mechanism to bate the rising of summer maximum temperature. Precipitation also shows a rising trend in winter, which is possibly resulting from the rising trend of minimum temperature in winter, aggravating the increase in winter precipitation; ⑤ various extreme temperature index and extreme precipitation index are comparatively analyzed, indicating that both precipitation and temperature show a rising trend.

**Key words:** precipitation; temperature; mutation analysis; extreme climate events; Urumqi