

# 阿拉善高原近 60 年的气候变化

春 喜<sup>1,2</sup>, 丹 丹<sup>2</sup>, 毕力格<sup>3</sup>, 刘美萍<sup>2</sup>, 刘 月<sup>2</sup>, 胡和达来<sup>2</sup>

(1.内蒙古师范大学蒙古高原环境与全球变化实验室,内蒙古 呼和浩特 010022;

2.内蒙古师范大学地理科学学院,内蒙古 呼和浩特 010022;

3.内蒙古气象科学研究所,内蒙古 呼和浩特 010022)

**摘 要:**阿拉善高原处于季风边缘区,生态环境极其脆弱,对气候干湿变化的响应极为敏感。利用近 60a 的逐月气温和降水量资料,采用非参数 Mann-Kendall 和 Mann-whitney 阶段性转换检验方法,分析了其变化趋势。结果表明,研究区气温在 1988 年前后发生突变,在该跃点后的 1988~2010 年的平均气温比 1955~1987 年要高 1℃以上,有明显的增温趋势。而年降水量则无明显的增加趋势,尽管部分站点在 1991 年前后有微弱的增加迹象,但是区域尺度的降水突变还不存在,气候仍以暖干化为主,暂不能得出气候向暖湿转变的结论。

**关键词:**阿拉善高原;水资源;气候变化;生态环境

中图分类号: P467

文献标识码: A

文章编号: 1000-0852(2013)02-0043-08

## 1 前言

以气温普遍升高为主要特征的气候变化备受各界关注,成为学术界研究的热点问题。然而我国各地的气温升高幅度和降水量的时空变化格局及水热组合形式存在巨大的地区差异<sup>[1]</sup>。近 50a 来中国南方长江中下游地区气温呈下降,降水量呈上升的总趋势<sup>[2-3]</sup>。与此相反,中国北方出现气温上升,降水量普遍下降的格局<sup>[4-6]</sup>。而中国西北地区则在 1987 年后气温明显上升,降水普遍增多,气候由暖干向暖湿转型<sup>[7-9]</sup>,导致内陆湖泊水位增高,河川径流量增加,植被恢复<sup>[10-11]</sup>。气候模拟也得出中国西北新疆、河西走廊和内蒙古西部降水量将增加的预测<sup>[12-13]</sup>。然而与西北接壤的内蒙古阿拉善高原却呈现地表径流减少,湖泊干涸、湿地锐减、绿洲萎缩,胡杨林和梭梭林面积缩减,生态环境日趋恶化<sup>[14-16]</sup>的局面。与西北降水量增加、气候向暖湿转型的结论不一致,存在分歧。因此,过渡带的阿拉善高原气候是否转型已成为研究的焦点。本文利用气象站点的逐月气温和降水量观测数据,探讨研究区气候变化问题。

## 2 资料与方法

### 2.1 研究区概况

阿拉善高原处于亚洲大陆的腹地,平均海拔为 1 250 m,面积为  $27 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,其中沙漠和戈壁面积约占 93%。受夏季风的影响,年降雨量从东南部的 200 mm 向西北部递减至 40 mm。而年蒸发量则相反,由东南部的 2 200 mm 向西北部递增至 2 800 mm。多年平均气温在 7~12℃,极端最低和最高气温分别达到 -30℃和 40℃,风大沙多,每年 8 级以上大风天气约 50 d。在气候变化和人类活动的双重作用下,该区域水资源严重短缺,生态环境严重退化,出现大批的生态难民,已成为我国最大的沙尘暴源地和全球气候变化响应敏感的地区。

### 2.2 资料

利用阿拉善高原 12 个气象站点有记录以来的逐月气温和降水量的观测数据,分析其变化趋势,识别突变过程,认识其变化规律。

### 2.3 研究方法

Mann-Kendall 非参数检验统计方法是世界气象组织推荐的应用于时间序列趋势分析的有效方法,被

收稿日期: 2012-05-04

基金项目: 国家自然科学基金(40962004); 内蒙古自治区自然科学基金(2009ZD04)

作者简介: 春喜(1965-),男,蒙古族,内蒙古兴安盟人,博士,主要从事干旱区环境变化研究。E-mail: chunxi@imnu.edu.cn

广泛用于水文、气象时间序列的趋势和突变分析<sup>[17-18]</sup>。在趋势检验中,假设  $H_0$  表示数据集  $X$  的样本独立分布,没有趋势存在。可选假设  $H_1$  表示数据集  $X$  中存在一个单调趋势。Mann-Kendall 统计检验方法可定义如下:

$$Z_c = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{Var(S)}} & S>0 \\ 0 & S=0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{Var(S)}} & S<0 \end{cases} \quad (1)$$

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{k=i+1}^n \text{sgn}(x_k - x_i) \quad (2)$$

当  $x_k - x_i$  大于、等于和小于 0 时,  $\text{sgn}(x_k - x_i)$  相应地分别等于 1、0 和 -1。如果  $-Z_{1-\alpha/2} \leq Z_c \leq Z_{1-\alpha/2}$ , 接受零假设  $H_0$ , 其中  $\pm Z_{1-\alpha/2}$  是标准正态分布的  $1-\alpha/2$  分位数,  $\alpha$  为显著性水平,查表得  $\alpha=0.05, Z_{1-\alpha/2}=\pm 1.96$ 。检验序列的单调趋势可用  $\beta$  值来判断,公式如下:

$$\beta = \text{Median} \left( \frac{x_i - x_j}{i - j} \right) \quad \forall j < i \quad (3)$$

式中:  $1 < j < i < n$ ,  $\beta$  是整个数据序列中的所有组合相邻单元变化率的中值,当  $\beta > 0$  时,反映上升的趋势,当  $\beta < 0$

时,反映下降的趋势。

Mann-Whitney 的阶段转换检验,假设存在矢量  $X=(X_1, X_2, \dots, X_n)$  及其子矢量,如  $Y=(X_1, X_2, \dots, X_{n_1})$  和  $Z=(X_{n_1+1}, X_{n_1+2}, \dots, X_{n_1+n_2})$ , 其检验统计值如下:

$$Z_c = \frac{\sum_{i=1}^{n_1} r(x_i) - n_1(n_1+n_2+1)/2}{[n_1n_2(n_1+n_2+1)/12]^{1/2}} \quad (4)$$

式中:  $r(x_i)$  为观测值的秩, 如果  $-Z_{1-\alpha/2} \leq Z_c \leq Z_{1-\alpha/2}$  则接受零假设;  $\pm Z_{1-\alpha/2}$  为  $1-\alpha/2$  在给定检验水平  $\alpha$  下的标准正态分布分位数。

### 3 结果

#### 3.1 气温突变

各站点的 Mann-kendall 检验表明,除了头道湖(吉河德和锡林高勒站点时间序列较短,故未考虑其突变点)外,其他各站点跃点集中在 20 世纪 80 年代末期,见图 1。以各站点跃点为分界线,分成前、后两个时段,计算结果(见表 1)表明后者的平均气温比前者高出  $0.84 \sim 1.4^\circ\text{C}$ , 上升幅度在  $9.4\% \sim 14\%$ , 显示了跃点后气温有明显的升高态势。对上述各跃点的 Mann-whitney 阶

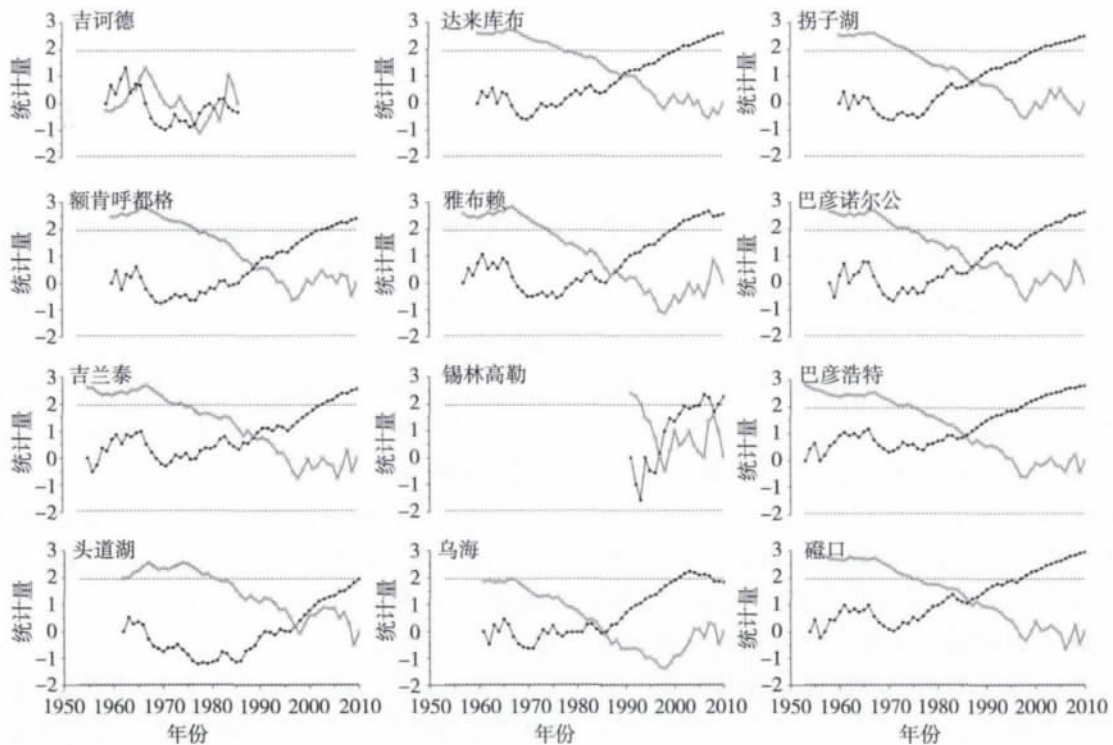


图1 各站点气温突变点分布

Fig.1 Distribution of the temperature mutational dots at the various stations

段性转换检验也显示(见表 2),除吉诃德站外,其他各站点  $Z_c$  值超出 1.96, 均通过 95% 的显著水平, 突变可信, 佐证了其跃点的存在和突变后的气温迅速上升的事实。

表1 各站点气温突变点及其前后变化  
Table1 The temperature mutational dots and annual mean change values at the various stations

站点	突变点	突变前时间序列及平均值/°C	突变后时间序列及平均值/°C	差值/°C
吉诃德	1980	1959~1979(8.43)	1980~1986(8.49)	0.06
达来库布	1991	1960~1990(8.38)	1991~2010(9.69)	1.31
拐子湖	1988	1960~1989(8.61)	1990~2010(9.91)	1.30
额肯呼都格	1990	1960~1990(8.41)	1991~2010(9.42)	1.01
雅布赖	1989	1957~1989(8.92)	1990~2010(9.76)	0.84
巴彦诺尔公	1988	1958~1988(6.93)	1989~2010(7.85)	0.92
吉兰泰	1990	1955~1990(8.68)	1991~2010(9.62)	0.94
锡林高勒	1998	1991~1997(8.24)	1998~2010(9.14)	0.90
巴彦浩特	1987	1953~1987(7.52)	1988~2010(8.92)	1.40
头道湖	1998	1962~1998(8.15)	1999~2010(9.15)	1.00
乌海	1986	1961~1986(9.20)	1987~2010(10.32)	1.12
磴口	1987	1954~1987(7.91)	1988~2010(9.01)	1.1

表2 气温突变点的Mann-whitney阶段转换检验  
Table2 Mann-whitney test results of trend for temperature time series

气温		序列		检验		
站点	突变点	$n_1$	$n_2$	$Z_c$	$P$	$H_0$
吉诃德	1980	21	7	1.38	0.17	A
达来库布	1991	30	21	5.38	0	R
拐子湖	1988	28	23	5.22	0	R
额肯呼都格	1990	30	21	5.23	0	R
雅布赖	1989	32	22	4.95	0	R
巴彦诺尔公	1988	31	22	4.83	0	R
吉兰泰	1990	35	21	4.68	0	R
锡林高勒	1998	7	13	3.09	0.01	R
巴彦浩特	1987	34	24	6.21	0	R
头道湖	1998	36	13	4.74	0	R
乌海	1986	25	25	4.79	0	R
磴口	1987	33	24	5.86	0	R

$P < 0.05$ , R:拒绝; A:接受

### 3.2 降水量突变

降水量的 Mann-kendll 检验表现相当复杂, 除雅布赖站点出现 2 次突变外, 其他站点均出现 3 次甚至 10 次以上的跃点, 呈现多次跳动, 并存在较大的时间差异(见图 2)。这可能与当地年降水量稀少, 年际变化巨大、降水次数和降雨强度变率等有关。经 Mann-whitney 阶段性转换检验, 巴丹吉林沙漠南部的雅布赖

和巴彦诺尔公站点, 通过了  $\alpha=0.05$  的信度检验, 证实了上述两站的降水量显著增加。然而其他站点均未通过  $\alpha=0.05$  的信度检验, 否定其各跃点的存在(仅列出最大  $Z_c$  值, 见表 3)。从而得出, 自 20 世纪 90 年代初期阿拉善高原东北部、雅布赖山周缘地区出现降水量明显增加的迹象, 而其余地区降水量增加却不明显, 甚至少数站点出现下降的趋势(见表 4)。

表3 降水突变点的Mann-whitney阶段转换检验  
Table3 Mann-whitney test results of trend for precipitation time series

降水		序列		检验		
站点	突变点	$n_1$	$n_2$	$Z_c$	$P$	$H_0$
吉诃德	1985	26	2	-2.14*	0.03	R
达来库布	1991	31	20	1.24	0.21	A
拐子湖	1978	18	33	-1.08	0.28	A
额肯呼都格	1993	33	18	0.96	0.34	A
雅布赖	1972	15	39	2.35*	0.02	R
巴彦诺尔公	1996	38	15	2.71*	0.01	R
吉兰泰	1992	37	19	1.28	0.20	A
锡林高勒	1998	7	13	0.83	0.41	A
巴彦浩特	1991	39	19	0.63	0.52	A
头道湖	1991	29	20	0.65	0.52	A
乌海	1987	26	24	0.59	0.55	A
磴口	1992	34	23	0.87	0.38	A

$P < 0.05$ , R:拒绝; A:接受; \* 为  $\alpha=0.05$  显著水平

表4 各站点降水突变点及其前后变化  
Table4 The temperature mutational dots and annual mean change values at the various stations

站点	突变点	突变前时间序列及平均值/mm	突变后时间序列及平均值/mm	均值差/mm
吉诃德	1985	1959~1984(36.8)	1985~1986(14.3)	-22.5
达来库布	1991	1960~1991(33.8)	1992~2010(36.8)	3
拐子湖	1978	1960~1978(48.6)	1979~2010(42.1)	-6.5
额肯呼都格	1993	1960~199(114.4)	1994~2010(121.2)	6.8
雅布赖	1972	1957~1972(68.2)	1973~2010(91.9)	23.7
巴彦诺尔公	1996	1958~1996(94)	1997~2010(118.3)	24.3
吉兰泰	1992	1955~199(106.4)	1993~2010(114.1)	7.7
锡林高勒	1998	1991~199(158.8)	1998~2010(146.3)	-12.5
巴彦浩特	1991	1953~199(207.1)	1992~2010(217.6)	10.5
头道湖	1991	1962~199(146.5)	1992~2010(154.4)	7.9
乌海	1987	1961~198(156.7)	1987~2010(159.1)	2.4
磴口	1992	1954~199(139.7)	1993~2010(152.4)	12.7

## 4 讨论

### 4.1 趋势分析

非参数 Mann-kendll 检验不仅可以反映时间序列

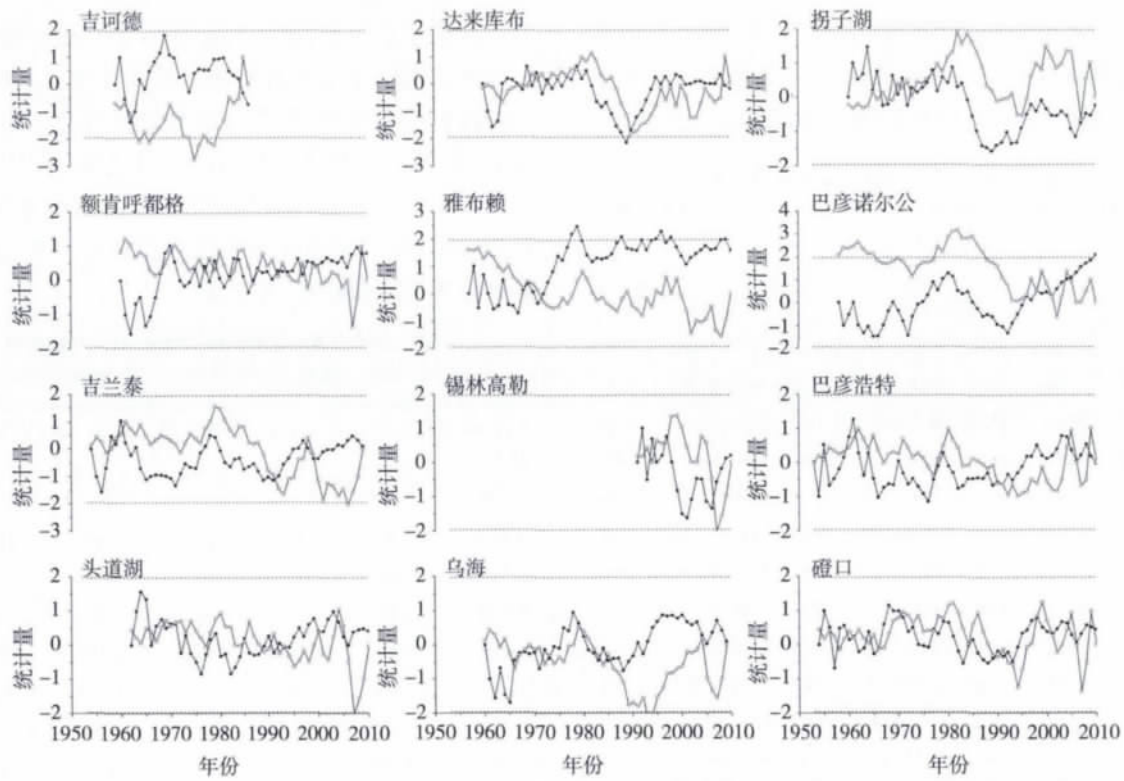


图2 各站点降水突变点分布

Fig.2 Distribution of precipitation mutation dots at the various stations

在跃点前后存在明显的差异,而且其 kendll 斜率  $\beta$  值还能够较好的指示时间序列的上升或下降趋势。从表 5 可知,在年际尺度上有 10 个站点的  $Z$  值均通过  $\alpha=0.001$  的信度检验, $\beta$  值在 0.02~0.04 间(除了吉河德  $\beta$  出现负值外),表明阿拉善高原区域性升温极为明显。其中北部的巴丹吉林沙漠、东部的乌兰布和沙漠升温显著。

而腾格里沙漠南部的升温幅度不及北部区。在气温的季节变化中,冬季升温最显著,分别有一半的站点通过  $\alpha=0.001$  和 0.01 的信度检验, $\beta$  值在 0.04~0.07 间,升温区集中在乌兰布和沙漠东部和巴丹吉林沙漠,与气温的年际变化相一致。其次为秋季和春季,夏季升温幅度则最小。

表5 各站点气温季节变化趋势

Table5 The trend test for seasonal temperature time series

气温	春		夏		秋		冬		年	
站 点	Z	$\beta$ 值	Z	$\beta$ 值	Z	$\beta$ 值	Z	$\beta$ 值	Z	$\beta$ 值
吉河德	-1.15	-0.03	-1.05	-0.01	0.39	0.01	-0.33	-0.01	-0.42	-0.01
达来库布	3.04**	0.04	4.09***	0.03	4.72***	0.05	3.71***	0.06	6.24***	0.04
拐子湖	3.31***	0.04	4.88***	0.04	4.69***	0.05	2.89**	0.05	6.03***	0.04
额肯呼都格	2.47*	0.02	2.79**	0.03	4.28***	0.04	4.14***	0.06	5.25***	0.03
雅布赖	2.81**	0.02	1.98*	0.01	2.81**	0.02	3.09**	0.04	4.69***	0.02
巴彦诺尔公	2.73**	0.03	2.92**	0.02	3.24**	0.03	3.01**	0.04	5.02***	0.03
吉兰泰	3.51***	0.03	3.04**	0.02	3.86***	0.03	2.96**	0.04	4.98***	0.03
锡林高勒	1.98*	0.07	-1.14	-0.05	1.85	0.07	2.38*	0.16	2.30*	0.05
巴彦浩特	3.99***	0.03	3.96***	0.03	5.46***	0.04	5.36***	0.07	6.71***	0.04
头道湖	2.17*	0.02	1.76	0.02	2.75**	0.03	3.30***	0.04	3.80***	0.02
乌海	2.53*	0.02	1.88	0.02	2.40*	0.02	3.24**	0.07	3.95***	0.03
磴口	4.69***	0.04	3.65***	0.02	5.08***	0.04	4.29***	0.06	6.67***	0.04

\* 为显著水平  $\alpha=0.05$ ; \*\* 为显著水平  $\alpha=0.01$ ; \*\*\* 为显著水平  $\alpha=0.001$ 。

由表 6 看出,在降水量的年际变化中,巴彦诺尔公的  $Z$  值为 2.08,通过  $\alpha=0.05$  信度检验,且  $\beta$  值为 0.77,增长趋势明显。雅布赖站的  $Z$  值为 1.59,尽管未能通过  $\alpha=0.05$  信度检验,但是其  $\beta$  值为 0.48,仍保持增长的趋势。而达来库布、巴彦浩特和拐子湖站点的  $\beta$  值分别为 -0.03、-0.02 和 -0.06,表明巴丹吉林沙漠北部和贺兰山西坡降水量呈下降的趋势。其他站点的  $\beta$  值尽管出现正值,保持微弱的上升态势,但是未能达到显著水平。

在降水量的季节分配中,各站点的  $\beta$  值在 0~0.01 间,且拐子湖和达来库布站冬季的  $Z$  值分别为 2.05 和 2.21,通过  $\alpha=0.05$  信度检验,表明冬季降水量保持稳

中微增的趋势。春季降水量的  $\beta$  值均为正值,显示春季降水量也有增加趋势。秋季降水除了阿拉善高原南部地区外,同样出现增加趋势。在夏季巴丹吉林沙漠南部巴彦诺尔公、腾格里沙漠北部雅布赖和额肯呼都格站的降水有所增加,其他 6 个站的  $\beta$  值均出现负值,表明夏季降水整体呈下降的趋势。由于夏季降水量占研究区全年降水量的 60%~81%,因此对年降水量起决定性的作用。尽管春、秋、冬季降水量有微弱增加态势,但是这些季节累计降水量极为稀少,对年降水量的贡献率微不足道,不足以影响年降水量的变化方向、程度和幅度。

表6 各站点降水量季节变化趋势  
Table6 The trend test for seasonal precipitation time series

气温 站点	春		夏		秋		冬		年	
	$Z$	$\beta$ 值	$Z$	$\beta$ 值	$Z$	$\beta$ 值	$Z$	$\beta$ 值	$Z$	$\beta$ 值
吉诃德	-0.12	0.00	0.42	0.16	0.53	0.03	-0.69	0.00	-0.69	-0.26
达来库布	0.30	0.01	-0.98	-0.10	0.97	0.03	2.21*	0.01	-0.18	-0.03
拐子湖	0.38	0.01	-1.01	-0.17	1.55	0.10	2.05*	0.00	-0.21	-0.06
额肯呼都格	0.64	0.06	0.18	0.09	0.52	0.09	0.40	0.01	0.80	0.23
雅布赖	0.08	0.01	1.37	0.28	1.48	0.17	1.30	0.00	1.59	0.48
巴彦诺尔公	1.03	0.08	1.33	0.36	2.83**	0.30	0.73	0.01	2.08*	0.77
吉兰泰	0.54	0.05	-1.02	-0.29	0.96	0.12	-0.07	0.00	0.11	0.03
锡林高勒	1.04	0.68	-0.49	-1.03	1.95	1.48	1.09	0.12	0.16	0.36
巴彦浩特	0.34	0.05	-0.74	-0.35	0.87	0.13	0.19	0.00	-0.02	-0.02
头道湖	0.54	0.10	0.24	0.10	-0.03	-0.01	1.72	0.03	0.41	0.26
乌海	1.97*	0.10	-0.55	-0.05	-0.28	-0.02	1.18	0.01	0.09	0.06
磴口	0.43	0.02	-0.68	-0.09	1.52	0.06	0.45	0.00	0.45	0.18

\* 为  $\alpha=0.05$  显著水平;\*\* 为  $\alpha=0.01$  显著水平;

#### 4.2 突变分析

通过分析各站点气温和降水量跃点在时间上的一致性,判断其区域尺度的突变过程。在气温突变中,多数站点的跃点在 1988 年前后出现(见图 2)。尽管头道湖站气温跃点出现在 1998 年,滞后于其他站点近 10a,但是如果以 1988 年为临界点来计算,其后的均温高于前期  $0.84^{\circ}\text{C}$ ,上升幅度为 10.5%,并通过 Mann-kendll 突变检验和 Mann-Withely 阶段性检验的  $\alpha=0.05$  信度水平,与其他站点 1988 年的跃点特征相似(吉诃德和锡林高勒的时间序列短,因此其突变点不同)。综合考虑上述因素,我们认为研究区气温突变应以 1988 年为宜。从表 1 可知,跃点后升温最高和最低的站点分别为巴音浩特站和雅布赖站,变化为  $1.4^{\circ}\text{C}$  和  $0.84^{\circ}\text{C}$ ,幅度为 18.6%和 9.4%。据此推断,近 20a 来阿拉善高原的升温过程并非是局部现象,而是大范围的整体上升。

其原因一是受全球变暖的背景影响;二是平坦的内陆高原地形、广阔的沙漠环境和裸露的地表条件,对升温过程起放大器的作用。邻近地区的研究也证实了气温的升高过程和跃点出现时间基本一致<sup>[19-21]</sup>。

年降水量的跃点和空间分布相当复杂。雅布赖和巴彦诺尔公的上升最明显,分别提高 24.3 mm 和 23.7 mm,提升幅度分别为 25.9%和 34.8%,并通过  $\alpha=0.05$  信度检验。尽管其他站点的多次跃点均未通过 Mann-whitly 阶段性转换检验,但是多数站点的降水量在 1991 年前后确实存在微弱的上升趋势(除了拐子湖、吉诃德站),幅度在 1.6%~7.2%(见表 4)。

#### 4.3 气候转型的讨论

在气温普遍升高的背景条件下,降水量的多寡成为气候转型的关键因素。大量的研究指出,从 1987 年

开始西北地区的降水量明显上升,其中1987~2000年的年均降水量比1960~1986年增加22%,即北疆和南疆分别增加36 mm和17.4 mm,增幅分别为33%和10%~20%,气候由暖干向暖湿转变的报道<sup>[7-9]</sup>。受降水增加的影响,新疆内陆典型的封闭湖泊如乌伦古湖、博斯腾湖、艾丁湖和艾比湖水位上升,水域面积扩展20%~50%<sup>[10,22-23]</sup>。塔里木河流域降水量增加20%以上<sup>[24]</sup>,阿克苏河径流量也增加了10.9%<sup>[25]</sup>。然而,最近大范围的气象观测的趋势分析指出,西北地区整体干旱化趋势明显,局部出现暖湿现象<sup>[26]</sup>。即新疆北部、祁连山区和柴达木盆地降水增加,而甘肃河东地区、青海东部、陕西、宁夏等地则明显减少<sup>[27-28]</sup>。甚至得出在西风影响区年降水量表现为小幅度增加趋势,而季风影响区则表现为小幅度减少的结论<sup>[29]</sup>。降水量的这种空间差异性在西北地区中、小时空尺度的研究中也清楚地识别到<sup>[30-31]</sup>。因此西北地区水资源日益短缺,天然植被退化,土地荒漠化,气象灾害增多,生态环境不断恶化<sup>[32-33]</sup>是不争的事实。

阿拉善高原的气候变化不仅表现为气温和降水量的升与降,更重要的是其水热组合特征及时空分布的耦合关系。从水热组合来看,研究区气温从1988年开始整体上升,且多数站点降水量也从1991年开始有微弱的上升迹象。似乎有气候向暖湿转变的迹象,然而,事实并非如此。首先,尽管从20世纪90年代开始降水有微弱的增加趋势,但是气温的显著增强必然增加地表蒸发量,从而抵消降水增加所带来的生态效应。研究表明,气温增加1℃,地表蒸发增加5%~6%<sup>[34]</sup>。因此,在极度缺水的荒漠地区降水量的微弱增加趋势不能够改变其干旱的环境状况,而且降水量与蒸发量比值所决定的相对湿度可能会降低,进而会引发严重的旱灾。事实证明,研究区生态环境不但没有好转,反而出现沙漠扩展、植被退化、湖泊干涸、湿地锐减、绿洲萎缩、植被覆盖度和密度减少等生态环境恶化局面<sup>[15-16]</sup>,故气候仍保持暖干化的趋势。其次,夏季降水量的减少,严重制约植物生长和植被恢复,影响水资源的时空分布格局。尽管在冬季、春季降水量有不同程度的增加趋势,但是夏季降水量却明显下降,导致植物季节性缺水加重,旱灾发生的频率增加,可能引发生态环境的进一步恶化。区内主要河流石羊河由于区域夏季降水量的减少导致该河年径流量减少达64%~87.9%<sup>[14,35]</sup>,也佐证了干旱加剧的事实。尽管当地政府从2000年开始实行严格的生态移民政策,大面积

草原围封禁牧,草地承载力明显下降,但是收效甚微,生态环境持续恶化的局面仍未改变,主要是受气候暖干化的影响所致。

在空间尺度上,降水量的增加主要集中在阿拉善高原中部巴丹吉林沙漠南部及腾格里沙漠北部的狭长地带,而该高原南部和西北的广大地区降水量则呈稳中有降的趋势。根据研究区气温和降水量的实际变化、其时空分布和水热组合特征来判断,阿拉善高原气候仍以干旱化为主,不能满足气候从暖干向暖湿转型的基本条件。因此,暂且不能得出阿拉善地区降水量明显增加,气候向暖湿转型的结论。

## 5 结论

(1)阿拉善高原以1988年为跃点存在气温突变。跃点后1988~2010年的平均气温比1955~1987年高出1℃以上,有明显的增温趋势;

(2)降水量的变化极为复杂,且存在区域差异。在巴丹吉林沙漠南部以1992年为跃点存在微弱的增加趋势,但是其南部增加不明显;

(3)尽管研究区降水量微弱增加,但是降水总量稀少,且年际变化大,不足以抵消气温升高所带来的地表蒸发量增加效应。因此研究区气候还是以暖干化为主,暂不能得出气候向暖湿转变的结论。

### 参考文献:

- [1] IPCC, In: R.K.Pachauri, A.Reisinger (Eds.). Climate Change 2007: Synthesis Report [A]. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [C]. IPCC, Geneva, Switzerland, 2007.
- [2] ZHANG Qiang, JIANG Tong, M.Gemmer, et al. Precipitation, temperature and runoff analysis from 1950 to 2002 in the Yangtze basin, China[J]. Hydrological Sciences, 2005, 50 (1):65-80.
- [3] ZHEN Taocong, ZHAO Jingjing, YANG Dawen, et al. Understanding the hydrological trends of river basins in China [J]. Journal of Hydrology, 2010, 388:350-356.
- [4] FU Guobin, CHEN Shulin, LIU Changming, et al. Hydro-climatic trends of the Yellow river basin for the last 50 years [J]. Climate Change, 2004, 65 (1-2):149-178.
- [5] HUANG Yi, CAI Jialiang, HE Yin, et al. Correlation of precipitation to temperature variation in the Huanghe river (Yellow river) basin during 1957-2006[J]. Journal of Hydrology, 2009, 372:1-8.
- [6] YANG Yonghui, TIAN Fei. Abrupt change of runoff and its major driving factors in Haihe river catchment, China [J]. Journal of Hydrology, 2009, 374:373-383.
- [7] SHI Yafeng, SHENG Yongping, LI Dongliang, et al. Discussion

- on the present climate change from warm-dry to warm-wet in northwest China[J]. *Quaternary Sciences*, 2003, 23 (2):152-164.
- [8] SHI Yafeng, SHEN Yongping, E.Kang, et al. Recent and future climate change in northwest China[J]. *Climate Change*, 2007, 80:379-393.
- [9] 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. (LI Dongliang, WEI Li, CAI Ying, et al. The present facts and the future tendency of the climate change in northwest China[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2003, 25(2):135-142. (in Chinese))
- [10] 迪丽努尔·阿吉, 艾克巴尔. 新疆主要湖泊水域面积动态变化研究[J]. *水文*, 2010, 30(5): 91-95. (Dilinu'er·Aji, Aikebaer. Study on dynamic change of main lakes water area in Xinjiang [J]. *Journal of China Hydrology*, 2010, 30(5):91-95. (in Chinese))
- [11] CHEN Yaning, XU Changchun, HAO Xingming, et al. Fifty-year climate change and its effect on annual runoff in the Tarim river basin, China[J]. *Quaternary International*, 2009, 208:53-61.
- [12] GAO Xuejie, ZHAO Zongci, DING Yihui. Climate change due to greenhouse effects in China as simulated by regional climate model[J]. *Advance in Atmosphere Science*, 2001, 18:1224-1230.
- [13] 赵宗慈, 丁一汇, 徐影, 等. 人类活动对 20 世纪中国西北地区气候变化影响检测和 21 世纪预测 [J]. *气候与环境研究*, 2003, 8(1):26-34. (ZHAO Zongci, DING Yihui, XU Ying, et al. Detection and prediction of climate change for the 20th and 21st century due to human activity in Northwest China [J]. *Climatic and Environmental Research*, 2003, 8(1):26-34. (in Chinese))
- [14] MA Zhenmei, KANG Shaozhong, ZHANG Lu, et al. Analysis of impacts of climate variability and human activity on streamflow for a river basin in arid region of northwest China [J]. *Journal of Hydrology*, 2008, 352:239-249.
- [15] 张百平, 张雪芹, 姚永慧, 等. 内蒙古阿拉善地区荒漠化与战略性对策[J]. *干旱区研究*, 2007, 26(4):453-459. (ZHANG Baiping, ZHANG Xueqin, YAO Yonghui, et al. Desertification and strategic policies in the Alxa region of Inner Mongolia [J]. *Arid Zone Research*, 2007, 26(4):453-459. (in Chinese))
- [16] 李锦秀, 肖洪浪, 任娟. 阿拉善地区水资源与生态环境变化及其对策研究[J]. *干旱区资源与环境*, 2010, 24(11):57-61. (LI Jinxiu, XIAO Honglang, REN Juan. Issues about water resources development and ecological environment change and its countermeasures in Alashan region, Inner Mongolia of China [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2010, 24 (11):57-61. (in Chinese))
- [17] H.B.Mann. Non-parametric tests against trend [J]. *Econometrica*, 1945, 13: 245-259.
- [18] M.G.Kendall, A.Stuart. *The Advanced Theory by Statistics* [M]. Griffin, London, 1973.
- [19] 陈少勇, 郭江勇, 韩通, 等. 中国西北干旱半干旱区近 46a 秋季气候变暖分析. *中国沙漠*, 2009, 29(3): 544-550. (CHEN Shaoyong, GUO Jiangyong, HAN Tong, et al. Climate warming of autumn air temperature in arid and semiarid regions in Northwest China over the recent 46 Years [J]. *Journal of Desert Research*, 2009, 29(3):544-550. (in Chinese))
- [20] 李万源, 钱正安. 中蒙干旱半干旱区冬、夏季地面气温时空变化特征分析(一):1 月[J]. *高原气象*, 2005, 4(6): 889-897. (LI Wanyuan, QIAN Zhengan. Temporal and spatial feature analysis of winter and summer surface air temperature in CMASA, part(一):January [J]. *Plateau Meteorology*, 2005, 24(6):889-897. (in Chinese))
- [21] 李占玲, 徐宗学. 近 50 年来黑河流域气温和降水量突变特征分析[J]. *资源科学*, 2011, 33 (10): 1877-1882. (LI Zhanling, XU Zongxue. Detection of change points in temperature and precipitation time series in the Heihe river basin over the past 50 years [J]. *Resources Science*, 2011, 33 (10):1877-1882. (in Chinese))
- [22] 郭锐, 张杰, 梁芸. 西北地区近年来内陆湖泊变化反映的气候问题[J]. *冰川冻土*, 2003, 25(2): 211-214. (GUO Ni, ZHANG Jie, LIANG Yun. Climate change indicated by the recent change of inland lakes in Northwest China [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2003, 25(2):211-214. (in Chinese))
- [23] 王前进, 巴音查汗, 马道典, 等. 艾比湖水面积近 50a 变化成因分析[J]. *冰川冻土*, 2003, 25(2):224-228. (WANG Qianjin, Bayinchahan, MA Daodian, et al. Analysis on causes of the water level variation of Ebinur lake in recent 50 years [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2003, 25(2):224-228. (in Chinese))
- [24] XU Zongxue, CHEN Yaning. Impact of climate change on water resources in the Tarim river basin [J]. *Water Resources Management*, 2004, 18:439-458.
- [25] CHEN Yaning, XU Changchun, HAO Xingming, et al. Fifty-year climate change and its effect on annual runoff in the Tarim river basin, China[J]. *Quaternary International*, 2009, 208:53-61.
- [26] 张强, 张存杰, 白虎志, 等. 西北地区气候变化新动态及对干旱环境的影响——总体暖干化, 局部出现暖湿迹象 [J]. *干旱气象*, 2010, 28(1):1-7. (ZHANG Qiang, ZHANG Cunjie, BAI Huzhi, et al. New development of climate change in Northwest China and its impact on arid environment [J]. *Journal of Arid Meteorology*, 2010, 28(1):1-7. (in Chinese))
- [27] 王劲松, 费晓玲, 魏锋. 中国西北近 50a 来气温变化特征的进一步研究 [J]. *中国沙漠*, 2008, 28 (4): 724-732. (WANG Jinsong, FEI Xiaoling, WEI Feng. Further study of temperature change in Northwest China in recent 50 years [J]. *Journal of Desert Research*, 2008, 28(4):724-732. (in Chinese))
- [28] 陈晓光, D.Conway, 陈晓娟, 等. 1961-2005 年宁夏极端降水事件变化趋势分析[J]. *气候变化研究进展*, 2008, 4 (3):156-160. (CHEN Xiaoguang, D.Conway, CHEN Xiaojuan, et al. Trends of extreme temperature in Ningxia during 1961-2004[J]. *Advances in Climate Change Research*, 2008, 4 (3):156-160. (in Chinese))
- [29] 王鹏祥, 杨金虎, 张强, 等. 近半个世纪来中国西北地面气候变化基本特征 [J]. *地球科学进展*, 2007, 22 (6):649-656. (WANG Pengxiang, YANG Jinhu, ZHANG Qiang. Climate change characteristic of Northwest China in recent half century [J]. *Advances in Earth Science*, 2007, 22(6):649-656. (in Chinese))

- [30] 谢金南, 周嘉陵. 西北地区中、东部降水趋势的初步研究[J]. 高原气象, 2001, 20 (4):362-367.(XIE Jinnan, ZHOU Jialing. A preliminary study on trends and interannual variation of precipitation in central and western portions of Northwest region of China[J]. Plateau Meteorology, 2001, 20(4):362-367. (in Chinese))
- [31] 张存杰, 李栋梁, 王小平. 东北亚近 100 年降水变化及未来 10-15 年预测研究 [J]. 高原气象, 2004, 23 (6): 919-929.(ZHANG Cunjie, LI Dongliang, WANG Xiaoping. Study on precipitation variability in last 100 years and trend prediction in Northeast Asia in future 10-15 years [J]. Plateau Meteorology, 2004, 23(6): 919-929. (in Chinese))
- [32] 王绍武, 董光荣. 中国西部环境特征及其演变[M], 北京: 科学出版社, 2002:71-145.(WANG Shaowu, DONG Guangrong. Environmental Characteristics and Evolution of Western China [M]. Beijing: Science Press, 2002:71-145. (in Chinese))
- [33] 王苏民. 环境演变对中国西部发展的影响及对策 [M]. 北京: 科学出版社, 2002:15-17. (WANG Sumin. Environmental Evolution of the Development of Western China and Countermeasures [M]. Beijing: Science Press, 2002:15-17. (in Chinese))
- [34] G.B.Phipp, C.A.Biney. Management of freshwater bodies in Ghana [J]. Water international, 2002, 27:476-484.
- [35] 李玲萍, 杨永龙, 钱莉. 石羊河流域近 45 年气温和降水量特征分析[J]. 干旱区研究, 2008, 25 (5): 705-708. (LI Lingping, YANG Yonglong, QIAN Li. Analysis on the characteristics of temperature and precipitation in the Shiyang River basin since recent 45 years [J]. Arid Zone Research, 2008, 25(5): 705-708. (in Chinese))

### Climate Change in Alxa Plateau over Recent 60 Years

CHUN Xi<sup>1,2</sup>, DAN Dan<sup>2</sup>, BI Lige<sup>3</sup>, LIU Meiping<sup>2</sup>, LIU Yue<sup>2</sup>, HU Hedalai<sup>2</sup>

(1. Key Laboratory of Mongolian Plateau Environment and Global Change, Inner Mongolia Normal University, Hohhot 010022, China; 2. College of Geographical Science, Inner Mongolia Normal University, Hohhot 010022, China; 3. Inner Mongolia Institute of Meteorological Science, Hohhot 010022, China)

**Abstract:** Alxa Plateau, located in the monsoon margin area, where ecological environment is extremely fragile, is very sensitive to the dry and wet changes of climate. In this paper, the mutation and its change trend was analyzed by using Mann-Kendall and Mann-Whitney test, according to the monthly temperature and precipitation from the meteorology stations in the study area over the recent 60 years. The results show that the temperature mutation of the study area occurred in 1988, and the annual mean temperature from 1988 to 2010 is 1°C higher than that from 1955 to 1987, which show a significant warming trend while there is no obvious increasing trend of annual precipitation. Although there was a slight increase trend since 1991 at some stations, the precipitation mutation of regional scale did not occur. So the climate condition is still warm and dry, and it hasn't changed to warm and wet.

**Key words:** Alxa Plateau; water resources; climate change; ecological environment

—————  
(上接第 42 页)

### Application of SWBM Model in Climate Change Impact Assessment for Xilinha River Basin

LI Yang<sup>1</sup>, ZHU Zhongyuan<sup>1</sup>, JIA Debin<sup>1</sup>, YAO Suhong<sup>2</sup>, LIU Cuishan<sup>3,4</sup>, LI Haobing<sup>5</sup>

(1. Inner Mongolia Agricultural University, Hydraulic and Civil Engineering Institute, Hohhot 010018, China; 2. Inner Mongolia Autonomous Region Third Institute of Geology and mineral Exploration and Development, Hohhot 010050, China; 3. Research Center for Climate Change, Ministry of Water Resources, Nanjing 210029, China; 4. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Nanjing 210029, China; 5. Yellow River Institute of Hydraulic Research, Zhengzhou 450003, China)

**Abstract:** Taking the Xilinha River Basin, a dry cold basin located in the Inner Mongolia of China, as a case, a snowmelt-based water balance model (SWBM) was applied to simulate runoff and study climate change impact. The results indicate that SWBM performs well for monthly runoff simulation, Nash - Sutcliffe efficiency (NSEs) in calibration and verification periods are both over 60% while relative error (Res) in both periods are less than 8%. Under global warming, water resources in the Xilinha River Basin will present decreasing trend with significant decreasing possibly occurred after 2030.

**Key words:** water balance model; parameter calibration; runoff simulation; impact assessment