

文章编号: 1001-4675(2011)02-0242-09

# 1960-2009年巴丹吉林沙漠南北缘气候变化分析\*

马宁<sup>1</sup>, 王乃昂<sup>1</sup>, 李卓仑<sup>1</sup>, 陈秀莲<sup>2</sup>, 朱金峰<sup>1</sup>, 董春雨<sup>1</sup>

(1. 兰州大学资源环境学院 兰州大学干旱区水循环与水资源研究中心, 甘肃 兰州 730000;

2. 内蒙古自治区阿拉善盟气象局, 内蒙古 巴彦浩特 750306)

**摘要:** 利用巴丹吉林沙漠北缘的额济纳旗、拐子湖和南缘的阿拉善右旗、雅布赖4个气象站, 1960-2009年逐月平均气温、降水量和相对湿度资料, 运用一元线性回归、趋势系数分析和5年滑动平均方法, 分析近50年来沙漠南北缘气候变化趋势。结果发现: 近50年来, 巴丹吉林沙漠南北缘年平均气温显著升高, 升温速率为 $0.27 \sim 0.48 \text{ } ^\circ\text{C} / 10 \text{ a}$ , 高于同期全国和西北地区东部平均升温速率。北缘的年平均气温升温速率和升温趋势均大于南缘。南北缘各季节年均气温显著升高, 各站均表现为冬季升温速率最大, 但各季节平均气温的升温趋势有差异。巴丹吉林沙漠南北缘各站年降水量波动很大。近50年来, 北缘年降水量略有减少, 南缘略有增加。各站点季节降水量变化趋势亦不明显, 且不同站点变化特征不同。沙漠南北缘湿润度很低, 属极干旱等级。近50年来, 北缘年平均湿润度略有下降, 南缘则略有上升, 但湿润度的变化趋势不明显。

**关键词:** 气候变化; 气温; 降水; 湿润度; 变化趋势; 巴丹吉林沙漠

**中图分类号:** P467 **文献标识码:** A

气候变化是当今全球共同面临的重大课题, 事关国民经济的发展和环境的保护, 同时影响到人类社会的可持续发展, 已经受到了各国政府的高度重视<sup>(1-3)</sup>。IPCC第四次评估报告指出, 1906-2005年全球平均气温上升了 $0.74 \text{ } ^\circ\text{C}$ <sup>(4)</sup>。由于特殊的地域和特殊的生态系统对气候变化的响应较为敏感, 近年来区域气候变化逐渐成为研究的热点<sup>(5-7)</sup>, 尤其是环境相对恶劣的沙漠及其周边地区受到广泛关注。有研究指出<sup>(8)</sup>, 在全球变暖的大背景下, 我国北方沙区暖干化趋势明显, 进而导致沙漠化进程加剧, 且这一表现在21世纪会更加严峻。前人对塔克拉玛干沙漠周边地区<sup>(9-10)</sup>、古尔班通古特沙漠地区<sup>(11)</sup>和浑善达克沙地<sup>(12-13)</sup>等近几十年来气候变化特征作了大量工作并取得较多成果, 然而对于地处中国北方沙区东西交界处的巴丹吉林沙漠地区的现代气候变化研究尚不多见。研究环境变化和区域差异是探讨全球变化区域响应、土地沙漠化、沙尘暴等环境变化的基础, Wei<sup>(14)</sup>通过对比气象资料和卫星图像表明, 在没有人影响条件下, 古尔班通古特沙漠边缘地区沙漠化对气候变化响应明显, 这种响应过程亦表现出沙漠化的敏感性。巴丹吉林沙漠地处我国夏季风边缘区<sup>(15)</sup>, 对全球气候变化的响应十分敏感, 由于生态极为脆弱, 气候变化和人类活动往往

会导致其周边地区环境的剧烈改变<sup>(16-17)</sup>。本文选取巴丹吉林沙漠北缘的2个气象站和南缘的2个气象站近50年来的气象观测资料, 分析全球变暖大背景下巴丹吉林沙漠南北缘气候变化趋势, 一方面可以揭示巴丹吉林沙漠地区对全球变暖响应程度的区域差异, 另一方面可为其周边地区沙漠化防治和环境治理提供理论依据。

## 1 资料与方法

### 1.1 资料

巴丹吉林沙漠位于内蒙古自治区阿拉善右旗北部, 其范围大致在合黎山、北大山以北, 拐子湖、古居延泽以南, 雅布赖盐湖与雅布赖山以西北, 宗乃山公路以西, 黑河正义峡出山口、弱水东岸至古日乃湖以东, 面积约为 $5.21 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 属我国第二大沙漠<sup>(18)</sup>。本研究选取位于沙漠北缘的额济纳旗气象站和拐子湖气象站、南缘的阿拉善右旗气象站和雅布赖气象站(图1) 1960-2009年逐月平均气温、降水量和相对湿度资料。1960-2009年额济纳旗、拐子湖和阿拉善右旗均无迁站记录, 雅布赖站于1965年(雅布赖迁至中泉子)和2007年(中泉子迁至雅

\* 收稿日期: 2010-04-14; 修订日期: 2010-07-04

基金项目: 国家自然科学基金(J0730536)和高等学校博士学科点专项科研基金(20090211110025)联合资助

作者简介: 马宁(1990-), 男, 安徽蒙城人, 本科生, 主要从事区域气候变化研究。E-mail: ma.n2007@yahoo.com.cn

通讯作者: 王乃昂。E-mail: wangna@lzu.edu.cn

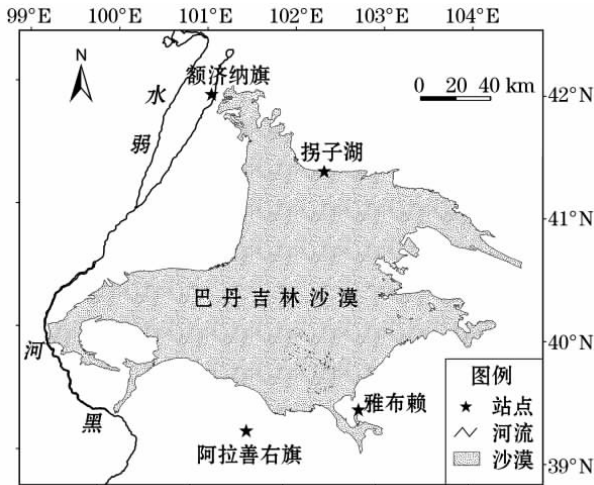


图 1 巴丹吉林沙漠南北缘气象站点分布示意图

Fig. 1 Geographical location of the meteorological stations in the northern and southern marginal zones of the Badain Juran Desert

布赖) 发生两次迁移, 但两地距离仅 15 km, 海拔高

程几乎相同, 迁移影响可不予考虑, 故本文所用资料具有较好的均一性。此外, 由于雅布赖站 1960 年 1 ~ 12 月平均气温资料缺失, 为统一 4 个站点的时间序列长度, 利用距离雅布赖站较近的国家基本气象站阿拉善右旗站( 两站 1961 - 2009 年平均气温相关系数为 0.956, 通过信度为 0.01 的显著性检验) 1960 年 1 ~ 12 月气温资料, 按照文献 (19) 的差值订正法对雅布赖站逐月气温资料进行延长, 获得其 1960 年 1 ~ 12 月的平均气温资料。

通过对沙漠北缘 2 个站点和南缘 2 个站点年平均气温和年降水量作相关性分析, 得到北缘额济纳旗与拐子湖的年平均气温相关系数为 0.964、年降水量相关系数为 0.701; 南缘阿拉善右旗与雅布赖的年平均气温相关系数为 0.956、年降水量相关系数为 0.471, 均通过了信度为 0.01 的显著性检验, 说明北(南) 缘的 2 个站点之间气候变化具有很好的一致性。

表 1 巴丹吉林沙漠南北缘气象站点基本情况

Tab. 1 Basic information of the meteorological stations in the northern and southern marginal zones of the Badain Juran Desert

站点	纬度(N)	经度(E)	海拔/m	距沙漠距离/km	站点周边景观
额济纳旗	41°57′	101°04′	940	16	黑河河谷冲积平原, 距额济纳旗东河约 1 km
拐子湖	41°22′	102°22′	960	<1	平坦的洪积平原, 地形平坦, 周边为典型荒漠
阿拉善右旗	39°13′	101°41′	1 510	32	干燥作用的低丘, 南侧是平均海拔超过 2 km 的龙首山
雅布赖	39°18′	102°42′	1 240	2	雅布赖山西南端, 植被盖度较小的平坦剥蚀平原

对所有数据进行准确性检验后, 计算处理获得年、季节气温和降水时间序列。其中, 季节划分按照气象学的划分方法, 以 3 ~ 5 月为春季、6 ~ 8 月为夏季、9 ~ 11 月为秋季、12 月至翌年 2 月为冬季。气候要素多年平均值按照世界气象组织推荐的 1971 - 2000 年计算 30 年平均值作为各站多年平均值。

## 1.2 方法

气候趋势分析采用一次线性倾向估计法<sup>(20)</sup>, 即

$$Y_i = at_i + b \quad (1)$$

式中:  $Y_i$  为气候要素值;  $t_i$  为气候要素对应的时间 (本文  $t$  为 1960 - 2009 年);  $a$  和  $b$  分别为回归系数和回归常数,  $a$  也称为气候倾向率,  $a > 0$  表示气候要素随时间  $t$  升高 (增大),  $a < 0$  表示气候要素随时间  $t$  降低 (减少),  $a$  的大小表示气候要素随时间的变化速率, 为了方便一般用  $a \times 10$  来表示气候要素每 10 年的变化率。在求得气候倾向率后, 判断其是否显著, 需要计算气候要素  $Y$  和时间  $t$  的相关系数 (又称为趋势系数), 此趋势系数避免了气候要素的

标准差对线性回归系数的影响, 可以用来比较不同位置气候要素的长期趋势变化的大小<sup>(21)</sup>。如果趋势系数通过显著性检验, 则 (1) 式中计算的气候倾向有统计意义。

干湿指数采用伊万诺夫指标<sup>(22)</sup>来计算, 它综合考虑了水热平衡关系, 目前在中国干旱半干旱地区<sup>(23-25)</sup>气候干湿度分析中得到广泛应用, 尚可政<sup>(8)</sup>等也曾运用该指标对北方沙漠地区干湿状况进行了研究, 其计算公式为:

$$H = \frac{R}{0.0018(100 - RH)(T + 25)^2} \quad (2)$$

式中:  $H$  为月湿润度;  $RH$  为月平均相对湿度 (%);  $T$  为月平均气温 (°C);  $R$  为月降水量 (mm); 年湿润度用各月湿润度算术平均求得。伊万诺夫湿润度分级标准<sup>(22)</sup>为:  $H$  值小于 0.13 为极干旱, 0.13 ~ 0.29 为干旱, 0.3 ~ 0.59 为半干旱, 0.6 ~ 1.0 为半湿润, 大于 1.0 为湿润。

## 2 气温变化

### 2.1 年平均气温变化

从表2可以看出,近50年来巴丹吉林沙漠南北缘年平均气温上升明显,其中北缘的额济纳旗和拐子湖年平均气温的升温速率分别达0.48℃/10a和0.47℃/10a,南缘的阿拉善右旗和雅布赖年平均气温的升温速率较北缘低,分别为0.34℃/10a和0.27℃/10a,但南北缘各站点均高于同期全国平均升温速率(0.22℃/10a)<sup>(26)</sup>和西北地区东部的平均升温速率(0.17℃/10a)<sup>(27)</sup>。4个站点的年平均气温趋势系数均通过了信度为0.001标准下的显著性检验,其中沙漠北缘的趋势系数亦大于南缘。

巴丹吉林沙漠南北缘各站年平均气温的变化较

为一致(图2),各站均在1965年以后气温开始明显下降,在20世纪60年代后期相继出现各站近50年来最低气温,70-80年代前期各站点气温在波动中上升,但多数仍在多年平均值之下,60-80年代属于偏冷期,80年代中后期各站升温显著,90年代以后沙漠南北缘开始进入偏暖期,90年代前期南北缘各站点小幅波动下降,后期又升温剧烈,但21世纪以来,除额济纳旗站年平均气温变化不明显外,拐子湖、阿拉善右旗和雅布赖均呈现出波动下降的趋势。

### 2.2 季节平均气温变化

巴丹吉林沙漠南北缘四季平均气温上升趋势也很明显(表2)。各站均在冬季升温速率最高,为0.48~0.82℃/10a。对同一季节来说,北缘的升温速率高于南缘。从季节平均气温的趋势系数看,除

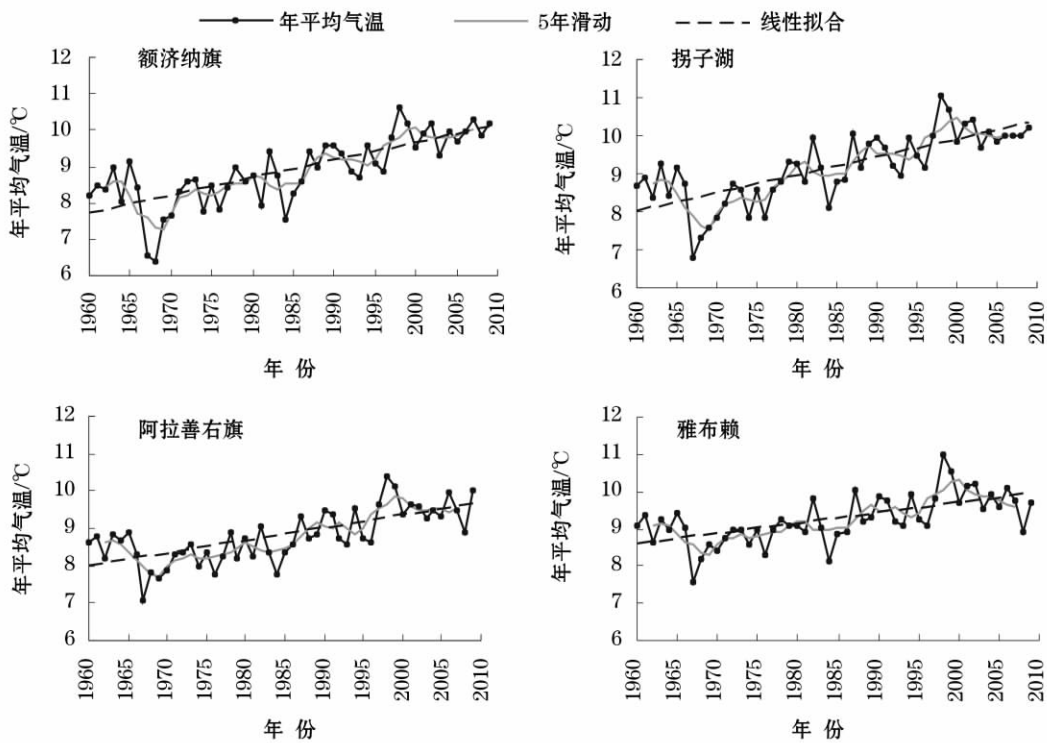


图2 1960-2009年各站点年平均气温的变化趋势

Fig. 2 Change of mean annual temperature at the meteorological stations in the northern and southern marginal zones of the Badain Juran Desert during the period 1960-2009

表2 巴丹吉林沙漠南北缘各站年、季平均气温的回归系数和趋势系数

Tab. 2 Regression coefficients and trend coefficients of mean annual and seasonal temperatures at the meteorological stations in the northern and southern marginal zones of the Badain Juran Desert

	回归系数					趋势系数				
	春季	夏季	秋季	冬季	年	春季	夏季	秋季	冬季	年
额济纳旗	0.038	0.033	0.048	0.082	0.048	<u>0.490</u>	<u>0.565</u>	<u>0.608</u>	<u>0.469</u>	<u>0.757</u>
拐子湖	0.042	0.043	0.051	0.059	0.047	<u>0.554</u>	<u>0.651</u>	<u>0.609</u>	<u>0.414</u>	<u>0.752</u>
阿拉善右旗	0.027	0.022	0.038	0.056	0.034	<u>0.414</u>	<u>0.401</u>	<u>0.578</u>	<u>0.494</u>	<u>0.703</u>
雅布赖	0.029	0.016	0.023	0.048	0.027	<u>0.453</u>	<u>0.321</u>	<u>0.388</u>	<u>0.395</u>	<u>0.617</u>

注:表中划虚线、单横线、双横线分别表示通过0.05,0.01和0.001的显著性检验

雅布赖夏季仅通过信度为 0.05 的显著性检验外,其余各站季节均温的趋势系数都通过了信度为 0.01 的显著性检验,说明巴丹吉林沙漠南北缘各季升温都很明显。其中,额济纳旗和阿拉善右旗在秋季升温趋势最大,拐子湖夏季升温趋势最大,雅布赖则在春季升温趋势最大。沙漠南北缘各站的同一季节平均气温变化特征差异不大(表 3)。春季与夏季平均气温变化趋势较为相似,4 个站点均在 20 世纪 60 年代后期到 70 年代波动下降,70 年代距平最低,80 年代春、夏季气温起伏不大,进入到 90 年代后期开始持续升高。但在进入 21 世纪以来,春季气温有下降的趋势,夏季气温却变化不明显。秋季气温在 60 年代开始持续降低,进入 70 年代后又在波动中上升,80 - 90 年代前期气温起伏不大,在 90 年代后期上升速率增大,升温明显。冬季各站点气温在 60 年代后期持续降低,在 1967 年,4 个站点同时出现了近 50 年来冬季最低气温,80 年代中后期升温明显,90 年代各站冬季气温维持在较高水平,波动不大。但值得一提的是,进入 21 世纪以来,南北缘冬季平均气温都表现出明显的下降趋势,4 个站点 21 世纪冬季年代平均气温都较 20 世纪 90 年代低,其中拐子湖和雅布赖甚至低于各自站点的冬季多年平均气温值。

表 3 巴丹吉林沙漠南北缘各站年、季节平均气温距平的年代际变化

Tab. 3 Interdecadal variation of mean annual and seasonal temperatures at the meteorological stations in the northern and southern marginal zones of the

		Badain Juran Desert /°C				
		60 年代	70 年代	80 年代	90 年代	2000 - 2009 年
额 尔 纳 旗	春季	0.2	-0.7	-0.1	0.5	1.4
	夏季	-0.1	-0.4	0	0.3	1.3
	秋季	-0.8	-0.4	-0.2	0.5	1.0
	冬季	-3.0	-0.8	-0.3	0.8	0.2
	全年	-0.9	-0.6	-0.2	0.6	1.0
阿 拉 善 右 旗	春季	0.2	-0.5	-0.3	0.5	1.0
	夏季	0.2	-0.5	-0.1	0.4	1.0
	秋季	-0.7	-0.5	-0.1	0.5	0.6
	冬季	-1.8	-0.7	-0.2	0.7	0.4
	全年	-0.5	-0.6	-0.2	0.5	0.7
拐 子 湖	春季	-0.1	-0.9	0	0.5	1.3
	夏季	-0.5	-0.7	0.1	0.4	1.2
	秋季	-0.9	-0.7	-0.1	0.7	0.9
	冬季	-2.3	-1.0	-0.1	0.7	-0.1
	全年	-0.9	-0.8	0	0.6	0.8
雅 布 赖	春季	0.1	-0.4	-0.1	0.4	1.1
	夏季	0.2	-0.4	-0.1	0.3	0.7
	秋季	-0.4	-0.4	-0.1	0.5	0.3
	冬季	-2.0	-0.7	-0.2	0.5	-0.2
	全年	-0.5	-0.5	-0.2	0.5	0.5

### 3 降水量变化

#### 3.1 年降水量变化分析

巴丹吉林沙漠北缘的额济纳旗和拐子湖年降水量多年平均分别为 35.2 mm 和 42.9 mm,沙漠南缘相对较多,阿拉善右旗和雅布赖分别为 115.4 mm 和 90.1 mm。

从表 4 可以看出,沙漠北缘的额济纳旗和拐子湖有负趋势,而南缘的阿拉善右旗和雅布赖均呈正趋势,表明在 1960 - 2009 年沙漠北缘降水在减少,南缘降水在增加,其中雅布赖增加的速率最大,为 5.16 mm/10 a。但由于所有站点年降水量的趋势系数均未通过信度为 0.05 的显著性检验,所以南北缘年降水量的变化趋势并不明显,应该是气候自然波动的表现。

巴丹吉林沙漠南北缘近 50 年来年降水量变化南北差异较大(图 3)。北缘的额济纳旗和拐子湖在 20 世纪 60 - 70 年代降水在多年均值上下波动,80 年代开始显著减少,出现年代最大负距平,90 年代前期降水迅速增加,后期又波动减少,大体为“多一少一多一少”的特点。不同于沙漠北缘,南缘的阿拉善右旗在 60 年代后期降水增加明显,70 年代前期又略有减少,80 年代以后降水变化不大;雅布赖站 70 年代中期降水在波动中增加明显,1978 年出现近 50 年来年降水量极大值(186 mm),80 年代前期又显著减少,后期缓慢增加,90 年代降水波动减少,21 世纪以来降水又有增加趋势。

#### 3.2 季节降水量变化分析

季节降水量变化趋势亦有区域差异(表 4)。近 50 年来春季降水多表现为减少趋势,仅阿拉善右旗略有增加;夏季降水在南缘均有增加,北缘则略有减少;秋季降水除拐子湖有减少趋势外,其余 3 个站点都有增加趋势;冬季降水 4 个站点均表现为增加趋势。但所有站点季节降水量的趋势系数都未通过信度为 0.05 的显著性检验,各站点的季节降水量变化趋势并不明显。

从季节降水量变化特征来看(表 5,季节降水量变化图略),各站差异较大,春季北缘降水 20 世纪 80 年代中期以前在波动中减少,80 年代出现最大负距平,80 年代后期以后降水呈波动增加。南缘 70 年代中期之前波动减少,70 年代出现最大负距平,之后又波动增加;夏季北缘在 80 年代以前降水在波动中缓慢减少,进入 80 年代后迅速减少,90 年代略

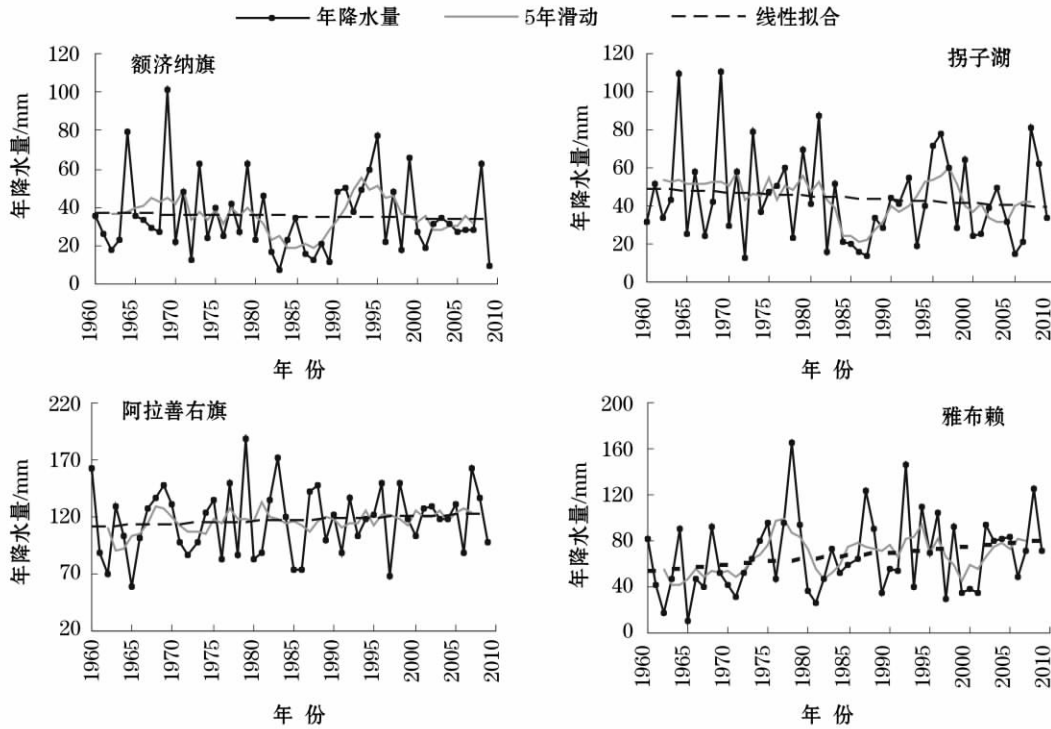


图3 1960-2009年各站降水量变化趋势

Fig. 3 Change of annual precipitation at the meteorological stations in the northern and southern marginal zones of the Badain Juran Desert during the period 1960-2009

表4 巴丹吉林沙漠南北缘各站年、季平均降水量的回归系数和趋势系数

Tab. 4 Regression coefficients and trend coefficients of mean annual and seasonal precipitation at the meteorological stations in the northern and southern marginal zones of the Badain Juran Desert

	回归系数					趋势系数				
	春季	夏季	秋季	冬季	年	春季	夏季	秋季	冬季	年
额济纳旗	-0.059	-0.145	0.129	0.003	-0.072	-0.115	-0.133	0.199	0.032	-0.053
拐子湖	-0.100	-0.110	-0.003	0.015	-0.198	-0.174	-0.081	-0.004	0.153	-0.121
阿拉善右旗	0.019	0.123	0.089	0.008	0.247	0.022	0.061	0.075	0.071	0.123
雅布赖	-0.018	0.499	0.012	0.021	0.516	-0.02	0.225	0.01	0.244	0.228

有上升,但2000年以后降水又显著减少;南缘在90年代中期之前呈波动增加,90年代中期迅速减少,2000年以后降水又波动增加。秋季降水在南北缘差异不大,各站均在70年代中期以前在波动中略有增加,70年代后期迅速减少,80年代中期以后降水在波动中缓慢增加。

#### 4 湿润度变化

一个地区的干湿状况不仅与气温和降水有关,还与蒸发量、下垫面因素等有关,所以不能单从气温和降水的变化趋势来判断区域干湿状况。如近50年来东北地区西北部降水呈增加趋势,但由于气温升高导致的蒸发量增大,使其呈明显的干旱化趋

势<sup>(28)</sup>。所以,干湿程度的划分需综合考虑水热平衡。本文选用伊万诺夫湿润度指数来分析巴丹吉林沙漠南北缘的干湿状况。

按公式(2)分别计算巴丹吉林沙漠南北缘4个站点1960-2009年逐年湿润度。由于沙漠周边地区地表植被覆盖稀疏,空气干燥,蒸发量大,故其湿润度指数较小,北缘的额济纳旗和拐子湖多年平均湿润度仅为0.0149和0.0162,南缘的阿拉善右旗和雅布赖分别为0.0528和0.0386,均属极干旱等级,且沙漠北缘较南缘干旱程度更大。从图4可见,北缘的额济纳旗和拐子湖逐年湿润度呈负趋势,而南缘的阿拉善右旗和雅布赖呈正趋势,表明近50年来沙漠北缘的额济纳旗和拐子湖湿润度在降低,南缘的阿拉善右旗和雅布赖在升高,但南北缘的年均

表 5 巴丹吉林沙漠南北缘各站年、季节  
降水量距平的年代际变化

Tab. 5 Interdecadal variation of the anomalies of mean annual and seasonal precipitation at the meteorological stations in the northern and southern marginal zones of the Badain Juran Desert /mm

	60 年代	70 年代	80 年代	90 年代	2000 - 2009 年	
额济纳旗	春季	4.1	-0.4	-2.3	3.1	0
	夏季	4.2	0.9	-8.2	6.6	-7.7
	秋季	-3.4	1.0	-3.7	2.8	1.5
	冬季	0.6	-0.1	0	0.1	0.8
	全年	5.6	1.4	-14.3	12.4	-5.4
阿拉善右旗	春季	4.6	-5.3	4.2	1.7	0.6
	夏季	-10.6	1.9	-3.3	2.0	-7.7
	秋季	3.6	6.2	-3.2	-1.2	12.8
	冬季	-0.3	-0.3	0.4	-0.2	-1.9
	全年	-2.9	2.4	-1.8	2.3	5.9
拐子湖	春季	6.5	0.7	-0.6	1.0	2.2
	夏季	0.5	0.7	-7.0	6.5	-10.6
	秋季	2.4	2.4	-2.5	-0.5	2.5
	冬季	0.6	-0.2	-0.1	0.3	1.1
	全年	9.9	3.6	-10.2	7.1	-4.6
雅布赖	春季	4.2	-4.7	1.9	2.8	-1.0
	夏季	-22.4	5.1	-8.1	3	-2.1
	秋季	0.4	6.2	-3.5	-2.2	5.3
	冬季	-0.4	-0.1	0.2	-0.1	0.6
	全年	-18.3	6.5	-9.5	3.4	2.0

湿润度变化亦不显著(趋势系数均未通过信度为 0.05 的显著性检验)。

## 5 讨论

巴丹吉林沙漠位于我国西风区与季风区的过渡地带,周边为典型的荒漠地貌,下垫面植被覆盖稀疏,其南部有平均海拔超过 2 000 m 的龙首山,东南有平均海拔超过 1 000 m 的雅布赖山,北部毗邻黑河的尾间湖泊东、西居延海。20 世纪中后期,东、西居延海曾干涸数次,近年来通过人工调水方使其重新蓄水,沙漠西北缘的额济纳绿洲和南缘的阿拉善地区近几十年来土地荒漠化形势十分严峻<sup>(29-30)</sup>,生态不断恶化,可能是受近几十年来气候变化和人类活动共同影响所致。

近 50 年来,巴丹吉林沙漠南北缘升温显著,1960 - 2009 年平均气温升温速率最大的额济纳旗站达 0.48 °C / 10 a,最小的雅布赖站达 0.27 °C / 10 a,均高于同期全国和西北地区东部。4 个站点年平均气温趋势系数均大于 0.6,升温趋势显著,这可能是由于气象站点多处于沙漠边缘地区,植被覆盖度低,分布较多裸露地表,易形成风蚀作用,减少了地表径流,致使更多的能量用于地表升温。在人类

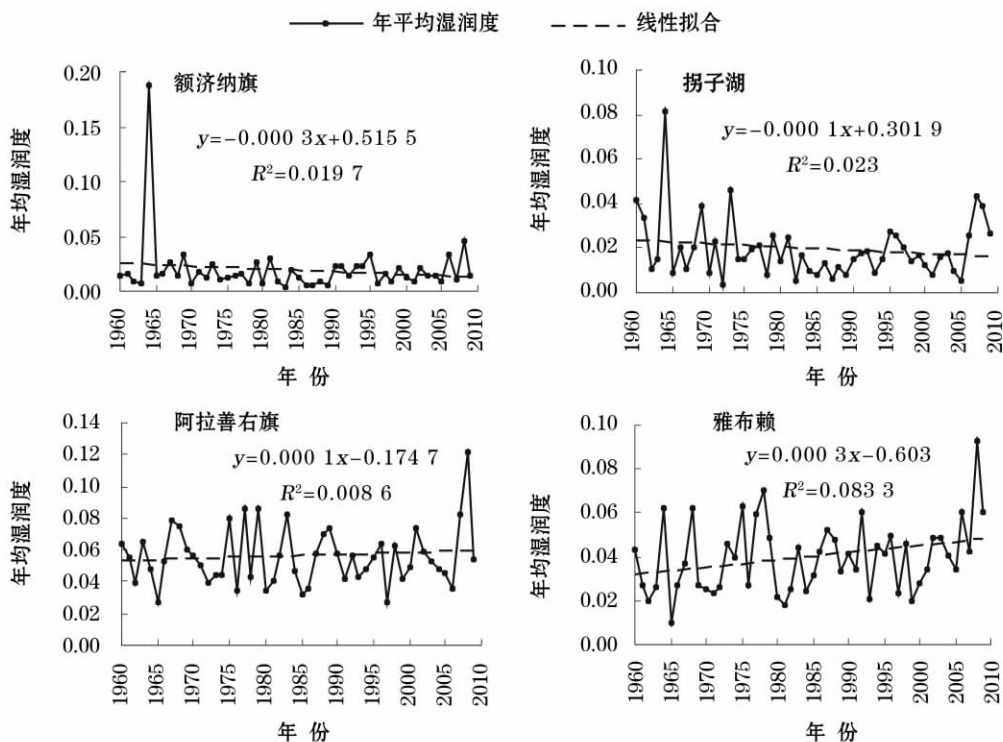


图 4 1960 - 2009 年各站点年平均湿润度变化趋势

Fig. 4 Change of mean annual humidity at the meteorological stations in the northern and southern marginal zones of the Badain Juran Desert during the period 1960 - 2009

活动相对较少的沙漠地区,气候变化的区域差异可能与纬度和地形因子有关<sup>(31-32)</sup>,有研究表明,较低纬度的升温趋势小于较高纬度<sup>(33-34)</sup>,较低海拔升温趋势小于较高海拔<sup>(35-36)</sup>。巴丹吉林沙漠年平均气温升温趋势南缘小于北缘(南缘海拔高于北缘),可能是由于纬度因子影响更大的结果。值得注意的是进入21世纪后,各站的年均气温虽然仍维持在较高水平,但除额济纳旗外,其他3个站点的年平均气温在波动中呈下降趋势,其原因尚需进一步探讨。

降水受大气环流、下垫面因素和气候变化等因素的影响<sup>(37)</sup>。由于不同区域地理环境的差异以及对全球变化响应的差异,所以不同区域近几十年来降水变化较大<sup>(38-40)</sup>。沙漠周边地区地表植被覆盖率低,空气干燥,蒸发量大,降水量稀少,各站年、季降水量在近50年来变化不明显。巴丹吉林沙漠北缘的额济纳旗和拐子湖以及南缘的雅布赖年降水量在20世纪80年代呈减少趋势,90年代略微增加,进入21世纪后又开始减少。这与文献(40)的研究结果一致,与西北地区东部近几十年降水变化研究结果<sup>(41)</sup>不同,巴丹吉林沙漠南缘的阿拉善右旗和雅布赖在近50年来降水有增加的趋势,但并不显著,可能是气候自然波动的结果。

## 6 结论

(1) 1960-2009年,巴丹吉林沙漠南北缘年平均气温显著升高,各站升温速率达 $0.27 \sim 0.48 \text{ } ^\circ\text{C} / 10 \text{ a}$ ,其中北缘年平均气温的升温速率和升温趋势均大于南缘。沙漠南北缘在20世纪60-80年代偏冷,90年代以后偏暖。南北缘各站各季节平均气温也显著升高,各站均表现为冬季升温速率最大,但各站各季平均气温升温趋势有所差异,额济纳旗和阿拉善右旗在秋季升温趋势最大,拐子湖夏季升温趋势最大,雅布赖则在春季升温趋势最大。

(2) 巴丹吉林沙漠南北缘各站年降水量波动性很大。近50年来,南缘的阿拉善右旗和雅布赖略有增加,北缘的额济纳旗和拐子湖略有减少,但这种变化趋势并不显著。南北缘各站季节降水量的变化趋势亦不明显,且不同站点变化特征略有差异。

(3) 巴丹吉林沙漠南北缘年均湿润度很低,属极干旱等级。近50年来,北缘的额济纳旗和拐子湖湿润度略微降低,南缘的阿拉善右旗和雅布赖略微升高,但湿润度变化趋势并不显著。

致谢:审稿人对本文提出了宝贵的修改意见。李育博士在写作过程中给予了有益建议,在此一并表示感谢。

## 参考文献(References):

- (1) Houghton J T, Ding Yihui. Climate Change 2000: The Scientific Basis (M). Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2001.
- (2) 葛全胜,陈泮勤,方修琦,等. 全球变化的区域响应研究: 挑战与研究对策 (J). 地球科学进展, 2004, 19(4): 561-524. (Ge Quansheng, Chen Panqin, Fang Xiuqi, et al. Adaptation to global change: Challenge and research strategy (J). Advance in Earth Sciences, 2004, 19(4): 561-524.)
- (3) Vorosmatry C J, Green P, Salisbury J, et al. Global water resources: Vulnerability from climate change arid population growth (J). Science, 2000, 289: 284-288.
- (4) IPCC. Summary for Policy Makers of the Synthesis Report of the IPCC Fourth Assessment Report (M). Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2007.
- (5) 贾文雄,何元庆,李宗省,等. 祁连山区气候变化的区域差异特征及突变分析 (J). 地理学报, 2008, 63(3): 257-269. (Jia Wenxiong, He Yuanqing, Li Zongxing, et al. The regional difference and catastrophe of climatic change in Qilian Mt. region (J). Acta Geographica Sinica, 2008, 63(3): 257-269.)
- (6) 赵桂香,赵彩萍,李新生,等. 近47 a来山西省气候变化分析 (J). 干旱区研究, 2006, 23(3): 500-505. (Zhao Guixiang, Zhao Caiping, Li Xincheng, et al. Analysis on climate change in Shanxi province in recent 47 years (J). Arid Zone Research, 2006, 23(3): 500-505.)
- (7) 刘普幸. 近54年来民勤绿洲气候变化趋势与周期特征 (J). 干旱区研究, 2009, 26(4): 471-476. (Liu Puxing. Study on the trend and period characteristics of climate change in the Minqin oasis since recent 54 years (J). Arid Zone Research, 2009, 26(4): 471-476.)
- (8) 尚可政,董光荣,王式功,等. 我国北方沙区气候变化对全球变暖的响应 (J). 中国沙漠, 2001, 21(4): 387-392. (Shang Kezheng, Dong Guangrong, Wang Shigong, et al. Response of climatic change in north China deserted region to the warming of the earth (J). Journal of Desert Research, 2001, 21(4): 387-392.)
- (9) 普宗朝,张山清,李景林,等. 近47 a塔克拉玛干沙漠周边地区气候变化 (J). 中国沙漠, 2010, 30(2): 413-421. (Pu Zongchao, Zhang Shanqing, Li Jinglin, et al. Climate change of area around Taklimakan desert during 1961-2007 (J). Journal of Desert Research, 2010, 30(2): 413-421.)
- (10) 万的军,穆桂金,雷加强,等. 塔里木盆地南缘近54年沙尘天气的变化特征及其未来趋势预测 (J). 干旱区资源与环境, 2009, 23(9): 78-84. (Wan Dejun, Mu Guijin, Lei Jiaqiang, et al. The changing characteristics of sand-dust weather in recent 54 years and future trend forecast in the southern margin of Tarim Basin (J). Journal of Arid Land Resources and Environment, 2009, 23(9): 78-84.)
- (11) 魏文寿,刘明哲. 古尔班通古特沙漠现代沙漠环境与气候变化 (J). 中国沙漠, 2000, 20(2): 178-184. (Wei Wenshou, Liu Mingzhe. Modern desert environment and climate change—A case study in Gurbantonggut Desert (J). Journal of Desert Research,

- 2000, 20(2): 178 - 184. )
- (12) 孙安健, 刘德松. 浑善达克沙区近期气候变化的研究 (J). 南京气象学院学报, 1992, 15(3): 414 - 420. (Sun Anjian, Liu Desong. Research of the recent climatic changes in the Hunshandake sand region of China (J). Journal of Nanjing Institute of Meteorology, 1992, 15(3): 414 - 420. )
- (13) 刘树林, 王涛. 浑善达克沙地地区的气候变化特征 (J). 中国沙漠, 2005, 25(4): 557 - 562. (Liu Shulin, Wang Tao. Characteristic of climatic change in the Otindag sandy land region (J). Journal of Desert Research, 2005, 25(4): 557 - 562. )
- (14) Wei Wenshou. Responce and feedback of modern sand deserts to climate change: A case study in Gurbantunggut Desert (J). Chinese Science Bulletin, 2000, 45(12): 1137 - 1142. )
- (15) 孙克锋, 陈发虎, 李孝泽. 巴丹吉林沙漠第四纪研究评述与讨论 (J). 干旱区研究, 2008, 25(2): 304 - 310. (Sun Qingfeng, Chen Fahu, Li Xiaozhe. Review and discussion about the progress of quaternary research of the Badain Jaran Desert, China (J). Arid Zone Research, 2008, 25(2): 304 - 310. )
- (16) 傅华, 陈亚明, 周志宇, 等. 阿拉善荒漠草地恢复初期植被与土壤环境的变化 (J). 中国沙漠, 2003, 23(6): 661 - 664. (Fu Hua, Chen Yaming, Zhou Zhiyu, et al. Changes of vegetation and soil environment of desert grassland in the early period of restoration in Alxa, Inner Mongolia (J). Journal of Desert Research, 2003, 23(6): 661 - 664. )
- (17) 葛晓光, 薛博, 万力, 等. 黑河下游径流量与额济纳绿洲 NDVI 的滞后模型 (J). 地理科学, 2009, 29(6): 900 - 904. (Ge Xiaoguang, Xue Bo, Wan Li, et al. Modelling of lagging response of NDVI in Erjina oasis to runoff in the lower reaches of Heihe river (J). Scientia Geographica Sinica, 2009, 29(6): 900 - 904. )
- (18) 朱金峰, 王乃昂, 陈红宝, 等. 基于遥感的巴丹吉林沙漠范围与面积分析 (J). 地理科学进展, 2010, 29(9): 1087 - 1094. (Zhu Jinfeng, Wang Nai'ang, Chen Hongbao, et al. Study on the boundary and the area of Badain Jaran desert based on remote sensing imagery (J). Progress on Geography, 2010, 29(9): 1087 - 1094. )
- (19) 马开玉, 丁裕国, 屠其璞, 等. 气候统计原理与方法 (M). 北京: 气象出版社, 1993: 462 - 464. (Ma Kaiyu, Ding Yuguo, Tu Qipu, et al. Climate Statistics Principles and Methods (M). Beijing: China Meteorological Press, 1993: 462 - 464. )
- (20) 高振荣, 田庆明, 刘晓云, 等. 近 58 年河西走廊地区气温变化及突变分析 (J). 干旱区研究, 2010, 27(2): 194 - 203. (Gao Zhenrong, Tian Qingming, Liu Xiaoyun, et al. Characteristics and abrupt change of temperature in the Hexi corridor in recent 58 years (J). Arid Zone Research, 2010, 27(2): 194 - 203. )
- (21) 施能, 马丽, 袁晓玉, 等. 近 50 a 浙江省气候变化特征分析 (J). 南京气象学院学报, 2001, 24(2): 207 - 213. (Shi Neng, Ma Li, Yuan Xiaoyu, et al. Climate variation features over Zhejiang province in the last 50 years (J). Journal of Nanjing Institute of Meteorology, 2001, 24(2): 207 - 213. )
- (22) 邓世宗, 韦炳斌. 广西森林气候资源分析与利用 (M). 北京: 气象出版社, 1993: 8 - 112. (Deng Shizong, Wei Bing. Analysis of Forest Climatic Resources and Their Utilization in Guangxi Province (M). Beijing: China Meteorological Press, 1993: 8 - 112. )
- (23) 李春梅, 高素华. 我国北方半干旱区草地水分供需状况研究 (J). 干旱区研究, 2004, 21(4): 338 - 342. (Li Chunmei, Gao Suhua. Study on the moisture budget of the grasslands in the semi-arid regions in the north China (J). Arid Zone research, 2004, 21(4): 338 - 342. )
- (24) 李俊有, 王志春, 胡桂杰, 等. 赤峰市草地资源区划与评价 (J). 内蒙古气象, 2007(2): 30 - 31. (Li Junyou, Wang Zhichun, Hu Guijie, et al. Lawn resources regionalization and appraisal of Chifeng (J). Meteorology Journal of Inner Mongolia, 2007(2): 30 - 31. )
- (25) 杨贵贵. 陕北农牧交错带土地荒漠化动态监测与生产力评价研究 (D). 杨凌: 西北农林科技大学博士论文, 2006. (Yang Yungui. Study on dynamic monitoring of desertification and land production evaluation on the interland area of agriculture and pasture in Northern Shanxi (D). Yangling: Dissertation for Doctor Degree of Northwest A & F University, 2006. )
- (26) 丁一汇, 任国玉, 石广玉, 等. 气候变化国家评估报告 (I) 中国气候变化的历史和未来趋势 (J). 气候变化研究进展, 2006, 2(1): 3 - 8. (Ding Yihui, Ren Guoyu, Shi Guangyu, et al. National assessment report of climate change (I) Climate change in China and its future (J). Advances on Climate Change Research, 2006, 2(1): 3 - 8. )
- (27) 郭志梅, 缪启龙, 李雄. 中国北方地区近 50 年来气温变化特征的研究 (J). 地理科学, 2005, 25(4): 448 - 454. (Guo Zhimei, Miao Qilong, Lixiong. Variation characteristics of temperature over northern China in recent 50 years (J). Scientia Geographica Sinica, 2005, 25(4): 448 - 454. )
- (28) 马柱国, 黄刚, 甘文强, 等. 近代中国北方干湿变化趋势的多时段特征 (J). 大气科学, 2005, 29(5): 671 - 681. (Ma Zhuguo, Huang Gang, Gan Wenqiang, et al. Multi-scale temporal characteristics of the dryness/wetness over northern China during the last century (J). Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 2005, 29(5): 671 - 681. )
- (29) 姚正毅, 王涛, 朱开文. 内蒙古阿拉善盟 2000 年土地沙漠化遥感监测 (J). 干旱区资源与环境, 2008, 22(5): 47 - 51. (Yao Zhengyi, Wang Tao, Zhu Kaiwen. Remote sensing monitoring of land desertification in 2000 in Alashan league, Inner Mongolia (J). Journal of Arid Land Resources and Environment, 2008, 22(5): 47 - 51. )
- (30) 王心源, 郭华东, 王长林, 等. 额济纳旗绿洲生态环境的遥感动态监测分析 (J). 水土保持通报, 2001, 21(1): 60 - 62. (Wang Xinyuan, Guo Huadong, Wang Changlin, et al. Dynamic monitoring of ecological environment of Ejina banner oasis by remote sensing (J). Bulletin of Soil and Water Conservation, 2001, 21(1): 60 - 62. )
- (31) Lu Aigang, He Yuanqing, Zhang Zhonglin, et al. Regional structure of global warming across China during twentieth century (J). Climate Research, 2004, 27: 189 - 195.
- (32) 陈仁升, 康尔泗, 杨建平, 等. 甘肃河西地区近 50 年气象和水文序列的变化趋势 (J). 兰州大学学报: 自然科学版, 2002, 38(2): 163 - 170. (Chen Rensheng, Kang Ersi, Yang Jianping, et al. Variance tendency in the 50-year annual meteorological and hydrological series of Hexi region of Gansu province (J). Journal of Lanzhou University: Natural Science Edition, 2002, 38(2): 163 - 170. )
- (33) 卢爱刚, 庞德谦, 何元庆, 等. 全球升温对中国区域温度纬向梯度的影响 (J). 地理科学, 2006, 26(3): 345 - 350. (Lu Aigang, Pang Deqian, He Yuanqing, et al. Impact of global warming on latitudinal temperature gradients in China (J). Scientia Geographica



- Sinica, 2006, 26 (3): 345 – 350. )
- (34) Senior C A. The dependence of climate sensitivity on the horizontal resolution of a GCM (J). *Climate*, 1995, 8(11): 2 860 – 2 880.
- (35) 杜军, 翁海卿, 袁雷, 等. 近 40 年西藏怒江河谷盆地的气候特征及变化趋势 (J). *地理学报*, 2009, 64(5): 581 – 591. (Du Jun, Weng Haiqing, Yuan Lei, et al. The climate characteristics and changing trends over the Nujiang River basin in Tibet from 1971 to 2008 (J). *Acta Geographica Sinica*, 2009, 64(5): 581 – 591. )
- (36) Giorgi F, Hurrell J W, Marinucci M R, et al. Elevation dependency of the surface climate change signal: A model study (J). *Journal of Climate*, 1997, 10: 288 – 296.
- (37) 李海燕, 王可丽, 江灏, 等. 黑河流域降水的研究进展与展望 (J). *冰川冻土*, 2009, 31(2): 334 – 341. (Li Haiyan, Wang Keli, Jiang Hao, et al. Study of the precipitation in the Heihe river basin: Progress and prospect (J). *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2009, 31(2): 334 – 341. )
- (38) 任国玉, 郭军, 徐铭志, 等. 近 50 年中国地面气候变化基本特征 (J). *气象学报*, 2005, 63(6): 942 – 956. (Ren Guoyu, Guo Jun, Xu Mingzhi, et al. Climate changes of China's mainland over the past half century (J). *Acta Meteorologica Sinica*, 2005, 63(6): 942 – 956. )
- (39) 李占玲, 徐宗学. 甘肃省 40 年来气温和降水时空变化 (J). *应用气象学报*, 2009, 20(1): 102 – 107. (Li Zhanling, Xu Zongxue. Spatial and temporal analysis on annual temperature and precipitation during last 40 years in Gansu Province (J). *Journal of Applied Meteorological Science*, 2009, 20(1): 102 – 107. )
- (40) 宋连春, 张存杰. 20 世纪西北地区降水量变化特征 (J). *冰川冻土*, 2003, 25(2): 143 – 148. (Song Lianchun, Zhang Cunjie. Changing features of precipitation over Northwest China during the 20th century (J). *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2003, 25(2): 143 – 148. )
- (41) 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. (Jin Liya, Fu Jiaolan, Chen Fahu. Spatial differences of precipitation over Northwest China during the last 44 years and its response to global warming (J). *Scientia Geographica Sinica*, 2005, 25(5): 567 – 572. )

## Analysis on Climate Change in the Northern and Southern Marginal Zones of the Badain Juran Desert during the Period 1960 – 2009

MA Ning<sup>1</sup>, WANG Nai-ang<sup>1</sup>, LI Zhuo-lun<sup>1</sup>, CHEN Xiu-han<sup>2</sup>, ZHU Jin-feng<sup>1</sup>, DONG Chun-yu<sup>1</sup>

(1. *College of Resources and Environmental Sciences, Center for Hydrologic Cycle and Water Resources in Arid Region,*

*Lanzhou University, Lanzhou 730000, China;*

*2. Alxa Meteorological Bureau of Inner Mongolia Autonomous Region, Bayanhot 750306, China)*

**Abstract:** In this paper, the basic characteristics of climate change in the northern and southern marginal zones of the Badain Juran Desert are analyzed using the linear regression, trend factor analysis and 5-year moving average based on the observed data of monthly mean air temperature, precipitation and relative humidity, recorded by 4 meteorological stations including Erjina Banner and Guaizihu in the northern marginal zone of the desert and Alxa Right Banner and Yabra in the southern marginal zone during the period 1960 – 2009. The results show that there was a significant temperature increase in the southern and northern marginal zones of Badain Juran Desert in recent 50 years. The increase rate of mean annual temperature varied in a range of 0.28 – 0.48 °C /10 a, and it was higher than the national average and the average in the eastern part of northwest China, in which it was higher in the northern marginal zone than in the southern marginal zone. The mean seasonal temperature increase was also significantly, especially in winter. Annual precipitation fluctuated significantly, and it was reduced to some extent in the northern marginal zone but increased slightly in the southern marginal zone. The change of seasonal precipitation at all the stations was not so remarkable. The humidity in the northern and southern marginal zones was very low, and it was extremely arid. The annual humidity in the northern marginal zone was decreased slightly but increased slightly in the southern marginal zone. However, the change trend of humidity was not so significant.

**Key words:** climate change; temperature; precipitation; humidity; change trend; Badain Juran Desert