

## 毛乌素沙区近期气候振动的研究\*

孙安健 曲建和 刘德松

(国家气象局国家气象中心)

### 提 要

本文利用毛乌素沙区近40年的气象资料,论述了促使毛乌素地区沙漠化的气候条件。分析该沙区边缘地带与沙化有关的降水量、蒸发等因子的气候变化趋势及其振动所具有的准周期性,建立它们与各环流因子之间的多元线性回归模型。发现年降水量和年干燥度的3年和8—9年周期在该沙区普遍存在,且准3年周期与北半球冷空气活动、西太平洋副高及赤道东太平洋海温的周期振动有关。利用鄂托克1955—1989年的年干燥度序列可以建立AR(2)模型,并依此预测该地1990和1991年的气候可能较常年干燥,1992年气候可能转变为较常年偏湿。

### 一、引 言

全球大陆干旱、半干旱气候区的面积约占大陆总面积的三分之一。我国干旱半干旱地区占全国总面积的47%。由于长期的过度放牧、开垦,在我国北部及西部干旱半干旱气候地区,土地沙漠化的发展已经涉及到33.4万平方公里。近25年来我国沙漠化土地面积增加了3.9万平方公里,正以每年1560平方公里的速度扩大。近1.5亿亩农田和草场不同程度地受到沙漠化的威胁<sup>[1]</sup>。因此,沙漠化问题在我国已成为一个全局性的问题,日益引起人们的关注。

毛乌素沙区(37°27.5'N—39°22.5'N, 107°21'E—111°30'E)位于我国各大沙区的东南端,是我国十二大沙区之一。属半干旱气候区,是我国气候变化与人类活动影响较为敏感的地区之一,本文试图根据该沙区建国以来的气象资料,探讨与沙漠化过程有关因子的气候振动,并展望未来几年气候的可能变化趋势。

### 二、沙区的气候特征

1. 辐射特征 毛乌素沙区气候干旱,空气干燥,多晴朗少云的天气,光照充足,年日照时数由南部的2700小时向北增加到3100小时。太阳辐射强烈,年总辐射量高达5.86—6.28兆焦耳/米<sup>2</sup>,与西边的腾格里沙漠相当。但是,腾格里沙漠植被稀少,反射率大,长波辐射强,所以其辐射净收入反而较毛乌素沙区低<sup>[2]</sup>。这说明净辐射加热最高值没有出现在腾格里沙漠区内部,而是在该沙漠的边缘地带—毛乌素地区。这意味着毛乌素地区的沙漠

· 本文1990年6月30日收到,8月21日收到修改稿。

\* 此项目由国家气象局气候基金资助。

化过程与其最多的气候能量有着密切的关系<sup>[1]</sup>。

2. 热量特征 毛乌素沙区冬长且严寒,夏短而温热,温度的季节变化非常明显,年较差达 30℃多;昼夜温差悬殊,气温日较差全年平均有 14℃之多,是十分明显的大陆性气候。温度的这种剧烈变化,无疑会加速土壤的风化过程(表 1)。

3. 水分特征 毛乌素沙区的年降水量自东南的 450 毫米递减到西北缘的 100 多毫米。降水量的季节分配很不均匀,冬春雨雪稀少,盛夏和初秋(7—9 月)雨量最多,约占年降水量的 60—70%。雨季多阵性降水且强度大。这种性质的降水,使得土壤的冲刷相当厉害。结果,在一年之中的干季出现风蚀,雨季造成水蚀。

毛乌素沙区降水量的年际变化大,年降水量相对变率为 20—30%。多雨的 7—9 月各月降水变率也达 40—50%。在连续数年多雨的期间,人们往往会增加垦殖或过度放牧,这就破坏了多年生的植被,降低了土壤的渗漏率。雨季期间的地表径流增加,雨蚀变得严重;进入干季,微细的土壤物质被风侵蚀的可能性又有明显的增加。至于在那连续数年干旱的时期,表土更是大量被风刮走,减少了土壤贮水能力,加速了沙漠化的过程。

4. 风沙特征 毛乌素沙区风大,气候干旱,地面又多为沙黄土覆盖,所以风沙(沙尘暴和扬沙)天气多见,全年有 50—100 天之多。尤其是春季,空气干燥,升温迅速,蒸发旺盛,多大风,且土壤裸露,风沙天气特别多,是沙区风蚀沙化最严重的季节。

表 1 毛乌素沙区五个站的气象资料\*

	平均气温(℃)					气温日较差(℃)				
	1月	4月	7月	10月	年	1月	4月	7月	10月	年
东 胜	-11.5	7.1	20.6	6.6	5.6	10.6	12.8	11.2	11.2	11.4
鄂托克	-11.1	8.5	22.1	7.0	6.5	14.4	14.9	13.2	14.2	14.1
乌审旗	-10.2	8.8	21.9	7.6	6.8	14.4	14.9	13.1	13.8	13.9
榆 林	-8.9	10.7	23.3	9.2	8.5	14.3	14.7	12.6	13.3	13.5
盐 池	-8.6	10.0	22.4	8.2	7.8	14.2	14.8	13.3	14.1	14.1
	降水量(mm)					降水量相对变率(%)				
东 胜	2.1	15.8	93.8	23.2	390.0	102	69	45	54	26
鄂托克	1.7	10.7	59.3	14.4	266.8	109	85	41	64	32
乌审旗	1.5	15.6	82.6	20.8	349.5	114	78	43	51	30
榆 林	2.2	21.8	94.8	26.1	410.9	63	34	31	94	16
盐 池	1.4	15.5	53.4	20.1	288.8	87	65	41	43	26
	风沙(沙尘暴和扬沙)日数									
东 胜	5.1	11.8	2.5	2.5	66.3					
鄂托克	2.9	10.2	2.7	1.4	48.3					
乌审旗	4.6	12.3	4.2	2.2	66.1					
榆 林	3.9	11.8	4.0	2.9	66.7					
盐 池	9.0	16.9	3.9	2.4	94.3					

\* 资料年代:东胜 1959—1988 年,鄂托克 1955—1988 年,乌审旗 1959—1988 年,榆林 1951—1988 年,盐池 1954—1988 年。

### 三、与沙漠化有关因子的气候振动

图 1 给出了沙漠化过程的示意图。鉴于毛乌素沙区地域间的气候差异较大,分别选取鄂托克(西北缘)、东胜(东北缘)、盐池(西南缘)和榆林(东南缘)建站以来的气象资料,分析降水、蒸发等因子的近期气候振动特征。

#### 1. 降水因子

毛乌素沙区属半干旱气候,年降水量并非很好地服从正态分布。根据文献[3],可以将降水量序列转变为以  $z$  为新变量的标准化正态分布,并根据  $z$  变量的正态分布曲线,划分为 7 个旱涝等级(表 2)。

图 2 给出了鄂托克、东胜、盐池和榆林四个站的年降水量旱涝等级的演变曲线。由图可见,沙区北缘的鄂托克和东胜的年际变化趋势一致。在 50 年代后期至 60 年代期间的年降水量除 1962 年和 1965 年出现极端干旱外,均为正常或偏涝;70 年代和 80 年代前期,气候变湿;1986—1988 年则是连续三年的极端干旱年份。沙区南缘的盐池和榆林,年降水量的气候振动较为相似。50 年代后期至 60 年代气候变湿,多涝年,榆林在 1965 年,盐池在 1965 年和 1966 年出现极端干旱;70 年代的降水接近常年;80 年代前期气候较干,后期接近常年。

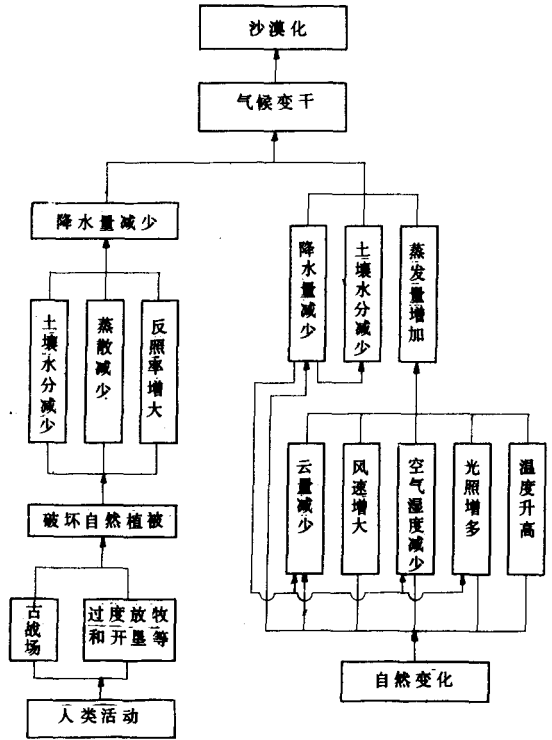


图 1 沙漠化过程示意图

表 2 旱涝等级及其对应的  $z$  指标值

等级	$z$ 指标值	旱涝类型	累积频率
1	$z > 1.645$	极端雨涝	$> 95\%$
2	$1.037 < z \leq 1.645$	大涝	85—95%
3	$0.842 < z \leq 1.037$	偏涝	70—85%
4	$-0.842 \leq z \leq 0.842$	正常	30—70%
5	$-1.037 \leq z < -0.842$	偏旱	15—30%
6	$-1.645 \leq z < -1.037$	大旱	5—15%
7	$z < -1.645$	极端干旱	$< 5\%$

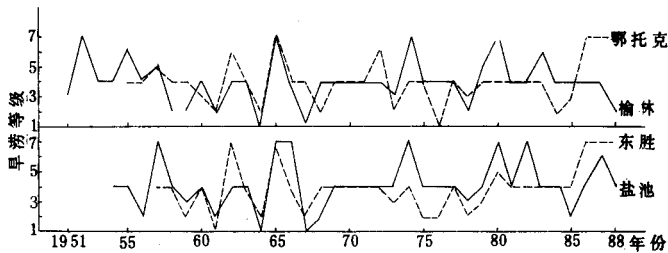


图 2 四站年降水量旱涝级别演变曲线

### 2. 蒸发因子

蒸发量的多少,主要取决于各地的热量收支和水分供应情况。同时还受到空气和土壤湿度、风速、云量等因子的影响。

1. 年干燥度 一个地方的湿润状况不仅取决于水分的收入,而且还与水分的支出有关。因此,降水量的多少还不足以全面地表示一地的湿润状况。我们根据张宝堃等<sup>[4]</sup>提出的修正的 Г. Т. 谢良尼诺夫公式,点绘出鄂托克、东胜、盐池和榆林站干燥度(k)的年际变化曲线(图 3)。显然,年干燥度 k 值的年际波动幅度,西缘的鄂托克和盐池最大,东缘的榆林和东胜最小。但波动的趋势彼此十分一致。1965 年整个沙区是大旱年,四站的 k 值都相当大。与年干燥度的多年平均值相比较,鄂托克和盐池表现为连续数年 k 的高值和低值交替演变的特征。东胜 k 值却有为期 10 年左右的振动。榆林 k 值则有随时间由小变大的演变趋势,70 年代 k 值接近平均值,到 80 年代后期 k 值才又转为减小。

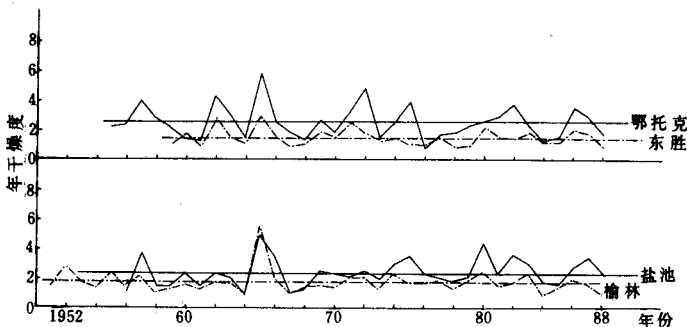


图 3 四站年干燥度演变曲线

(图中与横坐标平行的四条直线、虚线分别为四站的要素多年平均值,下同)

2. 湿度 四站年平均相对湿度的年际变化趋势十分一致。50年代后期偏低,60年代偏高,80年代偏低,70年代东胜稍偏低,鄂托克、榆林及盐池略偏高(图4)。

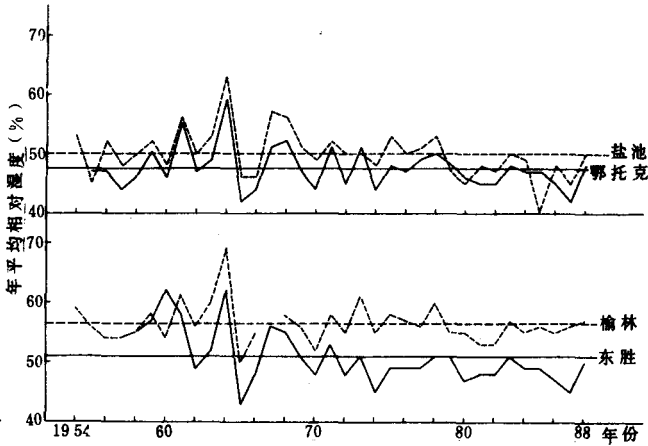


图4 四站年相对湿度演变曲线

3. 云况 四站年平均总云量的演变特征是:50年代后期至60年代初期偏少,60年代中期至70年代接近常年或偏多,80年代偏少(图5)。年平均低云量的变化趋势与总云量非常一致,只是波动幅度稍大一些(图略)。

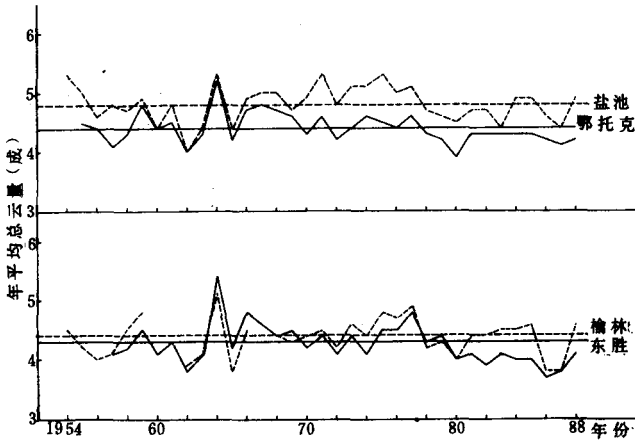


图5 四站年平均总云量演变曲线

4. 风和风沙 盐池和东胜的年平均风速演变趋势相似,50年代后期至70年代中期风速偏大,70年代后期和80年代偏小。鄂托克和榆林的风速年际波动一致,50年代后期偏大,60年代偏小,70年代偏大,80年代偏小(图6)。

风沙系指沙尘暴和扬沙。各站年风沙日数的演变趋势基本一致,50年代和60年代偏少,70年代风沙增多,到80年代又渐趋减少(图7)。

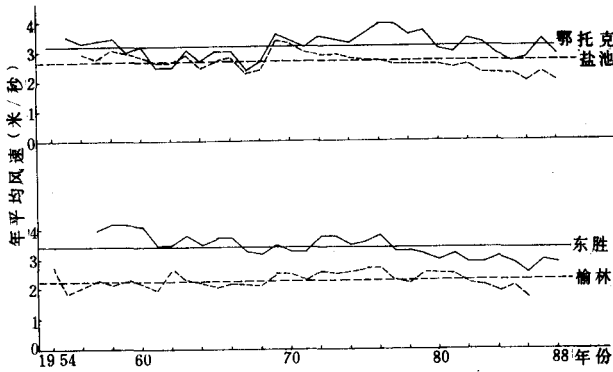


图6 四站年平均风速演变曲线

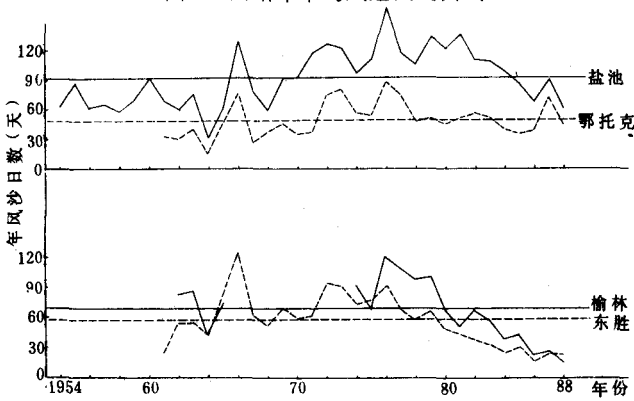


图7 四站年风沙日数演变曲线

### 四、年降水量和年干燥度的统计分析

#### 1. 周期分析

在气象要素的周期分析中,常使用一些统计分布函数(如  $\chi^2$  分布,  $F$  分布)的检验。但这些检验的前提条件是变量须服从正态分布,为此对年降水量与年干燥度序列按文献[3]作了正态化处理。

根据文献[5]方法获得该沙区四站年降水量与年干燥度信度为 0.05 的显著周期,如表 3 所示。由表可知,准 3 年周期和 8—9 年周期的气候振荡在沙区是普遍存在的。这和沙区流传的“三年一小旱,十年一大旱”的说法是大致吻合的。

表 3 四站年降水量和年干燥度信度为 0.05 的显著周期(年)

站名	东 胜	鄂托克	榆 林	盐 池
年降水量	3	8,9	3,8,9	3,4,8,
年干燥度	3,8,9	3,8,9	3	3,4,5,

### 2. 多元线性回归方程的建立

毛乌素沙区的年降水量主要集中在夏秋季节,影响年降水量多寡的环流因素主要是夏秋季节的西风带、副热带高压系统,对热带海洋的热力状况也可能有遥相关的响应。据此,我们选择了如下 11 个待选的因子:夏季和秋季亚洲范围的纬向环流指数  $x_1$  和  $x_2$ ;夏季和秋季亚洲范围的经向环流指数  $x_3, x_4$ ;夏季和秋季西太平洋副高的面积指数  $x_5, x_6$ ;夏季和秋季西太平洋副高的脊线位置  $x_7, x_8$ ;夏季极涡强度  $x_9$ ;夏季和秋季南方涛动指数  $x_{10}, x_{11}$ 。资料年代选为自建站至 1987 年。通过筛选的方法获得各站的回归方程及各因子的相关系数分别列于表 4 和表 5。从表 4 可见,各回归方程的复相关系数相当高,且  $F$  值很大,这表明四站年干燥度主要受夏秋季经向或纬向环流指数及夏季极涡强度的影响,而且年干燥度与这些因子的单相关系数也很大。四站年降水量  $z$  指数的变化,不仅和极涡、西风带的活动有关,而且还和西太平洋副高的面积或脊线位置有关。榆林站甚至和夏季南方涛动指数的变化有关。这意味着该沙区年降水量和年干燥度的准 3 年周期变化和准周期为 2—3 年的北半球冷空气活动<sup>[6]</sup>及准周期为 3.5 年的西太平洋副高与赤道东太平洋海温的周期振动<sup>[7,8]</sup>可能有着内在的联系。

表 4 各站年降水量和年干燥度多元线性回归方程

项目	站名	回归方程	复相关系数	残余平方和	均方根误差	F 值
年降水量 $z$ 指数	盐池	$z_y = 16.452 + 0.188x_4 + 0.806x_6 + 1.309x_8 - 1.507x_9$	0.9995	0.0011	25.544	6930.72
	榆林	$z_y = 4.958 + 1.085x_3 + 0.172x_8 - 1.167x_9 + 0.922x_{10}$	0.9985	0.0029	14.248	2569.20
	鄂托克	$z_y = -3.231 + 0.789x_1 + 0.351x_4 - 0.098x_6$	0.997	0.0061	11.838	1637.21
	东胜	$z_y = -1.560 + 0.651x_1 + 0.253x_2 + 0.318x_3 - 0.218x_5 - 0.407x_6 + 0.415x_9$	0.999	0.0020	12.050	1915.84
年干燥度 $k_y$	盐池	$k_y = 5.001 + 0.330x_1 + 0.245x_2 + 0.531x_3 - 0.168x_9$	0.983	0.0337	9.240	215.16
	榆林	$k_y = 4.090 + 0.309x_1 + 0.307x_2 + 0.501x_3 - 0.168x_9$	0.9851	0.0295	8.769	246.69
	鄂托克	$k_y = 1.488 + 0.647x_1 + 0.320x_2$	0.9813	0.037	9.373	403.92
	东胜	$k_y = -1.754 + 0.175x_2 + 0.479x_3 + 0.378x_4$	0.9871	0.0256	8.555	330.47

表 5 表 4 回归方程中  $z_y$  和  $k_y$  与各列选自变量的相关系数(R)

项目	站名	自变量									
		$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_8$	$x_9$	$x_{10}$	
$z_y$	盐池		0.0656				0.1410	-0.3854	-0.1003	0.5719	
	榆林			-0.2217				0.1295	-0.8009		
	鄂托克	-0.2125			-0.6095		0.0689				
	东胜	0.5773	-0.8986	-0.7500		-0.5124	-0.1089		0.2986		
$k_y$	盐池	0.9605	0.9679	0.9417					0.7288		
	榆林	0.9636	0.9708						0.7314		
	鄂托克	0.9649	0.8695								
	东胜		0.9741	0.9666	0.9816						

## 五、AR模型的建立和气候趋势预测

对原始序列进行标准化处理,获得一新的序列 $\{x_t\}, t=1, 2, \dots, N$ 。  $p$ 阶自回归过程 $AR(p)$ 为:

$$x_t = \alpha_1 x_{t-1} + \alpha_2 x_{t-2} + \dots + \alpha_p x_{t-p} + \varepsilon_t$$

其中 $\varepsilon_t$ 为模型的残差,一般可认为是白噪声序列。 $AR(p)$ 过程阶数 $p$ 的选定,是采用巴叶斯信息判据,简称为 $BIC^{[9]}$ :

$$BIC = \ln S^2 + kp \ln N / N$$

式中 $N$ 为样本大小, $k$ 为最大滞后长度, $S^2$ 代表估计剩余方差。

鄂托克位于毛乌素沙区西北缘,是该沙区边缘地带中最干旱的区域。这里以它的1955—1989年的年干燥度序列建立 $AR(2)$ 模型。

为了验证 $AR(p)$ 模型的预报准确性,我们先用1955—1985年标准化的年干燥度时间序列建 $AR$ 模型,预测1986—1989年干燥度,并与实际值进行比较。经 $BIC$ 判别,获得了一个8阶自回归模型。1955—1985年的平均年干燥度和标准差分别为2.5和1.1。1986—1989年的年干燥度预测值分别为3.0, 2.6, 2.4和3.4,实际值分别为3.5, 2.9, 1.7和1.2。从年干燥度的距平趋势变化来看,1986—1988年的预测值和实际值是一致的。1989年的情况相反。这表明30多年的资料大体上可预测未来3年内的趋势变化。

据此,我们采用1955—1989年的年干燥度资料,经 $BIC$ 判别,建立了 $AR(p)$ 模型:

$$x_t = -0.087233x_{t-1} - 0.32882x_{t-2}$$

平均值和标准差分别为2.437和1.089,1990—1992年的年干燥度预测值各为2.79, 2.31和2.29。亦即1990年1991年的气候将可能较常年干燥,1992年将较常年略为偏湿。

**致谢:**周琴芳同志提供并帮助执行了 $AR(p)$ 统计模型的程序,谨表谢意。

## 参考文献

- [1] F. K. 海尔, 曹鸿兴等译, 气候与沙漠化, 气象出版社, 1988年。
- [2] 高国栋, 陆渝蓉, 中国物理气候图集, 农业出版社, 1981年。
- [3] Kite, G. W., Frequency and risk analysis in hydrology, Water Resources, Publication, Fort Collins, Colorado 80522, ISBN-0-918334-24, 1978.
- [4] 中国科学院自然区划工作委员会, 中国气候区划(初稿), 第一部分总论, 科学出版社, 1959年。
- [5] 黄嘉佑, 李黄, 气象中的谱分析, 气象出版社, 1984年。
- [6] 王绍武, 赵宗慈, 近百年来我国的气候变化与全球大气环流, 全国气候变化学术讨论会文集, 科学出版社, 1981年。
- [7] 符淙斌等, 太平洋海温长期变化及其对副高的影响, 地理集刊, 第11期, 1979年。
- [8] 陈烈庭, 北太平洋副热带高压与赤道东部海温的相互作用, 中长期水文预报文集, 第二集, 长江流域规划办公室, 1981年。
- [9] 安鸿志, 顾岚, 统计模型与预报方法, 气象出版社, 1986年。



## THE STUDY OF RECENT CLIMATIC FLUCTUATION IN THE MAOWUSU SAND REGION

Sun Anjian Qu Jianhe Liu Desong

(*National Meteorological Center, SMA*)

### Abstract

Based on the meteorological data of seventeen stations in the Maowusu sand region in the recent 40 years, we investigated climatic characteristics of radiation, heat, precipitation and wind sand and revealed that spring is the most severe season of desertification in the region. We also discussed in detail climatic evolution tendencies of various factors related to desertification processes.

The power spectra were analysed for the time series (1955—1988) of annual precipitation and aridity degree in the four stations of Etoke, Dongsheng, Yanchi, and Yulin, respectively. The pronounced oscillation periods are quasi-triennial and eight to nine years. The quasi-triennial vibration may be associated with the periodic variations of SST, subtropical high, temperature of Tibetan plateau and cold air activity of the northern hemisphere.