

王炳尧,刘星辰,刘立超.1957—2017年腾格里沙漠地区降水量[J].中国沙漠,2020,40(4):163-170.

1957—2017年腾格里沙漠地区降水量

王炳尧¹,刘星辰²,刘立超¹

(1.中国科学院西北生态环境资源研究院 沙坡头沙漠研究试验站,甘肃 兰州 730000; 2.海南大学 生态与环境学院,海南 海口 570228)

摘要: 基于腾格里沙漠地区1957—2017年的气象观测资料,对降水量进行了时间变化分析、突变分析与周期性变化分析。结果表明:腾格里沙漠地区60 a平均降水量为146.5 mm,总体降水呈不显著($P>0.05$)增加趋势,增速约为3.37 mm/10a;降水量空间分布总体南高北低、东高西低,季节分配极为不均,具有明显的干湿季节划分,夏季与秋季降水总量约占全年降水的80.5%。各季节降水量呈不显著($P>0.05$)增加趋势。降水在20世纪60—70、80—90年代集中发生了多次突变,但突变均不显著($P>0.05$),而季节降水在20世纪90年代后波动明显增大,并发生多次不显著($P>0.05$)突变;60 a降水量总体存在14 a左右的主要周期震荡规律,其次为3 a左右的高频震荡周期和30 a左右的低频震荡周期。

关键词: 腾格里沙漠;降水;突变分析;Morlet小波分析

文章编号: 1000-694X(2020)04-163-08

DOI: 10.7522/j.issn.1000-694X.2020.00047

中图分类号: P467

文献标志码: A

0 引言

腾格里沙漠是中国第四大沙漠,处于西风带与中国季风区西缘的交汇地带,属于气候变化敏感区域^[1]。降水作为重要的气候变化指示要素,是研究气候变化特征及其响应机制的重要内容。在全球气候变化的背景下,学者们对腾格里沙漠地区的降水变化特征开展了研究,范子昂等^[2]、Chen等^[3]发现腾格里沙漠1775—2005年的降水树轮重建序列具有显著干湿阶段变化;高尚玉等^[4]通过功率谱分析发现腾格里沙漠地区降水在长时间序列上存在的显著周期性。自20世纪50年代开始有气象站观测以来,腾格里沙漠地区降水的变化特征却鲜有研究。有学者对巴丹吉林沙漠^[5]、塔克拉玛干沙漠^[6]、科尔沁沙地^[7]和毛乌素沙地^[8]等沙漠地区的降水特征开展了相关研究,表明降水对于沙漠生态系统意义重大。降水不仅是沙漠生态系统最主要的水分来源,还是限制物种数量和种群规模的直接因素^[9],研究沙漠地区的降水长期变化特征不仅可为沙区生态环境变化的相关研究提供重要参考,还可为中国生态安全屏障的建设提供科技支撑。本文以腾

格里沙漠周边10个气象站点1957—2017年观测的降水量数据作为基础,对腾格里沙漠地区60 a降水的时间、空间及周期性变化规律进行分析,为后续沙漠生态系统及全球气候变化相关研究提供参考。

1 数据与方法

本研究选取腾格里沙漠周边巴彦诺尔公、吉兰泰、阿拉善左旗、银川、中卫、中宁、景泰、武威、民勤、雅布赖10个气象站点(图1)1957—2017年的逐月降水量观测数据(中国气象局科学数据共享服务网 <http://cdccma.gov.cn>)。由于目标区域内气象站点离散分布,故选用泰森多边形法划分各个气象站点面积权重,加权平均法计算腾格里沙漠地区近60 a的降水时间序列,依据泰森多边形法划分面积结果剔除景泰、中宁、银川和巴彦诺尔公气象站,保留其余6个气象站点观测数据做后续分析。

本区降水量时间变化采用线性回归、5 a滑动平均、年代距平法和Mann-Kendall突变检验方法分析;周期变化采用Morlet复小波函数进行小波变换分析;降水量空间分布使用Ordinary-Kriging法计算;图件

收稿日期:2020-01-03; 改回日期:2020-06-14

资助项目:中国科学院战略先导科技专项(XDA23060204)

作者简介:王炳尧(1994—),男,甘肃酒泉人,助理工程师,主要从事生态学研究。E-mail: wby@lzb.ac.cn

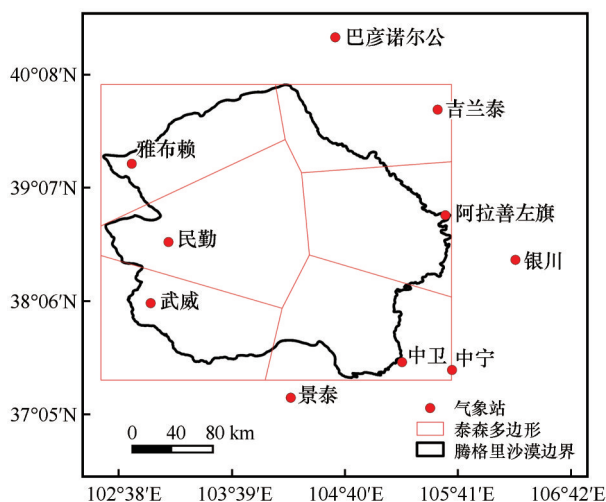


图1 气象站点位置

Fig.1 Location of meteorological stations

使用ArcGIS 10.4、Origin pro 2017与Surfer14绘制。

2 结果与分析

2.1 年际变化

1957—2017年腾格里沙漠地区多年平均降水为146.5 mm,最大值出现在1978年,为205.7 mm,最小值出现在1982年,为84.4 mm。降水集中分布在5—9月,其中以8月最多,1月最少,8月多年平均降水量为35.2 mm,1月仅1.1 mm。1957—2017年腾格里沙漠地区降水量呈不显著的波动增加趋势($P>0.05$,图2),增速约为3.37 mm/10a。M-K检验结果(图2)表明腾格里沙漠地区降水量分别在20世纪60—70、80—90年代集中发生了多次突变,特别是在60—70年代降水量变化尤为剧烈,但多次突变均不显著($P>0.05$)。由于腾格里沙漠地区的水汽主要

来源于西风环流与南亚季风,本区西北侧为阿拉善高原与中央戈壁阻挡,东北侧受贺兰山与乌兰布和沙漠阻挡,南部受祁连山山脉与黄土高原阻挡,地处季风尾间区与环流弱影响区,因此对南亚季风与西风环流的变化特别敏感。

腾格里沙漠地区平均降水量(图2)与年代降水距平序列表明(表1),20世纪60—70年代腾格里沙漠地区降水整体呈波动上升趋势,20世纪70年代中期至80年代初期迅速下降,使得20世纪80年代成为了近60 a腾格里沙漠地区平均降水量最少的一个年代;80年代末至90年代中期逐渐上升,90年代中后期变化不大,21世纪以来降水有上升趋势,该年代变化特征与同时间段西北侧的巴丹吉林沙漠相似^[10]。黄玉霞等^[11]认为整个西北地区(陕、甘、宁、青、新)降水量在20世纪60—70年代下降,而70—80年代降水量又有所增加,80年代中期至90年代末又有减少的趋势。由于上述的研究区域不包括腾格里沙漠地区,水汽受贺兰山与祁连山脉的阻挡,再加之腾格里沙漠西北侧为巴丹吉林沙漠,几乎无水汽来源,使得腾格里沙漠地区多年降水与上述西北区域呈现相反特征。

2.2 季节变化

1957—2017年腾格里沙漠地区各季节降水量均呈不显著增加趋势($P>0.05$,图3),其中春季降水量增幅比其他季节高,冬季降水量增幅最低,仅约0.14 mm/10a;从各个季节降水量分配情况来看,本区夏季与秋季降水总量约占全年降水的80.5%,其次为春季与冬季,表明腾格里沙漠地区降水季节分配极为不均,具有明显的干湿季节划分。M-K突变

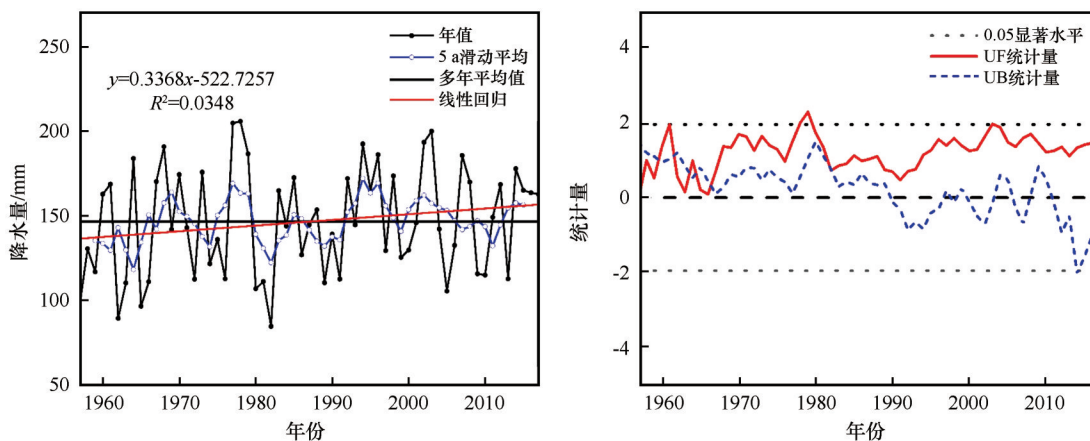


图2 1957—2017年降水量变化与M-K突变检验

Fig.2 Change of mean precipitation and Mann-Kendall test in 1957-2017

表 1 1957—2017 年降水年代距平
Table 1 Annual precipitation decadal anomalies
during 1957-2017

年代	降水/mm	距平/mm
1957—1959	115.00	-31.51
1960—1969	142.50	-4.01
1970—1979	157.32	10.81
1980—1989	131.88	-14.63
1990—1999	154.04	7.54
2000—2009	152.01	5.51
2010—2017	151.79	5.29

检验结果表明,腾格里沙漠地区自 20 世纪 90 年代开始 4 个季节降水量波动明显增大,发生多次突变,但突变均不显著($P>0.05$)。

本区春季降水量平均值为 24.9 mm,最大值为 79.1 mm,最小值为 3.9 mm,约占全年降水量的 16.4%(图 3A)。在 20 世纪 60 年代初至 70 年代初期春季降水呈微弱下降趋势,随后从 70 年代中期到 80 年代末期缓慢上升,20 世纪 90 年代中期后春季降水在平均值附近有较大波动,20 世纪 60 年代末期至 80 年代中期腾格里沙漠地区春季降水最为匮乏,整体低于平均值。在腾格里沙漠地区春季降水量增加的时期,东亚大槽浅,从中亚到中国新疆北部的高压脊较弱^[12],这可能是造成本区春季降水增加的原因。

夏季降水占全年的降水比重较大,变化趋势与全年降水变化趋势相似,约占全年降水的 57.6%,比临近的巴丹吉林沙漠夏季降水占比约小 10.3%^[5],平均值为 84.6 mm,最大值为 145.2 mm,最小值为 25.13 mm,近 10 a 夏季降水有降低趋势(图 3B)。当夏季有 EL NINO 出现时,腾格里沙漠附近区域(甘肃东部-宁夏)夏季降水偏少概率超过 90%^[13]。根据 NOAA/National Weather Service 提供的 NINO 海温距平资料显示,当夏季有 EL NINO 和 La Nina episodes 发生时,本区夏季降水普遍偏少,其中包括 1957、1958、1963、1965、1969、1972、1975、1982、1989、1991、1998、2001、2005、2010、2015 年,因此腾格里沙漠周边地区夏季降水偏少现象或与 EL NINO 和 La Nina episodes 的发生相关。

秋季降水量平均值为 34.2 mm,最大值为 74.1 mm,最小值为 9.8 mm,全年占比仅次于夏季,约为

22.9%(图 3C)。秋季降水在 20 世纪 70 年代初发生跃变,维持了一个 15 a 左右的低值区,随后在 90 年代初期开始重新增至平均值附近波动,并在 1997 年左右发生突变,但突变并不显著($P>0.05$)。郭漪然等^[14]对西北地区秋季降水的研究表明,秋季欧亚波列处于负位相时,降水异常增加,正位相时则降水异常减少,本区秋季降水的低值时期或与秋季欧亚波列变化相关。

冬季降水占全年降水比重最小,波动也相对微弱,多年平均冬季降水量仅有 3.3 mm,最大值为 9.8 mm,最小值为 0.1 mm,占比约 2.3%,对全年降水变化影响较小。总体上,本区冬季降水在 1989 年前变化波动较小,5 a 滑动平均结果表明降水在冬季多年均值附近变化,且变化幅度较小;从 20 世纪 80 年代开始冬季降水出现了一次明显的增大,从 80 年代末期开始到 90 年代中期,腾格里沙漠地区冬季降水呈降低趋势且波动较前 30 年明显增大,持续到 21 世纪的前 10 年,2010 年后冬季降水又出现了一次明显的增大趋势。

2.3 空间分布特征

腾格里沙漠地区降水量空间总体呈南高北低、东高西低分布(图 4)。腾格里沙漠地区位于西北部,处于季风边缘区^[15],本区降水量空间分布特征符合西北地区多年降水空间分布规律。

将腾格里沙漠地区依据多年平均降水量分布特征进一步划分为西北和东南两个区域进行讨论(图 5),其中东南亚区包括吉兰泰、阿拉善左旗和中卫 3 个气象站,其余 3 个气象站划入西北亚区。各个气象站点的多年降水数据截至 2015 年的分析结果表明西北亚区在 58 a 间处于不显著($P>0.05$)增加趋势,而东南亚区处于不显著($P>0.05$)降低趋势,但增加 2016 年和 2017 年的数据之后,两个亚区均呈不显著($P>0.05$)增加趋势,表明最近 5 a 来东南亚区降水量处于快速上升时期。腾格里沙漠地区降水集中在 4—9 月,且存在明显的干湿季,其中 8 月降水量最高,12 月最小;降水量季节分配两个亚区无显著差异,变化趋势也相似($P>0.05$),但东南亚区每月平均降水量均高于西北亚区,在 7 月和 8 月尤为明显。

由图 6 可知,东南亚区的阿拉善左旗地区多年平均降水量最大,为 211.85 mm,西北亚区的雅布赖多年平均降水量最小,仅 84.97 mm。除吉兰泰气象

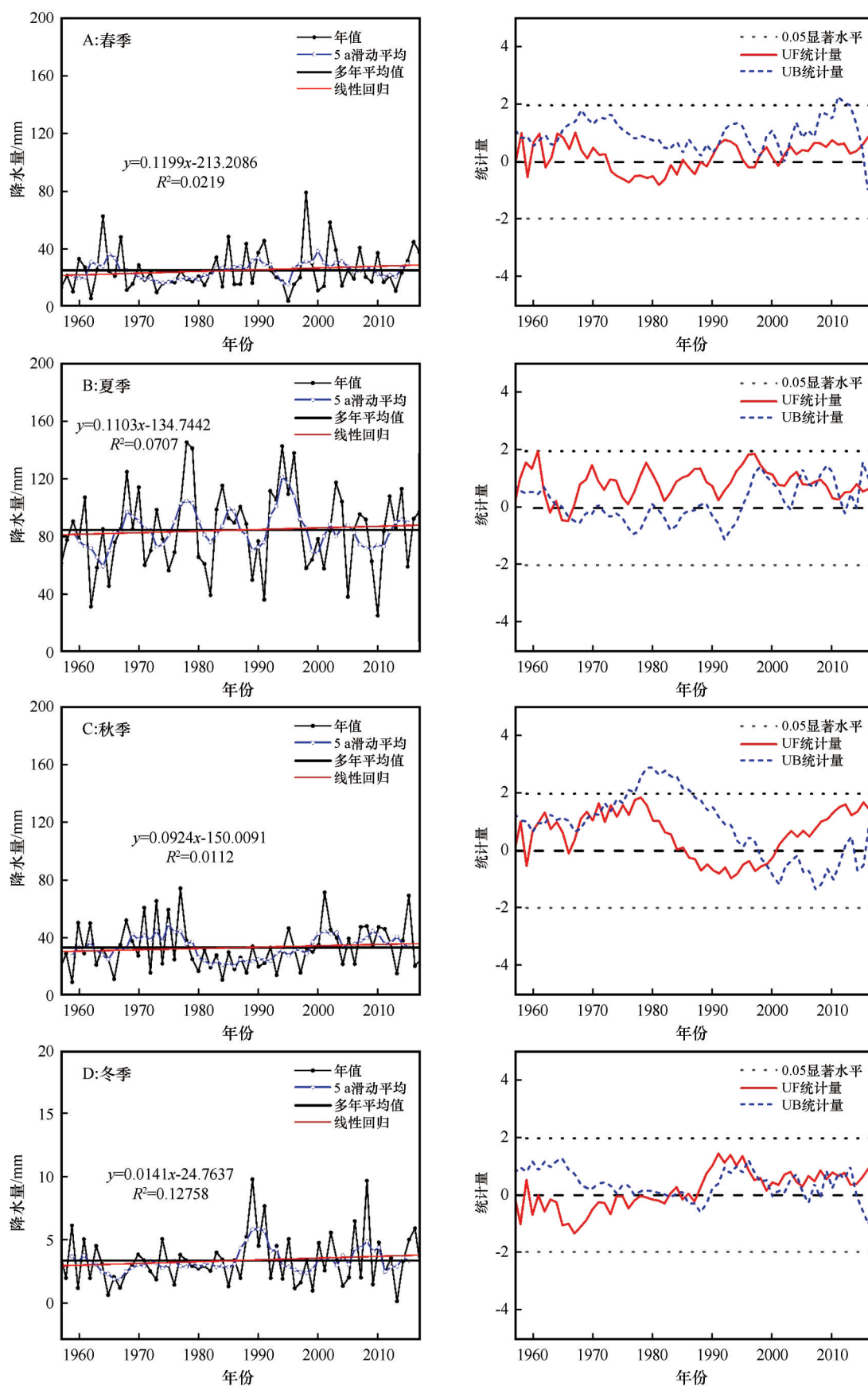


图3 1957—2017年季节降水量变化趋势与M-K突变检验

Fig.3 Seasonal variation trend of precipitation and M-K mutation test from 1957 to 2017

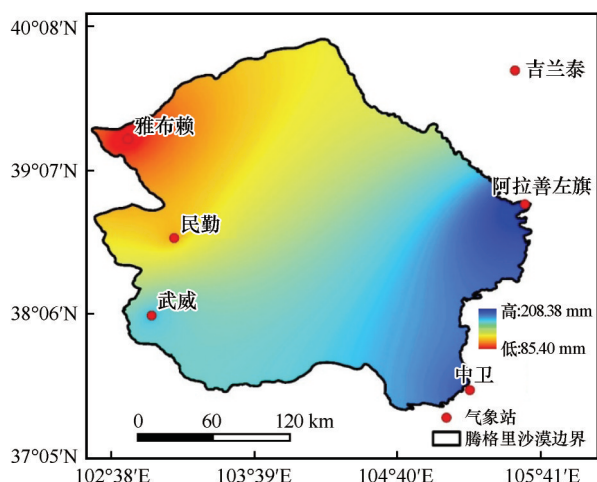


图4 1957—2017年多年平均降水量分布特征

Fig.4 Distribution characteristics of annual average precipitation in Tengger Desert from 1957 to 2017

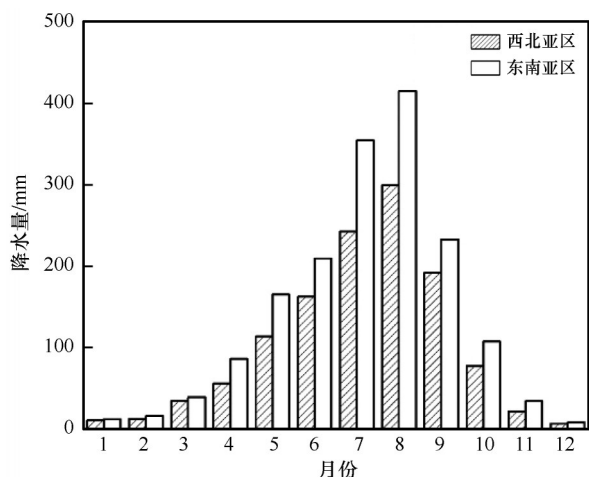


图5 1957—2017年月降水量

Fig.5 Average monthly precipitation around Tengger Desert from 1957 to 2017

站之外其他气象站在1957—2017年的降水量均呈不显著增加趋势,其中以武威气象站增幅最大,约为4.53 mm/10a,以中卫气象站增幅最小,约为0.2 mm/10a;吉兰泰气象站60 a降水量减小幅度约为2.6 mm/10a。但由于吉兰泰气象站距腾格里沙漠边界较远,所占面积权重也相对较小,因此总体上腾格里沙漠区域近60 a降水呈不显著增加趋势,且西北亚区增速快于东南亚区。

2.4 降水变化周期

在年尺度上,腾格里沙漠地区60 a降水演变过程中存在着3~7、11~17、27~32 a的周期变化规律。在27~32 a尺度上出现了“枯-丰”交替2次震荡,在

11~17 a尺度上出现了“丰-枯”交替6次震荡,在3~11 a尺度上存在10次“枯-丰”交替震荡;其中11~17 a和27~32 a的周期变化为全域性稳定变化周期。对应的小波方差表明30 a、14 a、3 a左右的时间尺度周期震荡最强,14 a左右的周期为主变化周期;其次,在季节尺度上,14 a左右的中频震荡周期在各个季节均有明显表现,且自20世纪90年代开始逐渐稳定,春季和冬季周期性变化规律相似,出现了27 a左右的低频震荡周期;夏秋两季周期变化规律与全年降水周期变化规律类似,也出现了14 a左右的主周期(图7)。黄磊等^[16]在研究腾格里沙漠东南缘沙坡头地区的多年降水变化规律中发现,沙坡头地区存在10~12 a的主要周期变化特征;张雪琴等^[8]研究发现毛乌素沙区多年降水总体上存在11~16 a的尺度周期特征;刘扬等^[17]提出中国北方中部区存在稳定的准15 a周期变化规律;降水量在西北干旱区普遍存在10 a以上的周期变化规律,因此14 a左右的震荡周期或为腾格里沙漠地区的稳定周期变化年限。而这种周期变化受多种条件影响,包括但不限于海-气相互作用^[18]、太阳黑子活动^[19]、下垫面因素影响^[16]等。沙漠地区夏季降水占全年降水的绝大部分,夏季降水周期性一定程度上可反映全年降水变化趋势。由上文季节变化分析可知,夏季降水偏少年份往往伴随着EL NINO和La Nina episodes事件的发生,同时在夏季降水偏少年份也出现了3 a左右的弱周期,故降水的短期高频震荡周期也可能与全球性EL NINO和La Nina episodes事件的发生相关。

3 结论

1957—2017年腾格里沙漠地区多年平均降水量为146.5 mm,空间呈南高北低、东高西低分布;季节分配极为不均,具有明显的干湿季节划分,夏季与秋季降水总量约占全年降水的80.5%。

腾格里沙漠地区60 a降水量呈不显著($P>0.05$)增加趋势,增速约为3.37 mm/10a,各季节降水量均呈不显著增加趋势($P>0.05$),春季降水量增幅相对其他季节较高,约1.2 mm/10a,冬季降水量增幅最低,仅约0.14 mm/10a;

腾格里沙漠地区20世纪60、70年代降水量变化较为剧烈并发生了多次不显著突变($P>0.05$)。20世纪70、90年代及21世纪00、10年代腾格里沙漠地

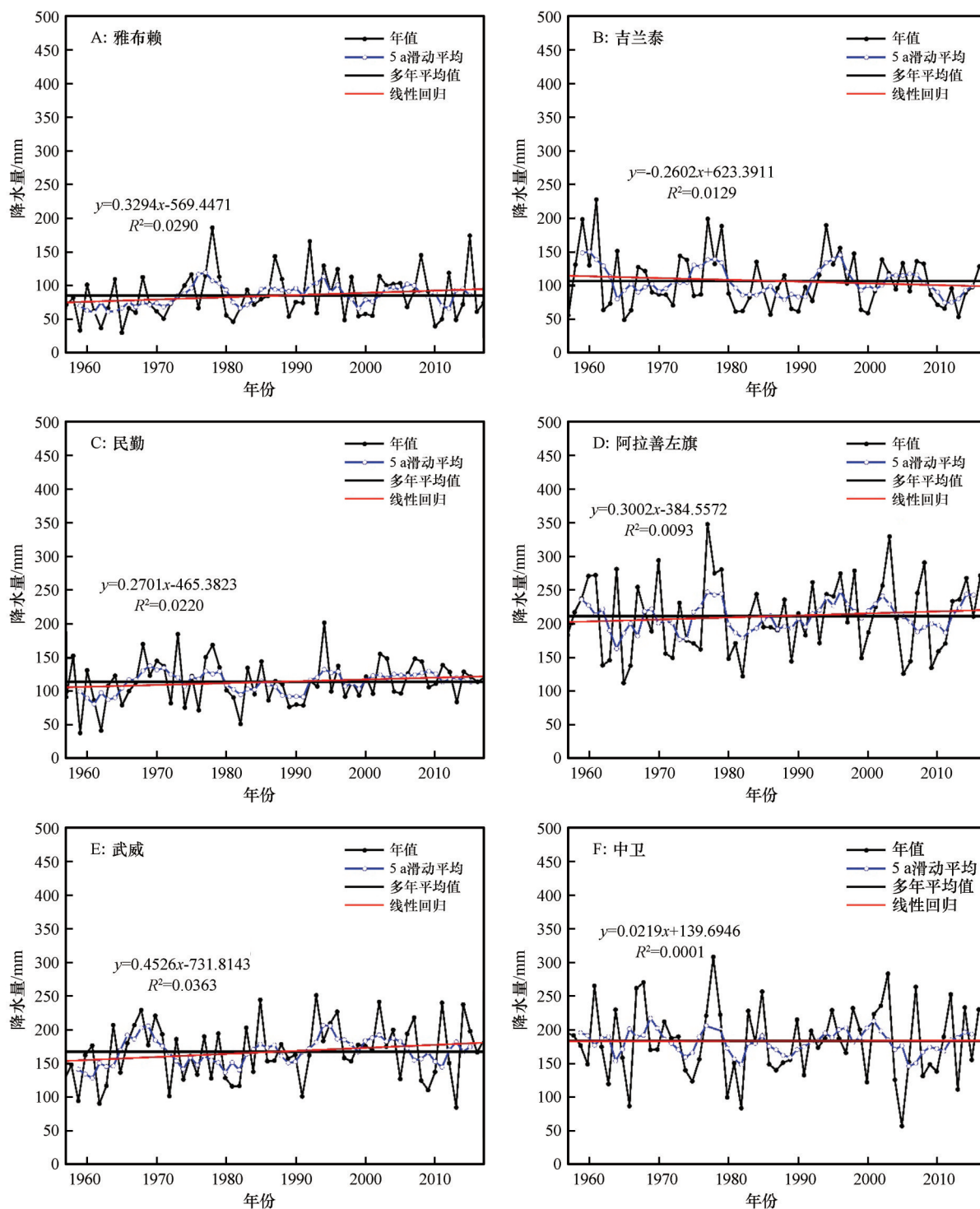


图6 1957—2017年降水量变化趋势

Fig.6 Precipitation change trend of meteorological stations around Tengger desert from 1957 to 2017

区为降水偏多年代,20世纪50、60、80年代为降水偏少年代,其中20世纪80年代为本区60 a平均降水量最少的年代;

60 a降水量总体出现了14 a左右的主要周期震荡规律,这也是本区的全域性稳定变化周期;其次

出现了3 a左右的高频震荡周期和30 a左右的低频震荡周期;

腾格里沙漠地形区位特殊,四周被高地与沙漠所环绕,属于南亚季风尾闾区与环流弱影响区的交汇地带,其降水多年变化特征影响因素复杂,因此还

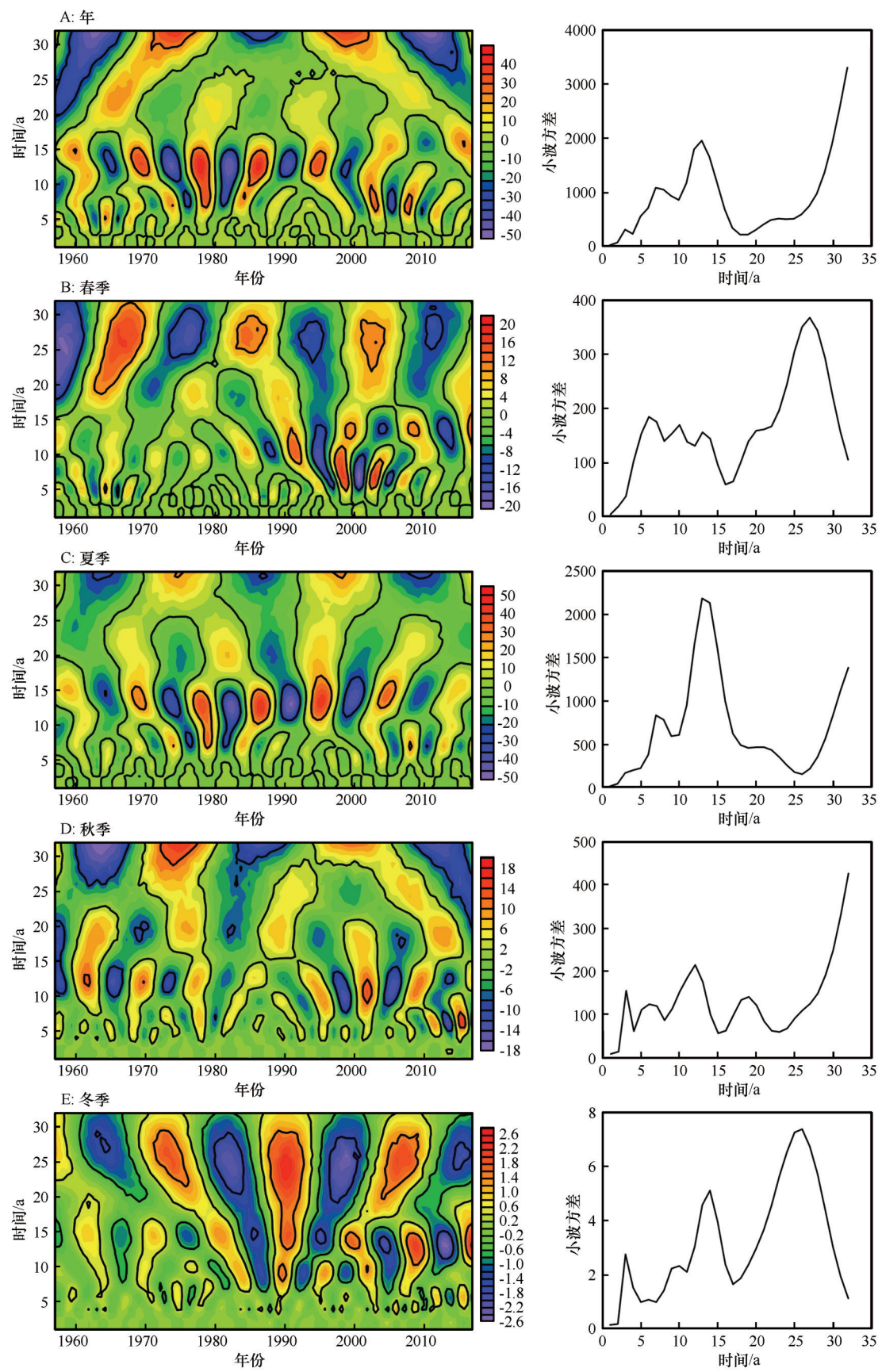


图 7 1957—2017 年降水变化周期
Fig.7 Precipitation cycle of Tengger desert from 1957 to 2017

需结合径向波列、气压及云量变化等因素做进一步研究。

参考文献:

- [1] Ji F, Wu Z, Huang J, et al. Evolution of land surface air temperature trend[J]. *Nature Climate Change*, 2014, 4(6): 462–466.
- [2] 范子昂, 魏文寿, 陈峰, 等. 树轮记录的腾格里沙漠东缘 1775—2005 年降水变化[J]. *中国沙漠*, 2012, 32(4): 996–1002.
- [3] Chen F, Yuan Y, Wen W, et al. Tree-ring-based reconstruction of precipitation in the Changling Mountains, China, since A. D. 1691[J]. *International Journal of Biometeorology*, 2012, 56(4): 765–774.
- [4] 高尚玉, 鲁瑞洁, 强明瑞, 等. 140 年来腾格里沙漠南缘树木年轮记录的降水量变化[J]. *科学通报*, 2006, 51(3): 326–331.
- [5] 李万元, 吕世华, 董治宝, 等. 巴丹吉林沙漠周边地区降水量的时空变化特征[J]. *中国沙漠*, 2015, 35(1): 94–105.
- [6] 周雪英, 贾健, 刘国强, 等. 1997—2017 年塔克拉玛干沙漠腹地降水特征[J]. *中国沙漠*, 2019, 39(1): 190–197.
- [7] 王静茹, 马龙, 刘廷玺. 1951—2012 年科尔沁沙地气温、降水变化特征[J]. *干旱区研究*, 2016(1): 49–58.
- [8] 张雪琴, 刘树林, 冯坤, 等. 毛乌素沙区 1961—2016 年降水特征[J]. *中国沙漠*, 2019, 39(6): 141–150.
- [9] Li X R. Study on shrub community diversity of Ordos Plateau, Inner Mongolia, Northern China[J]. *Journal of Arid Environments*, 2001, 47(3): 1–279.
- [10] 马宁, 王乃昂, 朱金峰, 等. 巴丹吉林沙漠周边地区近 50 a 来气候变化特征[J]. *中国沙漠*, 2011, 31(6): 1541–1547.
- [11] 黄玉霞, 李栋梁, 王宝鉴, 等. 西北地区近 40 年年降水异常的时空特征分析[J]. *高原气象*, 2004, 23(2): 245–252.
- [12] 孟奎. 西北干旱区春季降水的年际变化特征及其原因[D]. 兰州: 兰州大学, 2012.
- [13] 张仲杰. 中国西北地区东部降水的气候变化特征及其影响因素[D]. 兰州: 兰州大学, 2016.
- [14] 郭漪然, 赵楠钰. 秋季欧亚波列对我国西北地区秋季气温和降水年际变化的影响[C]//第 35 届中国气象学会年会 S7 东亚气候、极端气候事件变异机理及气候预测. 2018.
- [15] 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(4): 362–367.
- [16] 黄磊, 张志山, 吴攀. 沙坡头地区多年降水量时间序列的小波分析[J]. *兰州大学学报(自然科学版)*, 2010(5): 63–66.
- [17] 刘扬, 韦志刚. 近 50 年中国北方不同地区降水周期趋势的比较分析[J]. *地球科学进展*, 2012(3): 85–94.
- [18] 王澄海, 崔洋. 西北地区近 50 年降水周期的稳定性分析[J]. *地球科学进展*, 2006(6): 576–584.
- [19] 陈仁升, 康尔泗, 张济世. 小波变换在河西地区水文和气候周期变化分析中的应用[J]. *地球科学进展*, 2001(3): 48–54.

Characteristics of precipitation in the surrounding area of Tengger Desert in 1957–2017

Wang Bingyao¹, Liu Xingchen², Liu Lichao¹

(1. Shapotou Desert Research and Experiment Station, Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China; 2. College of Ecology and Environment, Hainan University, Haikou 570228, China)

Abstract: Based on the observation data of Tengger desert from 1957 to 2017, the temporal change analysis, catastrophe analysis and periodic change analysis of the 60 year time series precipitation in the whole study area are carried out. The results show the average precipitation in Tengger desert area was 146.5 mm from 1957 to 2017, and the overall precipitation showed no significant ($P > 0.05$) increase trend, with a growth rate of about 3.37 mm/10a; The seasonal distribution of precipitation is extremely uneven, with a clear division of dry and wet seasons. The total precipitation in summer and autumn accounts for about 80.5% of the annual precipitation. The precipitation from 1960s to 1970s and 1980s to 1990s has occurred many abrupt changes (non-significant ($P > 0.05$)), while the seasonal precipitation fluctuates obviously after 1990s. The spatial distribution of precipitation in Tengger desert area for 60 years is generally "high in the South and low in the north, high in the East and low in the west"; the precipitation around Tengger desert from 1957 to 2017 generally has the main periodic rule of about 14 years, followed by the high-frequency cycle of about 3 years and the low-frequency cycle of about 30 years.

Key words: Tengger Desert; precipitation; mutation analysis; Morlet wavelet analysis