

牛亚毅,刘蔚,董佳蕊,等.科尔沁沙地1961—2021年主要气象要素的变化特征——以奈曼旗为例[J].中国沙漠,2023,43(4): 1-11.

科尔沁沙地1961—2021年主要气象要素的变化特征

——以奈曼旗为例

牛亚毅^{1a},刘蔚^{1a,2},董佳蕊³,连杰^{1b},王旭洋^{1b,2},李玉强^{1b,2}

(1.中国科学院西北生态环境资源研究院 a.文献情报中心,b.奈曼沙漠化研究站,甘肃兰州730000;2.中国科学院大学,北京100049;3.内蒙古自治区奈曼旗气象局,内蒙古奈曼旗028300)

摘要:为了分析全球气候变化背景下科尔沁沙地主要气象要素的变化特征,基于逐月站点气象数据,采用趋势分析、Mann-Kendall突变分析和小波分析等研究方法,分析了1961—2021年奈曼旗主要气象要素(气温、降水量和蒸发量)的多尺度时间变化特征。结果表明:在全球气候变化下奈曼旗各主要气象要素变化显著,其中气温以0.21 °C/10a速率极显著升高,降水以-9.2 mm/10a速率极显著减小,蒸发量以32.50 mm/10a速率不显著增加;从季节变化来看,春季和秋季气温、降水和蒸发量均表现为增加趋势,夏季和冬季温度和蒸发量增加,降水量减少。各气象要素出现突变点的时间不同,其中气温为1971年左右,降水为1978年和1987年,蒸发量为2002、2009、2013年。各气象要素在研究时段内均表现出明显的周期变化,其中气温为3~7、14~23、34~43 a,降水量为3~6、8~11、13~23、43 a,蒸发量为5~7、11~16、27、35 a。

关键词:气温;降水量;蒸发量;突变点;周期性

文章编号:1000-694X(2023)04-001-11

DOI:10.7522/j.issn.1000-694X.2023.00043

中图分类号:P468

文献标志码:A

0 引言

科尔沁沙地位于中国东北地区西南部,地处东北平原向蒙古高原的过渡地带,原始景观为稀树草原,自然资源丰富,是森林与草原的过渡地带,具有良好的气候条件,是中国重要的农牧业生产基地^[1]。由于早期农耕活动、地质作用、不合理人为活动以及气候变化等因素,科尔沁沙地风蚀和风积作用强烈,沙丘迅速移动,流沙面积不断扩大,形成了各种风沙地貌,演变成中国面积最大的沙地和荒漠化最严重的地区^[2],是中国北方风沙源区和典型的生态脆弱区^[3],历史上发生多次沙漠化与沙漠化逆转过程^[4],存在农牧结构失衡,水资源制约性增大,土地荒漠化突出等问题^[5]。气候变化和人类活动导致沙

漠化的发生和发展^[6-7],张桂英等^[8]针对该地区50年气候变化的研究表明,气温和蒸发量的增加及降水的减少,加剧了科尔沁沙地的干旱化程度,加速了该地区的沙漠化进程。气候因子随时间的变化受到多种综合因素的影响,主要有趋势性、突变性和周期性等变化规律^[9]。利用小波分析进行科尔沁沙地主要气候因子(气温、降水量和蒸发量)变化规律的多时间尺度分析,揭示其气候变化规律,从而为该地区沙漠化防治对策的制定提供理论支持。

气温的剧烈变化会加速沙区岩石的风化^[6],尤其内蒙古地区春季和冬季增温更加明显^[8,10],且冬春两季盛行西北风,为沙漠化的发展提供了条件^[11]。科尔沁沙地极端降水事件频率增加,导致洪涝灾害的发生,另外高强度的降水会搬运大量的泥

收稿日期:2022-08-09;改回日期:2023-04-19

资助项目:甘肃省青年科技基金(23JRRA672);2022年甘肃省博士后资助项目(33988027);国家自然科学基金项目(31971466,32001214);国家重点研发计划项目(2017YFA0604803,2017YFA0604801)

作者简介:牛亚毅(1992—),女,甘肃通渭人,博士后,主要从事生态系统碳通量的研究。E-mail:niuyayi@lzb.ac.cn

通信作者:李玉强(E-mail:liyq@lzb.ac.cn)

沙,同时增强了对地表岩石的冲击力,造成沙漠化的加剧^[6,12-13]。不同季节降水量的变化亦会对该地区沙漠化产生不同的影响,例如,春季降水增加会导致沙地开垦量的增多和牲畜数量增加,而干旱年则大量撂荒和超载放牧,破坏了沙地脆弱的生态平衡,导致了沙漠化的发展^[8]。

近年来,科尔沁沙地经过治理其沙漠化总体呈现逆转趋势,沙漠化面积也有所减少,但轻度沙漠化土地有向南移动的趋势,沙漠化态势仍然比较严峻^[14]。奈曼旗是中国北方沙漠化典型代表区,生态环境极其脆弱,面临着土地退化、地下水位下降等诸多生态环境问题^[15],而气候变化是该地区生态环境恶化的主要驱动因素,因此研究其具有十分重要的现实意义^[16]。有关该地区气候因子变化的研究集中在不同时间尺度上对气温、降水等单一因子的变化方面^[15,17],缺少长时间尺度上多种气象要素(气温、降水量和蒸发量)协同变化的研究。本文分析了奈曼旗1961—2021年气温、降水量和蒸发量在不同时间尺度上的变化特征,以期为该区域生态环境恢复和沙漠化逆转的研究提供数据支持和背景资料。

1 研究区概况

奈曼旗位于科尔沁沙地南缘(42°55'N、120°42'E,海拔345 m,图1),属于温带大陆性干旱季风气候,春季干燥多风,夏季炎热多雨,秋季凉爽短暂,冬季寒冷漫长。多年平均气温和多年平均降水量分别为6.4℃和360 mm,潜在蒸发量1 500~2 500 mm。地带性土壤为沙质栗钙土,但在风蚀作用下多数已退化为风沙土。该区植被以一年或者多年

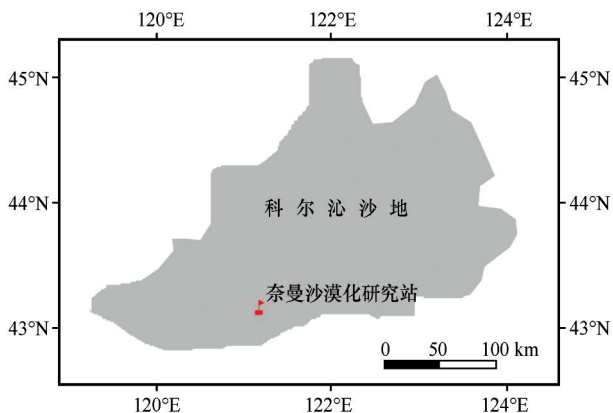


图1 研究区位置

Fig.1 Location of the research area

生草本植物为主,主要优势植物有狗尾草(*Setaria viridis*)、猪毛菜(*Salsola collina*)、尖头叶藜(*Chenopodium acuminatum*)、差巴嘎蒿(*Artemisia halodendron*)和五星蒿(*Bassia dasyphylla*)等^[18]。

2 数据来源及其分析方法

1961—2005年逐月气象数据来自于内蒙古自治区奈曼旗气象局,2005—2021年逐月数据来自于中国科学院奈曼沙漠化研究站气象站(2005年建立),两气象站距离约为13 km,其地形、气候及周围环境均相似,因此2005年之前数据利用奈曼旗气象局的观测数据,数据比较完整,其中降水和温度数据为1961—2021年,蒸发量数据为1966—2021年。四季以气候学方法划分为春季(3—5月)、夏季(6—8月)、秋季(9—11月)、冬季(12月至次年2月)。

利用SPSS 20.0进行回归分析和趋势分析,研究奈曼旗年和季节尺度上气象因子(平均气温、降水量和蒸发量)的变化规律,并建立一元回归方程,以回归系数指示气候变化倾斜率,探究其变化特征。利用Excel 2016进行Mann-Kendal突变分析研究年和季节尺度上气象因子的突变点,具体见王成翔等^[19]的研究,当 $UF>0$ 时,表示序列呈上升趋势,反之,呈下降趋势。当 $UF>$ 临界值线时,表示趋势显著。正向序列 UF 与逆向序列 UB 在置信区间内的交点为突变开始的时间。利用Matlab 2018进行Morlet小波分析研究气象因子在年和季节尺度上变化的周期性,具体理论分析见黄磊等^[20]的研究。利用Origin 9.0作图。

3 结果与分析

3.1 气温的时间变化

3.1.1 气温的年和季节变化趋势

研究区域内1961—2021年平均气温为6.95℃,最高气温出现在2003年,为8.30℃,最低气温出现在1969年,为4.95℃。整个研究时段内气温总体呈现显著的上升趋势($P<0.001$,图2),倾斜率为0.21℃/10a,其气温的增加速率与同期中国(0.24℃/10a)的变化趋势基本一致,但高于全球的变化速率(0.13℃/10a)^[21],表明研究区对全球气候变化较为敏感。四季气温均呈显著增加趋势($P<0.05$),春季、夏季、秋季和冬季的多年平均值分别为

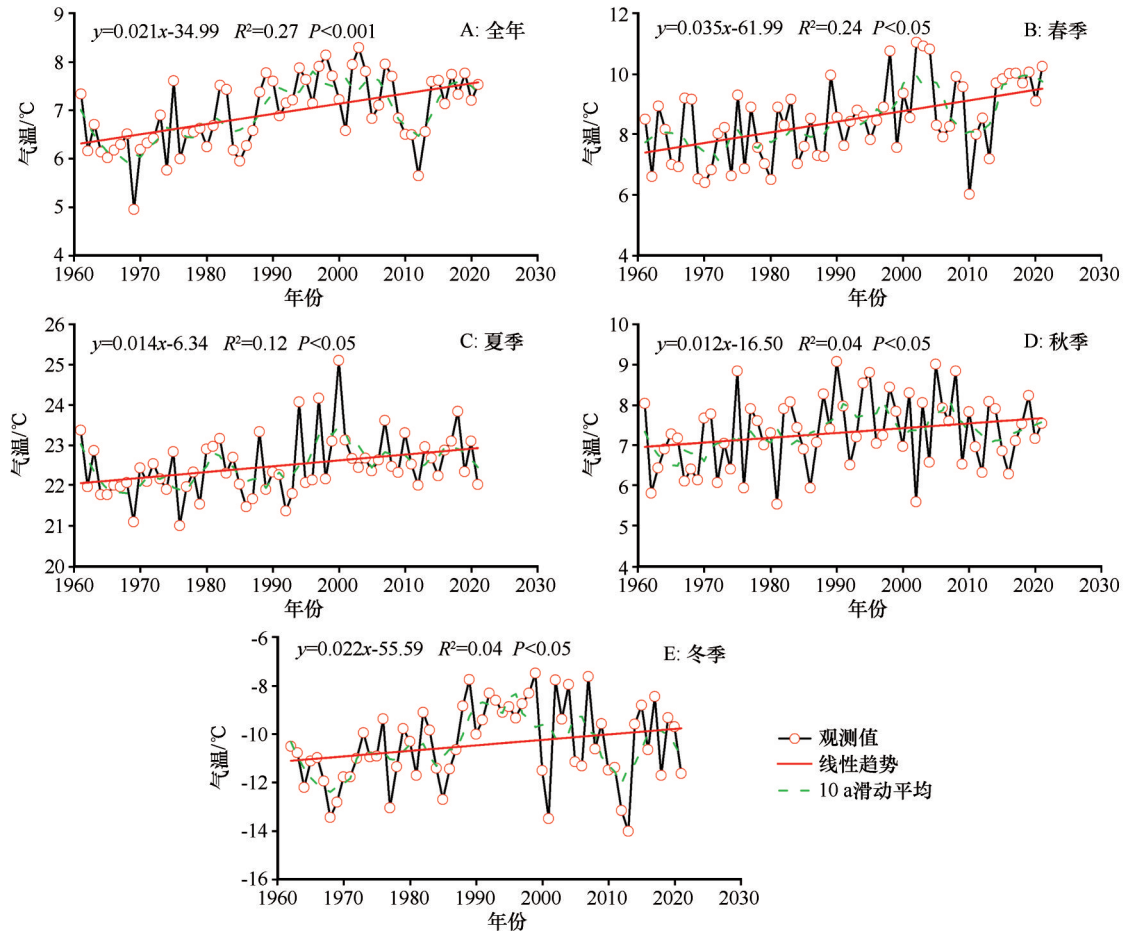


图2 奈曼旗1961—2021年气温的全年和季节变化特征

Fig.2 The annual and seasonal variation characteristics of air temperature in Naiman Banner from 1961 to 2021

8.46、22.49、7.31、-10.49 °C,其变化幅度顺序为春季>冬季>夏季>秋季,倾斜率分别为0.35、0.22、0.14、0.11 °C/10a,表明气温在春季增加最快,冬季次之,夏季和秋季较慢。这与相关研究结果一致^[16,22]。

3.1.2 气温的年和季节突变特征

Mann-Kendal 突变曲线结果表明,1961—2021年气温全年和各季节的突变点均发生在1971年左右(图3),突变点之后均表现为增加趋势,气温出现显著增加的时间段分别为:全年为1990年之后,春季为1997年之后,夏季为2002年之后,秋季为1993—2009年,冬季为1988年之后。各季节气温显著增加趋势出现的时间不同,其中春季和冬季气温显著增加的年份出现比较早,因此增温趋势也最明显,秋季气温显著增加的年份较少,因此其增温也最小。

3.1.3 气温的年和季节周期

为了分析研究区气温在时间序列上的周期变化情况,基于Morlet复小波函数分析奈曼旗气温的周期性变化特征(图4),信号强弱通过小波系数的

大小来衡量,正向系数越大表示气象因子值越大于正常年,负向系数越大表示年气象因子值越小于正常年。小波方差表示时间序列中该尺度周期波动的强弱,即通过小波方差可以查找一个时间序列中起主要作用的周期。1961—2021年奈曼旗气温全年的周期性以3~7、14~23、34~43 a为主,在3个周期内均表现为增—减—增循环交替的变化趋势,同时在34~43 a尺度的存在明显的周期性震荡,表明气温可能呈现出一定的周期性变化。小波方差显示研究区气温的年际变化存在6个峰值,对应6个变化周期,分别为3、9、14、23、34、43、55 a尺度,但是由于本文的研究时段尺度为61 a,故无法确定43~55 a周期变化(下同)。四季气温表现为与全年相似的变化趋势,变化周期以3~7、14~23、34~43 a为主,但是冬季较长时间尺度的震荡周期为23~36 a。这与赵美亮等^[22]对青海省地表温度的研究结论相似,青海省温度变化存在4~7、11~16 a的主要变化周期,其变化趋势也为增—减—增循环交替出现。辽宁

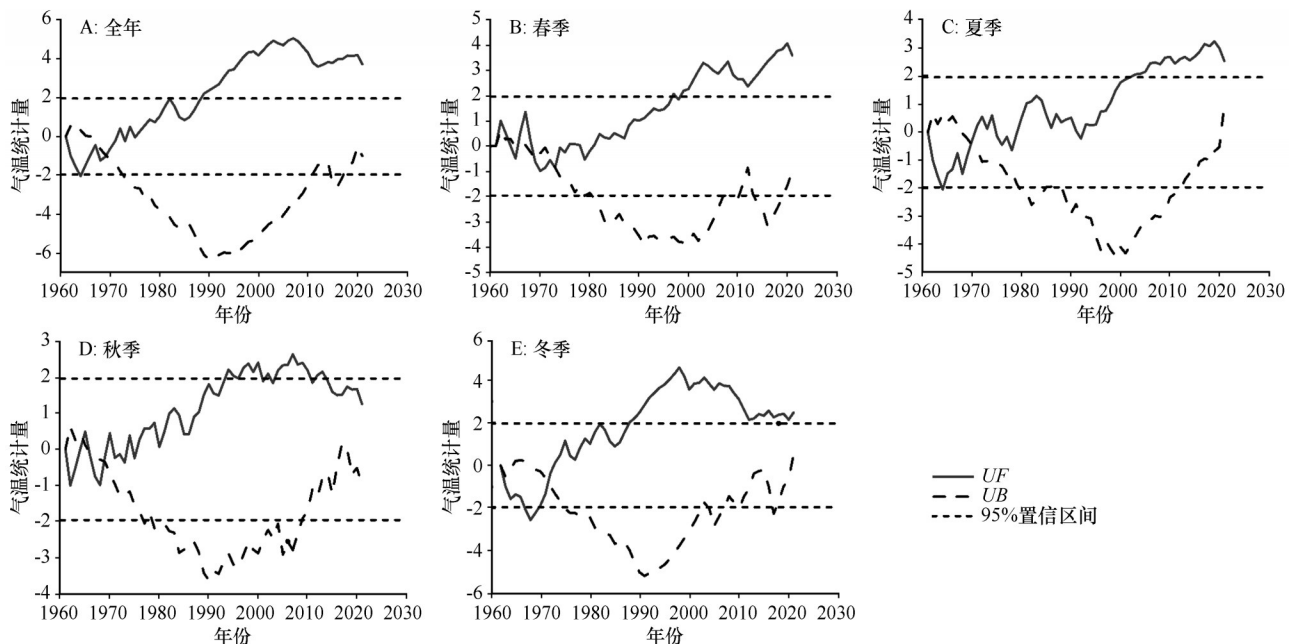


图3 奈曼旗1961—2021年气温的全年和季节Mann-Kendall检验曲线

Fig.3 Mann-Kendall test curves of annual and seasonal air temperature in Naiman Banner from 1961 to 2021

省1960—2016年年地表温度具有30~46、19~25 a的周期变化^[23]。

3.2 降水量的时间变化

3.2.1 降水量的年和季节变化趋势

奈曼旗1961—2021年平均降水量为345.42 mm,最高值出现在1986年,为567.10 mm,最低值出现在2002年,为212.80 mm。整个研究时段内降水量总体呈显著的减少趋势($P < 0.001$),倾斜率为 $-9.2 \text{ mm}/10\text{a}$ (图5)。研究时段内降水量春季、夏季、秋季和冬季的多年平均值分别为53.31、223.76、53.65、4.76 mm。春、夏、秋、冬四季降水量的倾斜率分别为1.48、 -10.10 、 0.09 、 $-0.90 \text{ mm}/10\text{a}$,表明春季和秋季降水量表现为不显著增加趋势,夏季和冬季表现为减少趋势,其中夏季降水量减少趋势不显著,冬季表现为显著的减少趋势($P < 0.05$)。由于该地区的降水主要集中在夏季(70%左右),自然植被开花结果的时间也主要发生在夏季,降水的多少直接影响着种子的形成和植被的生长,夏季降水的减少可能会减少植被种类和增加植被退化的风险,不利于该地区沙漠化的逆转^[17]。

3.2.2 降水量的年和季节突变

降水量的全年突变点发生在1978年和1987年,其值在1987—2000年表现为增加趋势,其余时间段均表现为减少趋势,其中2012—2017年表现为

显著减少(图6)。春季降水量突变点发生在1968、1970、1972年,1961—1968年降水量表现为减小趋势,1972年之后表现为增加趋势,其中1981—1985年显著增加。夏季降水量突变点发生在1966年和1986年,其中1961—1966年表现为增加趋势,其余时段内表现为减小趋势,在2009年之后显著减少。秋季降水量突变点发生在1967、1982、1994年,1961—1967年和2001年以后均表现为减小趋势,其余时段表现为增加趋势。冬季降水量不存在突变点,基本上整个研究时段内均表现为减少趋势,其中2005年之后为显著减少,由此可见,夏季降水量的减少为该地区降水量减少的根本原因,该结论与刘新平等^[17]在该地区的研究结果一致。

3.2.3 降水量的年和季节周期

年和季节(除冬季外)的降水量大体上都存在3~6、8~11、13~23 a和43 a左右的震荡周期(图7)。冬季存在4~7 a和14 a左右的震荡周期,各个周期内均表现为增—减—增循环交替的变化趋势,小波方差显示全年的主周期为10、43 a,春季的主周期为11、20、26、43 a,夏季的主周期为15、43 a,秋季的主周期为6、9、29、43 a,冬季的主周期为4、7、14 a。姚淑霞等^[24]有关该地区降水的研究表明,奈曼旗1970—2010年的全年降水存在6~8、17 a的震荡周期,黄磊等^[20]对沙坡头地区多年降水量的研究表明,该地区1955—2009年降水存在10~12、25~

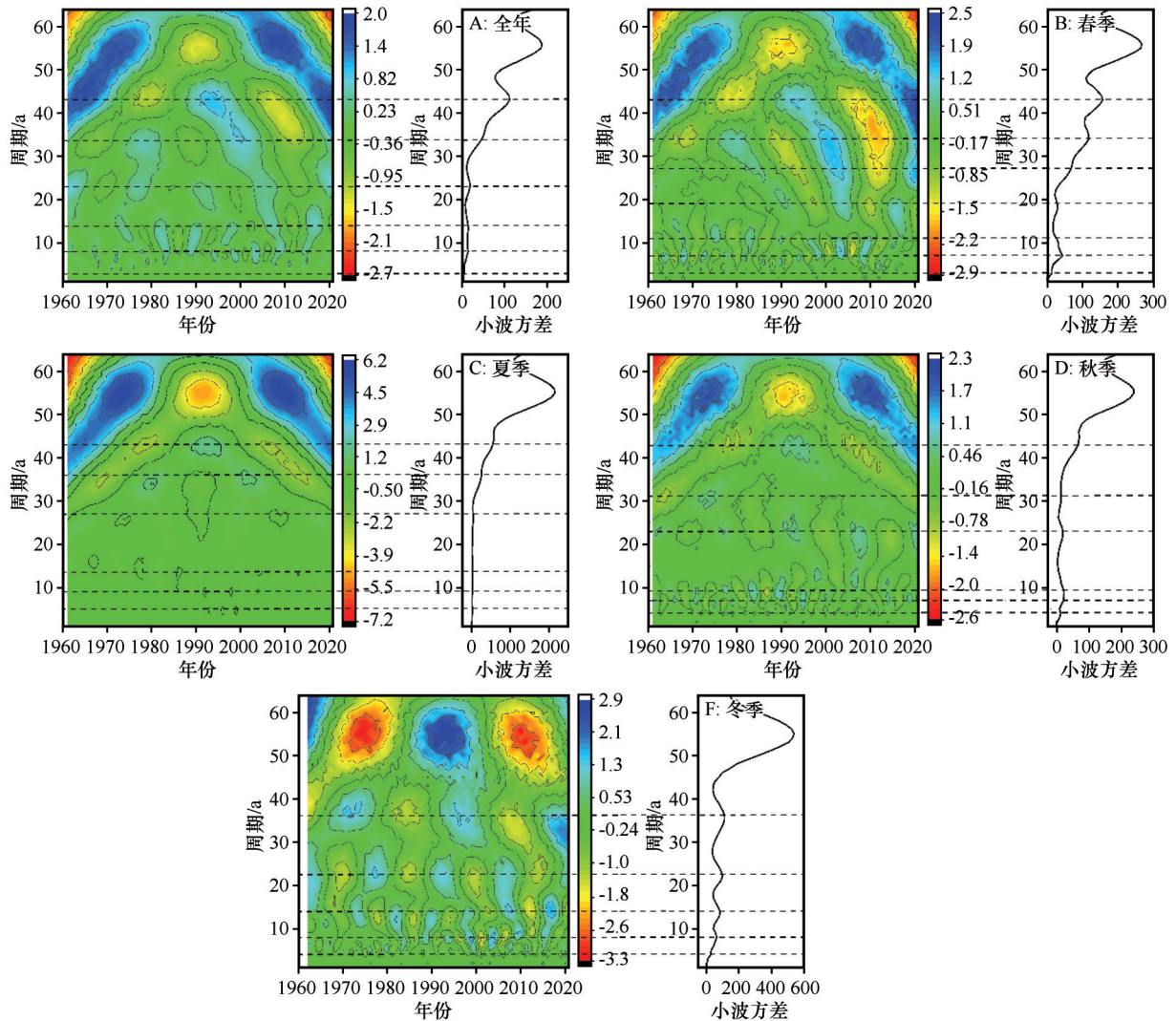


图4 奈曼旗1961—2021年气温全年和季节小波系数实部等值线及方差

Fig.4 The real contour and variance map of annual and seasonal wavelet coefficient of air temperature in Naiman Banner from 1961 to 2021

27、44~47 a 震荡周期,陈仁升等^[25]对河西走廊1953—1999年降水变化的研究表明,其研究时段内降水存在2~4、5~7、11、15~18、21~25、31~41 a 的震荡周期。本研究的结果与以上相关研究的结果相似。

3.3 蒸发量的时间变化

3.3.1 蒸发量的年和季节变化趋势

奈曼旗1966—2021年平均蒸发量为1 861.79 mm,最高值出现在2017年,为2 326.50 mm,最低值出现在1991年,为1 408.00 mm。整个研究时段内蒸发量总体呈不显著增加趋势,倾斜率为32.50 mm/10a(图8)。春季、夏季、秋季和冬季的蒸发量的多年平均值分别为667.23、696.86、375.92、120.90

mm,四季的倾斜率分别为3.60、15.30、7.80、17.20 mm/10a,表明四季蒸发量均表现为增加趋势,但春季和秋季增加量不显著,夏季和冬季表现为显著的增加趋势($P < 0.05$)。本研究结论与国内外众多学者关于蒸发量研究的结论不一致,目前有研究发现蒸发量在全球^[26]、北半球^[27]和中国大部分地区^[28-29]均表现为明显减少趋势,其中太阳总辐射、日照百分率和风速等因素的变化是蒸发量减少的影响因子^[30]。本研究区下垫面的主要土壤类型为风沙土,土壤的保水性差,加之沙地地表几乎无覆盖物和常年风速较大^[31],随着温度(与蒸发量呈不显著正相关, $P > 0.05$,数据未显示)的增加和降水量(与蒸发量呈显著负相关, $P < 0.05$)的减少,其蒸发量增加,本研究中冬季温度和蒸发量呈极显著正相关($P < 0.001$),

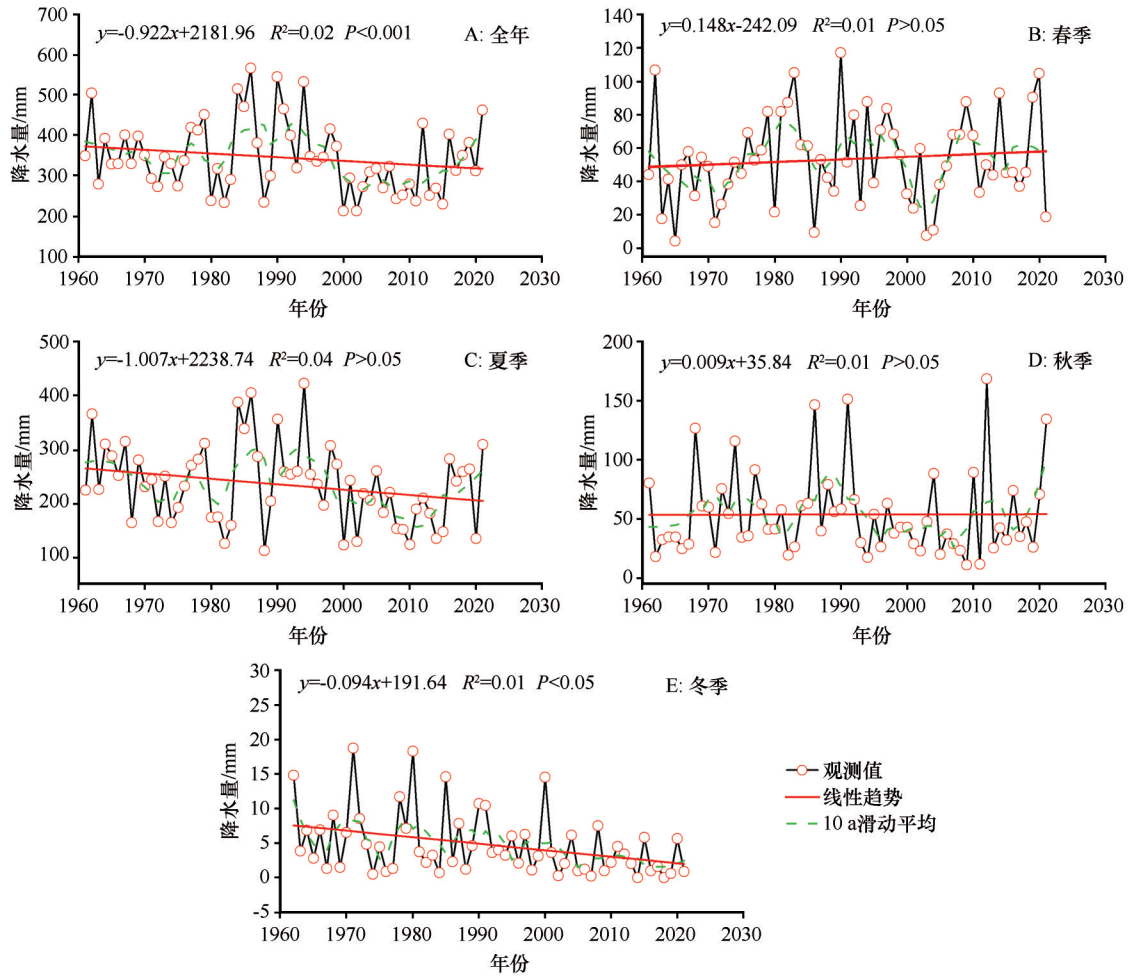


图5 奈曼旗1961—2021年降水量的全年、季节变化特征

Fig.5 The annual and seasonal variation characteristics of precipitation in Naiman Banner from 1961 to 2021

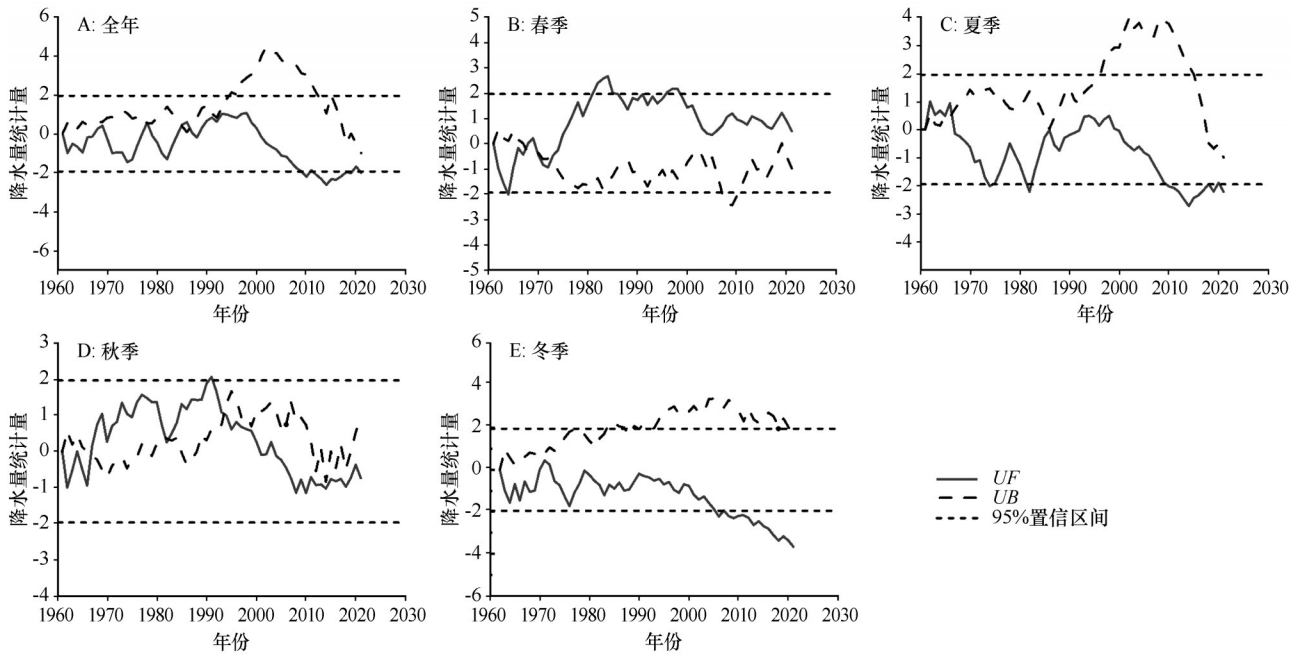


图6 奈曼旗1961—2021年降水量全年和季节的Mann-Kendall检验曲线

Fig.6 Mann-Kendall test curves of annual and seasonal precipitation in Naiman Banner from 1961 to 2021

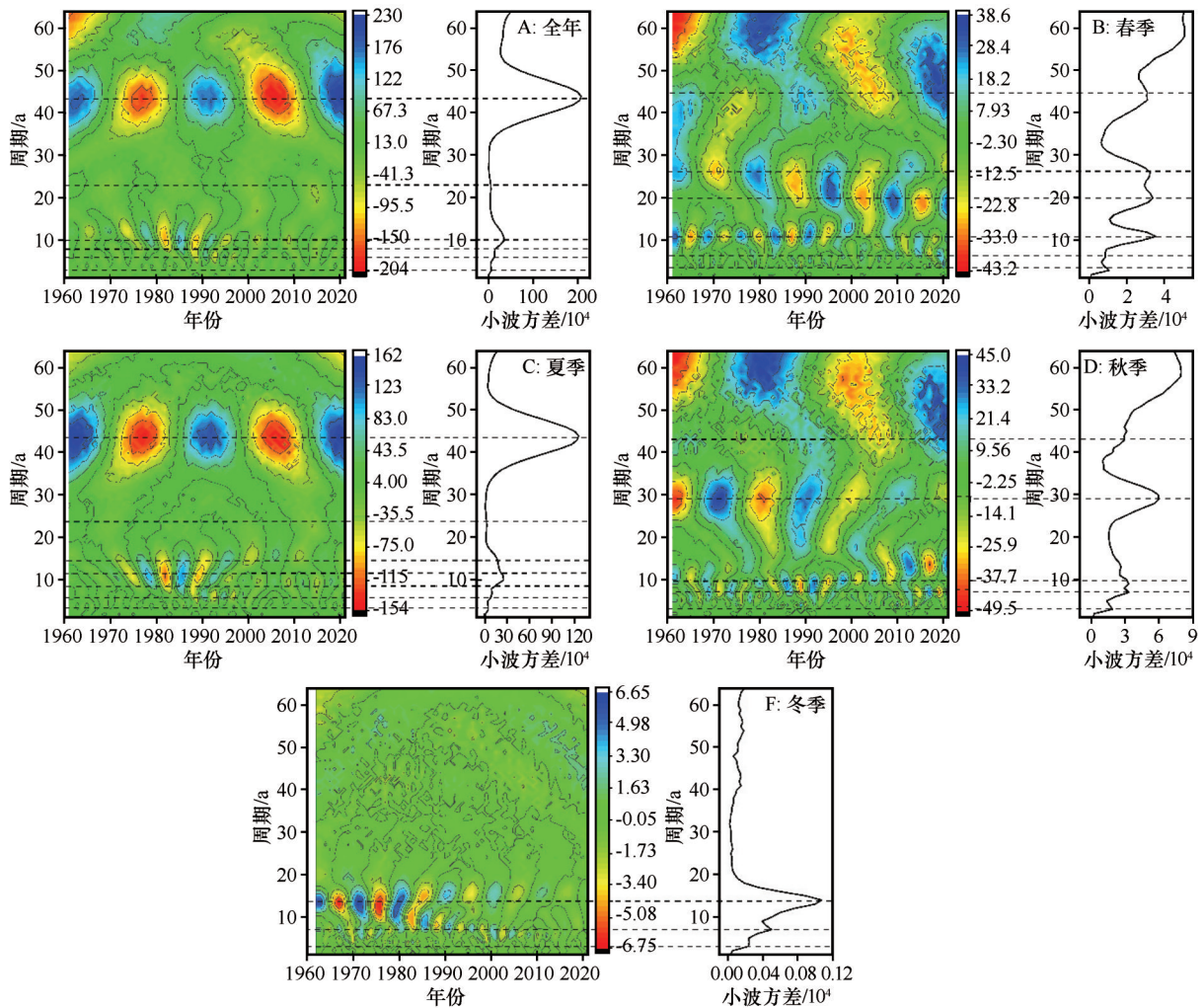


图7 奈曼旗1961—2021年降水量全年和季节小波系数实部等值线及方差

Fig.7 The real contour and variance map of annual and seasonal wavelet coefficient of precipitation in Naiman Banner from 1961 to 2021

夏季降水与蒸发量呈极显著负相关($P < 0.001$),因此夏季降水减少和冬季温度增加可能是引起该地区蒸发量增加的主要原因。

3.3.2 蒸发量的年和季节突变

1966—2021年奈曼旗全年突变点发生在2002、2009年和2013年,蒸发量在1966—2010年为减少趋势,2009年之后为增加趋势,但增加趋势不显著(图9)。四季蒸发量突变点发生的时间分别为:春季为1968年,1966—1968为增加趋势,1968年之后均为减小趋势,其中1974—2001年为显著减小;夏季为1968、1971、1974、1981、1984年和1998年,其中1981—1983年和2005年以后为增加趋势,其余时段内为减小趋势;秋季为2001年,2005年以后为增加趋势,其余时段为减小;冬季分别为1971、1976、1997、2002、2011、2013年,1971—1976年和

2005年以后均为增加趋势,其中2017—2020年为显著增加,其余时段均为减少趋势。

3.3.3 蒸发量的年和季节周期

年和季节的蒸发量大体上都存在5~7、11~16、27、35 a左右的震荡周期(图10),各个周期内均表现为增—减—增循环交替的变化趋势,小波方差显示全年的主周期为27、35 a,春季的主周期为17、27 a,夏季的主周期为13、27、35 a,秋季的主周期为21、35 a,冬季的主周期为11、32、43 a。黄金延等^[32]对鄂尔多斯高原1961—2008年的研究表明该地区蒸发量存在5、13、22 a的震荡周期,丹丹等^[33]对内蒙古科右中旗1964—2010年的研究表明该地区蒸发量仅存在8 a的短震荡周期,曾丹等^[34]对黄土高原1955—1990年的研究表明,神木、李家村、大峡3站蒸发量分别存在28、27、17 a的主周期变化。综观以

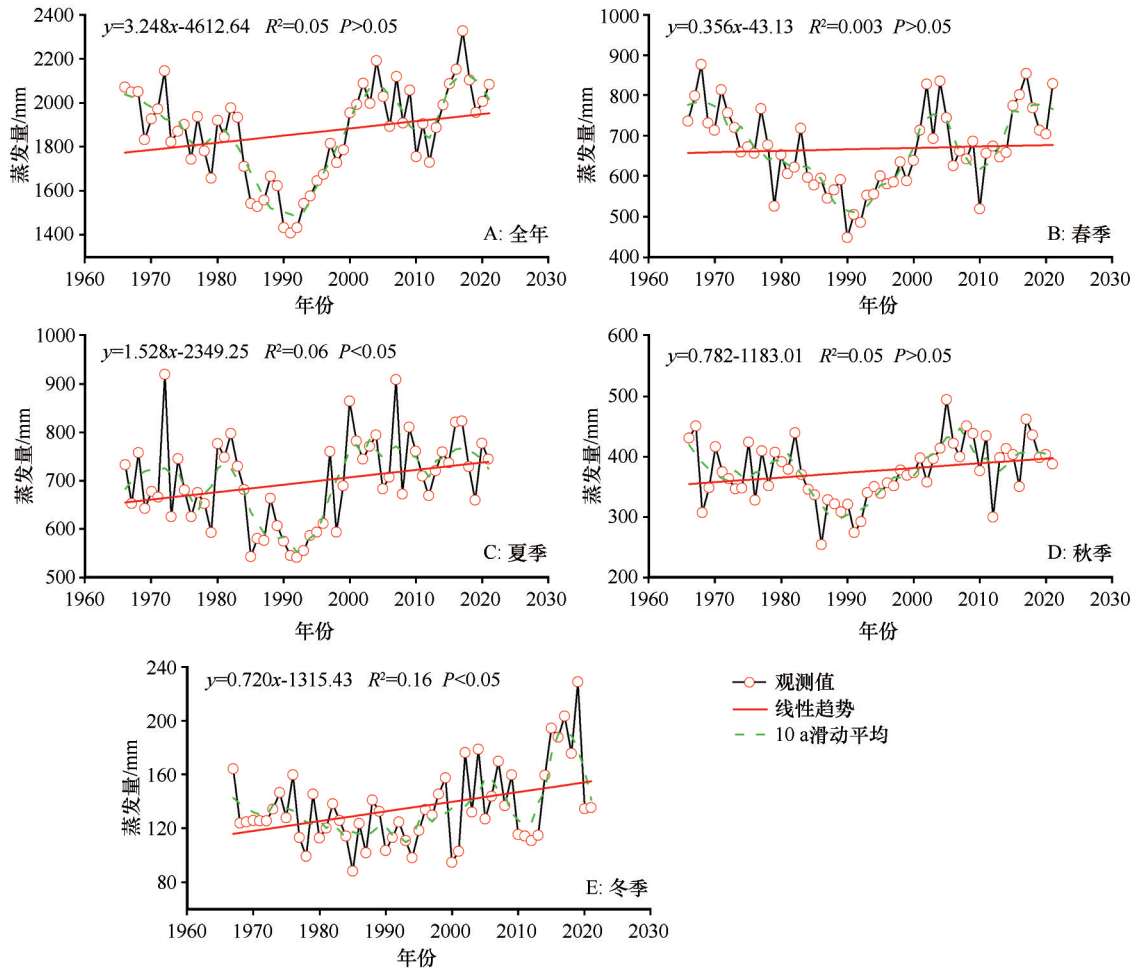


图8 奈曼旗1966—2021年蒸发量全年和季节变化特征

Fig.8 The annual and seasonal variation characteristics of evaporation in Naiman Banner from 1966 to 2021

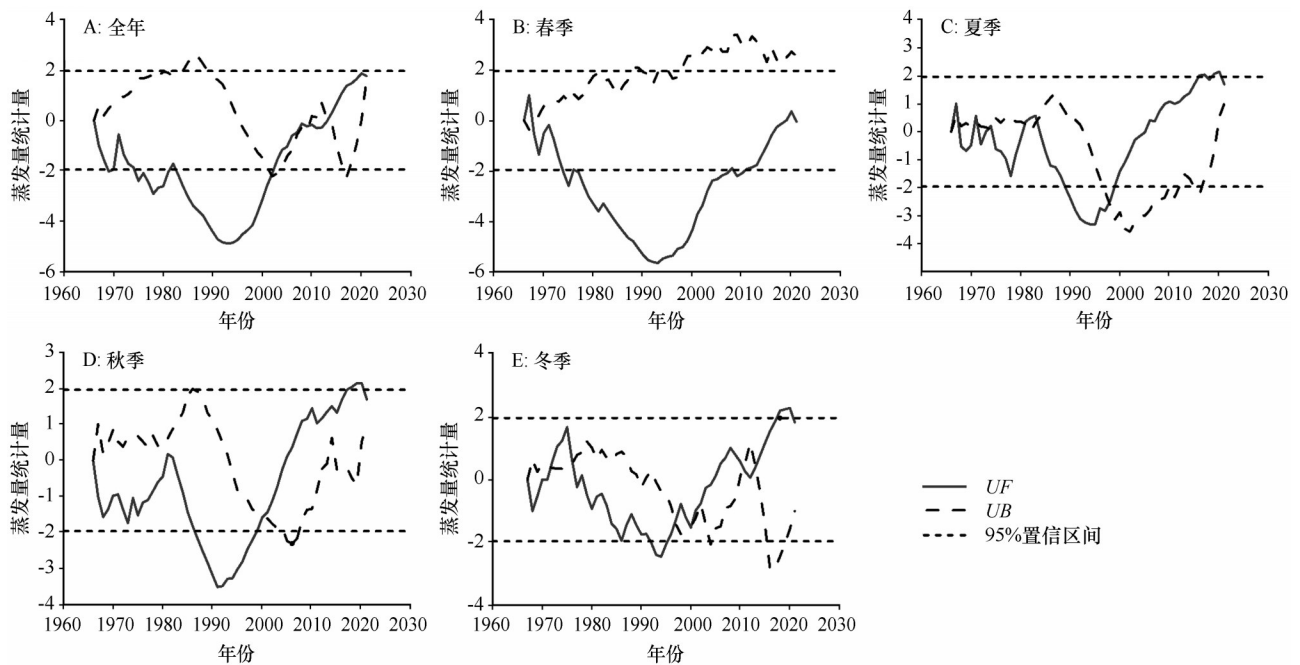


图9 奈曼旗1961—2021年蒸发量全年和季节的Mann-Kendall检验曲线

Fig.9 Mann-Kendall test curves of annual and seasonal evaporation in Naiman Banner from 1966 to 2021

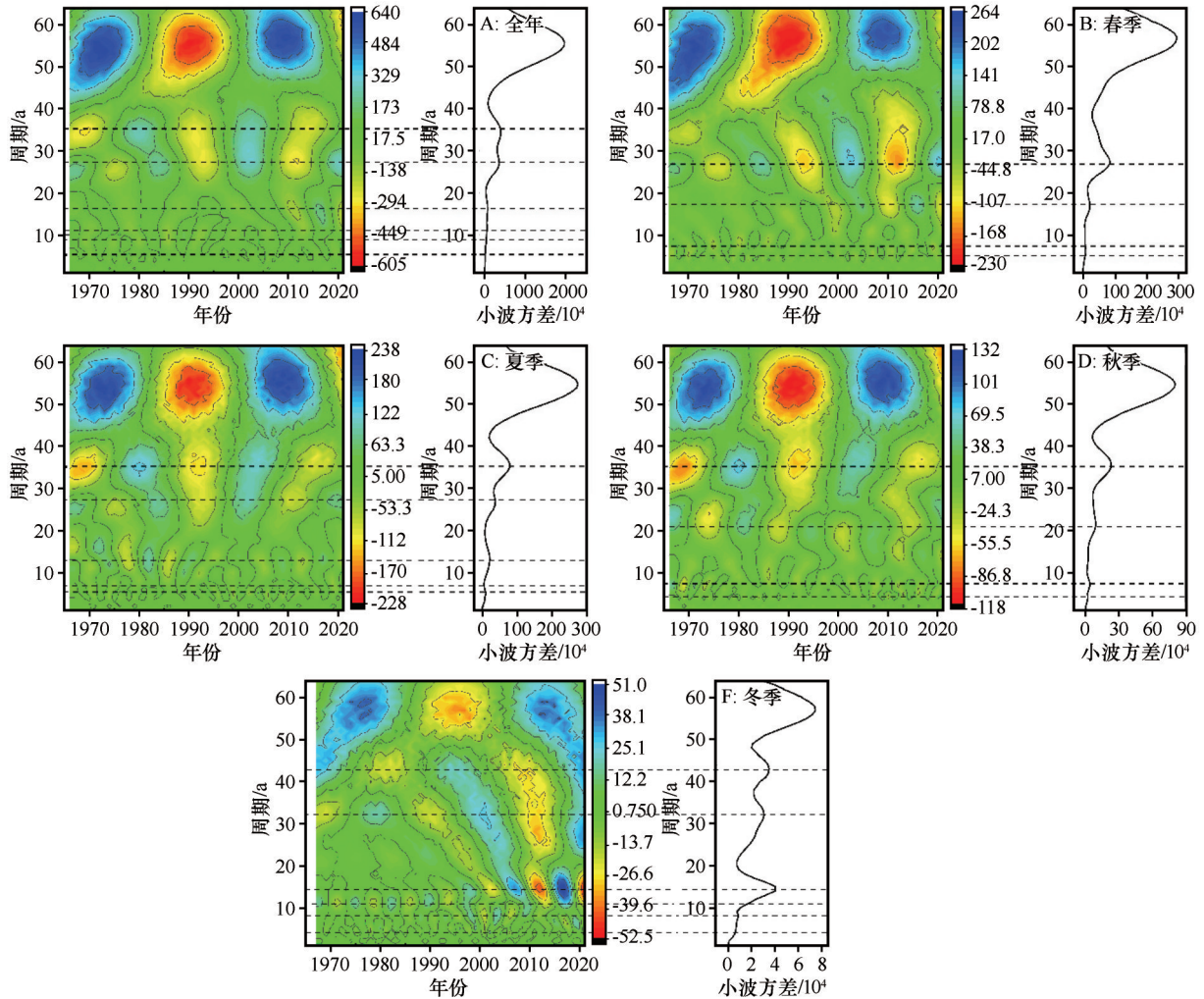


图10 奈曼旗1966—2021年蒸发量全年和季节小波系数实部等值线及方差
 Fig.10 The real contour and variance map of annual and seasonal wavelet coefficient of evaporation in Naiman Banner from 1966 to 2021

上研究,说明不同区域不同时间尺度上蒸发量的变化存在较大差异性。观测时间序列长度的不同,会影响小波分析中正交变换的边界条件,另外由于地理位置及海拔等下垫面因素不同的影响,均会使得不同研究区主要气候要素周期大小存在一定的差异性^[25]。

气象和水文序列的变化主要有3种,即周期、趋势和随机变化,其中海-气相互作用和太阳黑子活动对周期变化起影响作用,全球变化对趋势变化起影响作用,而随机变化则主要受偶然事件的影响^[20,25]。同时,下垫面也对这3种变化有非常重要的影响,尤其是在干旱半干旱区,下垫面对水文序列的影响更为明显^[35]。从水量平衡的角度来看,降水是科尔沁沙地唯一的水分来源,而蒸散则是该地区水资源的最终消失途径,降水和气温是影响蒸发

的主要因子,三者组成了一个动态的水文循环^[25,36]。研究时段内,该地区的降水量逐年减少,蒸发量增加,导致该地区的水分亏缺日益严重,可能会进一步减少该地区的植被盖度和种类组成,对农牧业产生不良的影响。同时有研究表明,气温升高,干旱化趋势明显是科尔沁沙地沙漠化的原因^[11],本研究中气温显著升高,降水量显著减少,蒸发量增加,导致水资源严重亏缺,加剧了干旱化的进程,进而可能诱发该地区沙漠化的扩展。

4 结论

奈曼旗全年气温总体呈现显著的上升趋势($P < 0.001$),增温速率为 $0.21\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,增率与同期中国的变化趋势基本一致,但高于全球。四季气温均表现为显著增加趋势($P < 0.05$),其中春季的温度增加最

快,冬季次之,夏季和秋季气温的增速相对较慢。全年和各季节气温的突变点发生在1971年左右,突变点之后温度开始增加。研究时段内气温存在3~7、14~23、34~43 a的震荡周期。

全年降水量表现为显著的减小趋势($P < 0.001$),减少速率为 $-9.2 \text{ mm}/10\text{a}$ 。季节尺度上,春季和秋季降水量表现为不显著增加趋势,夏季和冬季表现为减少趋势,冬季表现为显著的减少趋势($P < 0.05$)。由于该地区的降水主要在夏季(70%左右),因此夏季降水量的减少是该地区降水量减少的根本原因。全年降水的突变点发生在1978年和1987年,在1987—2000年为丰水年,其余时间段为枯水年。降水量存在3~6、8~11、13~23、43 a左右的震荡周期。

全年蒸发量呈不显著增加趋势($P > 0.05$)。四季蒸发量均表现为增加趋势,其中春季和秋季增加不显著,夏季和冬季显著增加,夏季降水减少和冬季温度增加可能是引起该地区蒸发量增加的主要原因。全年突变点发生在2002、2009、2013年,蒸发量在1966—2010年表现为减少趋势,2009年之后表现为增加趋势。蒸发量存在5~7、11~16、27、35 a左右的震荡周期。

随着气温升高,降水减少,蒸发量增加,加剧了科尔沁沙地干旱化程度,对该地区沙漠化的恢复有不利影响。

参考文献:

- 赵哈林,赵雪.中国北方半干旱地区生态环境的退化及其防治[J].干旱区研究,1993,10(4):44-48.
- 李玉强.沙漠化对沙地生态系统碳氮储量与平衡及能量的影响[D].北京:中国科学院研究生院,2006.
- 张凤荣,周建,徐艳,等.基于地学规律的科尔沁沙地土地整治与生态修复规划方法[J].地学前缘,2021,28(4):35-41.
- 王涛,吴薇,赵哈林,等.科尔沁地区现代沙漠化过程的驱动因素分析[J].中国沙漠,2004,24(5):519-528.
- 李玉霖,赵学勇,刘新平,等.沙漠化土地及其治理研究推动北方农牧交错区生态恢复和农牧业可持续发展[J].中国科学院院刊,2019,34(7):832-840.
- 白美兰,沈建国,裴浩,等.气候变化对沙漠化影响的评估[J].气候与环境研究,2002,7(4):457-464.
- 许端阳,李春蕾,庄大方,等.气候变化和人类活动在沙漠化过程中相对作用评价综述[J].地理学报,2011,66(1):68-76.
- 张桂英,王朝敏,卞仁江,等.科尔沁沙地最典型地区50年气候变化分析[J].中国农学通报,2012,28(23):287-290.
- 李新乐,陆占东,丁波,等.近30年乌兰布和沙漠东北边缘气候变化趋势及周期特征[J].气候变化研究快报,2018,7(2):83-92.
- 渠翠平,关德新,王安志,等.近56年来科尔沁沙地气候变化特征[J].生态学杂志,2009,28(11):2326-2332.
- 杨丽桃.科尔沁沙地沙漠化的气候成因[C]//中国气象学会年会论文集,2006.
- 孟庆兰,赵赫,高军凯,等.科尔沁地区年降水波动与空间分异特征[J].高原气象,2017,36(5):1234-1244.
- 岳祥飞,张铜会,赵学勇,等.科尔沁沙地降雨特征分析:以奈曼旗为例[J].中国沙漠,2016,36(1):120-125.
- 段翰晨,王涛,薛娟,等.基于RS与GIS的科尔沁沙地沙漠化时空演变[J].中国沙漠,2013,33(2):470-477.
- 张桂英,姜秀萍,王丽娟,等.我国最大沙地两个典型区域气温、降水特征对比分析[J].安徽农业科学,2013,41(4):1622-1623.
- 张美杰,春喜,梁阿如娜,等.近60年科尔沁沙地的气候变化[J].干旱区资源与环境,2012,26(6):8-16.
- 刘新平,何玉惠,赵学勇,等.科尔沁沙地奈曼地区降水变化特征分析[J].水土保持研究,2011,18(2):155-158.
- Niu Y Y, Li Y Q, Yun H B, et al. Variations in diurnal and seasonal net ecosystem carbon dioxide exchange in a semiarid sandy grassland ecosystem in China's Horqin Sandy Land[J]. Biogeosciences, 2020, 24: 6309-6326.
- 王成翔,苏志玲,蒋永成,等.基于Mann-Kendall法在Excel中的三明市区灾害分析[J].青海气象,2017(3):80-83.
- 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),2010,46(5):63-66.
- 赵威,韦志刚,郑志远,等.1964—2013年中国北方农牧交错带温度和降水时空演变特征[J].高原气象,2016,35(4):979-988.
- 赵美亮,曹广超,曹生奎,等.1980—2017年青海省地表温度时空变化特征[J].干旱区研究,2021,38(1):178-187.
- 张威,纪然.辽宁省地表温度时空变化及影响因素.生态学报,2019,39(18):6772-6784.
- 姚淑霞,张铜会,赵传成.科尔沁沙地奈曼旗1970—2010年降水的多时间尺度分析[J].中国沙漠,2014,34(2):542-549.
- 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,2001,16(3):339-345.
- Roderick M L, Rotstayn L D, Farquhar G D. On the attribution of changing pan evaporation[J]. Geophysical Research Letters, 2007, 34(17): 1-6.
- Brutsaert W, Parlange M. Hydrologic cycle explains the evaporation paradox[J]. Nature, 1998, 396(6706): 30.
- 左洪超,李栋梁,胡隐樵,等.近40 a中国气候变化趋势及其共同蒸发皿观测的蒸发量变化的关系[J].科学通报,2005,50(11):1125-1130.
- 曾燕,邱新法,刘昌明,等.1960—2000年中国蒸发皿蒸发量的气候变化特征[J].水科学进展,2007,18(3):311-318.
- 金昭贵,滕万里,吴智凤,等.贵州清镇蒸发量变化特征及其影响因素分析[J].贵州科学,2022,40(3):68-74.
- 刘旭.科尔沁沙地坨甸相间地区土壤蒸发的野外试验与动态模拟[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2010.
- 黄金廷,王文科,侯光才,等.鄂尔多斯高原近48年降水及蒸

- 发特征分析[J].干旱区资源与环境,2011,25(9):145-148.
- [33] 丹丹,春喜.近50年来科右中旗主要气象要素的小波分析[J].内蒙古师范大学学报(自然科学汉文版),2013,42(5):577-582.
- [34] 曾丹,崔晨风,李敏.人民黄河黄土高原蒸发量的小波多时间尺度分析[J].人民黄河,2014,36(2):37-39.
- [35] 王晓勇,朱立峰,董佳秋,等.干旱-半干旱区下垫面变化对地下水水位的影响[J].西北地质,2019,52(2):227-235.
- [36] 吕德燕.半干旱沙区流动沙丘在区域水量平衡中的作用[D],烟台:鲁东大学,2016.

The variation characteristics of main meteorological factors in Horqin Sandy Land during 1961–2021: A case study of Naiman Banner

Niu Yayi^{1a}, Liu Wei^{1a,2}, Dong Jiarui³, Lian Jie^{1b}, Wang Xuyang^{1b,2}, Li Yuqing^{1b,2}

(1. a. Information Center / b. Naiman Desertification Research Station, Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Naiman Meteorological Bureau of Inner Mongolia, Tongliao 028300, Inner Mongolia, China)

Abstract: To analyze the variation characteristics of major meteorological factors in Horqin Sandy Land under the background of global climate change. Based on monthly meteorological data, the trend analysis, Mann-Kendall mutation point analysis and wavelet analysis were used to analyze the multi-scale temporal variation characteristics of main meteorological factors (temperature, precipitation and evaporation) in Naiman Banner from 1961 to 2021. The results showed that: under the global climate change, the major meteorological factors in the study area changed significantly, and the temperature increased significantly at a rate of 0.21 °C/10a, the precipitation decreased significantly at a rate of -9.2 mm/10a, and the evaporation did not increase significantly at a rate of 32.50 mm/10a. From the seasonal variation, in spring and autumn, the temperature, precipitation and evaporation showed an increasing trend, while in summer and winter, temperature and evaporation increased and precipitation decreased. The time of mutation point of each meteorological factor was different, among which the temperature was about 1971, the precipitation was 1978 and 1987, and the evaporation were 2002, 2009 and 2013. All meteorological factors showed obvious periodic changes during the study period, including temperature of 3–7 a, 14–23 a and 34–43 a, precipitation of 3–6 a, 8–11 a, 13–23 a and 43 a, and evaporation of 5–7 a, 11–16 a, 27 a and 35 a.

Key words: temperature; precipitation; evaporation; mutation point; periodicity