

内蒙古半湿润与半干旱过渡区气候干湿变化差异研究 ——以赤峰市与呼伦贝尔市对比为例

何文鑫^{1,2}, 徐玉霞^{1,2}, 马凯^{1,2}, 齐建锋^{1,2}, 陈倩^{1,2}

(1. 宝鸡文理学院 地理与环境学院, 陕西 宝鸡 721013; 2. 陕西省灾害监测与机理模拟重点实验室, 陕西 宝鸡 721013)

摘要: 利用1978–2018年赤峰市与呼伦贝尔市共12个气象站点的气象观测数据,运用线性回归、滑动平均等方法分析两市降水及气温的变化特征,并结合M–K检验法以及Morlet小波分析法,对比分析两市气候干湿变化所带来的影响。结果表明:在气温方面,1978–2018年赤峰市与呼伦贝尔市年平均气温均呈波动上升趋势,上升增率分别为0.11、0.25℃/10a,两市年均气温均在1982年发生突变,年均气温变化主周期分别为14和10a;在降水方面,赤峰市年降水量增率为2.43 mm/10a,呼伦贝尔市为–9.76 mm/10a;夏季降水倾向率最为明显,两市分别为6.71、–11.09 mm/10a,两市年降水量均发生了多次突变,年降水量变化主周期分别为12和8a;1978–2018年赤峰市气候向暖湿化发展,呼伦贝尔市气候则趋向暖干化,这对于处于农牧分界地带的两市农业生产有较大的影响,适时制定科学合理的农牧业规划十分必要。

关键词: 气候干湿变化; 半湿润半干旱过渡区; Mann–Kendall 突变分析; 周期分析; 赤峰市; 呼伦贝尔市

中图分类号: P468.0⁺2

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2020)05-0110-10

Variations of dry and wet climate in the semi-humid and semi-arid transition zone of Inner Mongolia:

Taking the comparison between Chifeng and Hulun Buir as an example

HE Wenxin^{1,2}, XU Yuxia^{1,2}, MA Kai^{1,2}, QI Jianfeng^{1,2}, CHEN Qian^{1,2}

(1. College of Geography and Environment, Baoji University of Arts and Sciences, Baoji 721013, China;

2. Key Laboratory of Disaster Monitoring and Mechanism Simulation of Shaanxi Province, Baoji 721013, China)

Abstract: The observation data of 12 meteorological stations in Chifeng City and Hulun Buir City from 1978 to 2018 were used to analyze the variation characteristics of precipitation and temperature in the two cities with methods of linear regression and sliding average. Moreover, the effects of dry and wet climate changes in the two cities were compared and analyzed using M–K test method and Morlet wavelet analysis method. The results showed that in terms of temperature, the average annual temperature of Chifeng and Hulun Buir showed a trend of fluctuated increase from 1978 to 2018, with the increase rates of 0.11 °C/10a and 0.25 °C/10a, respectively. The average annual temperature of the two cities changed dramatically in 1982, and the main cycle of average annual temperature change was 14 a and 10 a, respectively. In terms of precipitation, the increase rate of annual precipitation in Chifeng was 2.43 mm/10a, and that in Hulun Buir was –9.76 mm/10a, with the highest rate of precipitation inclination occurred in summer, which were 6.71 mm/10a and –11.09 mm/10a, respectively. The annual precipitation of the two cities has undergone several abrupt changes, and the main change cycles of annual precipitation were 12 a and 8 a, respectively. From 1978 to 2018, the climate of Chifeng City became warmer and wetter,

收稿日期:2019-12-11; 修回日期:2020-06-12

基金项目:陕西省社科界重大项目(2019C004); 陕西省教育科学十三五规划课题(SGH16H168); 宝鸡文理学院校级创新科研项目(YJSCX19YB10); 宝鸡文理学院校级重点项目(ZK2018009); 宝鸡文理学院研究生创新科研项目(YJSCX18YB04); 宝鸡文理学院院级大创项目(2018DHDC01); 宝鸡文理学院大学生创新创业训练计划项目(2017dc014); 陕西省重点学科自然地理学项目。

作者简介:何文鑫(1995-),男,甘肃定西人,硕士研究生,研究方向为气候变化与水循环。

通讯作者:徐玉霞(1978-),女,陕西榆林人,副教授,研究方向为气候变化与区域防灾减灾。

whereas that of Hulun Buir City turned warmer and drier. These phenomena had a great impact on the agricultural production of the two cities located in the borderline between the lands of agriculture and animal husbandry. Therefore, it is necessary to formulate timely and practical plans for the agriculture and animal husbandry of these two cities.

Key words: dry and wet climate change; semi-humid and semi-arid transition zone; Mann – Kendall abrupt change analysis; cyclical analysis; Chifeng City; Hulun Buir City

1 研究背景

工业革命以来,全球气温呈快速升高趋势,对人类的生产和生活产生了重要影响,联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)相继五次完成了评估报告^[1]。中国是受全球气候变化影响最严重的国家之一,积极参与应对全球气候变化对于我国半湿润半干旱过渡区农业发展有重要现实意义。

内蒙古自治区东西跨经度约 30° ($97^{\circ}12'E \sim 126^{\circ}04'E$),东西气候差异大,从东到西内陆水热条件递减。本文所选取的研究区赤峰市和呼伦贝尔市正处于400 mm等降水量线东西两侧,是季风区与非季风区的过渡区,也是农牧交错地带,选取该区研究我国干旱区与半干旱区气候变化有一定的代表性。已有学者对内蒙古自治区的气候变化进行了研究,代海燕等^[2]通过分析内蒙古地区1971–2016年降水和潜在蒸散量以及湿润度在气温突变前后的倾向率和差值变化,得出该区域主要植被类型干湿环境演变的时空变化特征;王春燕等^[3]从气温、降水等因子的变化特征,对比分析了阿拉善盟和呼伦贝尔市的气候差异;李夏子等^[4]通过对内蒙古自治区牧草生长潜力计算分析得出,降水量对牧草气候生产潜力起主导作用;王旭升等^[5]从气候变化对地下水的影响进行分析,提出了合理利用和保护地下水的建议。李虹雨等^[6]基于内蒙古自治区1951–2014年气温和降水数据,运用气候倾向率、中心聚类等方法对内蒙古自治区气温和降水特征进行分析,发现内蒙古自治区年降水量整体呈下降趋势,降水量随纬度而变化,纬度越高其变化越大,而年平均气温整体呈上升趋势,纬度越高气温变化越小,最低气温升高是内蒙古自治区气候变暖的首要原因;路云阁等^[7]利用小波变换对内蒙古自治区1956–1995年的气温和降水特征进行分析,表明内蒙古自治区气温和降水量上升时期主要是20世纪60年代初和90年代初,整体表现为由暖湿向暖干转变,气候在1994年之后最为干燥。上述学者从多个气候因子的变化特征着手,分析了内蒙古自治区气候变化特征及其对该区干湿环境演变、农牧业发展、生产生活等的影响,可为研究气候变化带来的后续效应提供参考。

综合已有研究也发现了以下问题:(1)对东西横跨经度约 30° 的内蒙古自治区来说,缺乏对其东、西气候变化差异的对比研究;(2)已有研究对于内蒙古自治区气候变化趋势的结论不统一;(3)缺乏对年代际气候变化趋势和各季节气候变化趋势差异的对比研究;(4)研究所用数据多为2016年以前。鉴于此,本文采用线性回归、Mann – Kendall(M – K)检验法以及借助Morlet小波分析等方法,从年、年代际、各季节时间尺度为出发点,以赤峰市与呼伦贝尔市为例,探讨并比较了1978–2018年两市气温和降水量的变化趋势、突变差异以及气候周期性变化规律,研究选取的两市为典型的半湿润与半干旱过渡区和农牧交错地带,以期为该区水土保持治理、生态环境修复以及农牧业发展规划等提供基础支撑。

2 数据来源与研究方法

2.1 研究区概况

赤峰市位于内蒙古自治区东南部,与河北、辽宁两省相邻,多年平均气温为 7.75°C ,属温带大陆性季风气候,是内蒙古重要的粮食主产区之一,大部分地区年均降水量为350~450 mm,是我国多条地理界限的过渡区,如半湿润与半干旱过渡区、400 mm等降水量线过渡区等。呼伦贝尔市位于内蒙古自治区东北部,是重要的农牧产品主产区,南部与兴安盟相连,东部相邻黑龙江省,北和西北部与俄罗斯接壤,西和西南部同蒙古国交界,多年平均气温为 -0.58°C ,多年平均降水量为349.3 mm。研究区地理位置见图1。

2.2 数据来源

数据选自中国气象科学数据共享网(<http://data.cma.cn>)1978–2018年气象数据,利用所选赤峰市4个站点(林西站、宝国图站、翁牛特旗站及赤峰站)和呼伦贝尔市8个站点(海拉尔站、小二沟站、额尔古纳站、扎兰屯站、图里河站、满洲里站、新巴尔虎左旗站及新巴尔虎右旗站)的月降水量、月平均气温数据进行算术平均统计分析。所选取的研究区气象站点分布见图1。

2.3 研究方法

运用线性回归和滑动平均分析了1978–2018

年赤峰市和呼伦贝尔市的年平均气温、气温 5 a 滑动平均、年降水量、降水量 5 a 滑动平均以及各季节降水量逐年变化趋势;使用 Mann - Kendall (M - K) 检验法^[8-10]进行趋势检验,假设 $X_i(t = 1, 2, \cdots, n)$ 为一时间序列,先确定整个序列的对偶数的个数 P , 其计算公式如下:

$$P = \sum_{i=1}^k r_i \quad (k = 1, 2, \cdots, n) \quad (1)$$

$$r_i = \begin{cases} 1 & (x_i < x_j) \\ 0 & (x_i \geq x_j) \end{cases} \quad (j = 1, 2, \cdots, i) \quad (2)$$

再根据对偶数的个数 P 计算统计量 U :

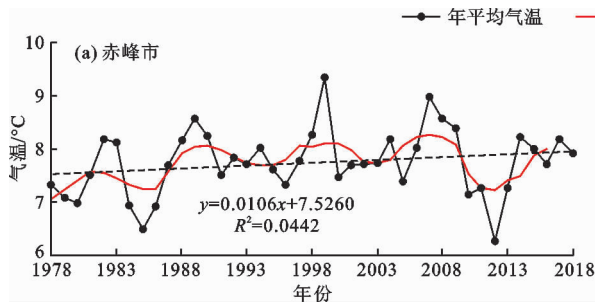
$$U = \left(\frac{4P}{n(n-1)} - 1 \right) \sqrt{\frac{2(2n+5)}{9n(n-1)}} \quad (3)$$

U 为正值表示序列呈增加趋势,为负值表示呈减少趋势。在给定显著性水平 α 后,当 $|U| > U_{\alpha/2}$ 时,表明序列的变化趋势显著,否则表明变化趋势不显著。借助 Morlet 小波分析法^[11-15]揭示气温及降水量在时间序列上的不同变化周期。

3 结果与分析

3.1 气温变化

3.1.1 气温年际及年代际变化趋势



2018 年赤峰市和呼伦贝尔市的年平均气温变化趋势。由图 2 可看出,该时段两市年均气温呈波动上升趋势,上升倾向率分别为 0.106、0.275℃/10a,赤峰市年均气温最高值出现在 1999 年(9.345℃),最低值出现在 2012 年(6.258℃),二者相差达 3.087℃;从气温 5 a 滑动平均来看,赤峰市气温变化趋势经历了 4 个“峰值”和“谷值”,大致以 10 a 为一个周期。1978 - 2018 年呼伦贝尔市年均气温大体经历了快速上升 - 平稳波动 - 迅速下降 - 快速回升的过程,从 2014 年开始又有所上升,年均气温最低值出现在 1984 年(-2.450℃),最高值出现在 2007 年(1.258℃)。

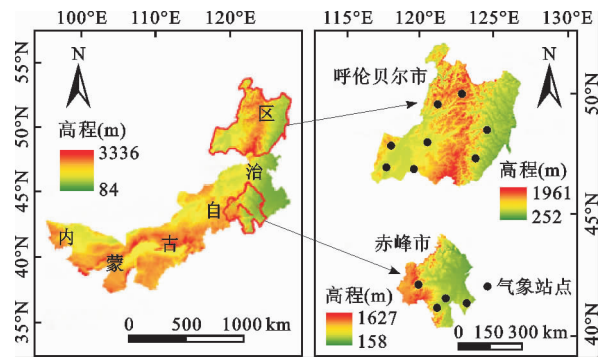


图 1 赤峰市和呼伦贝尔市地理位置及气象站点分布

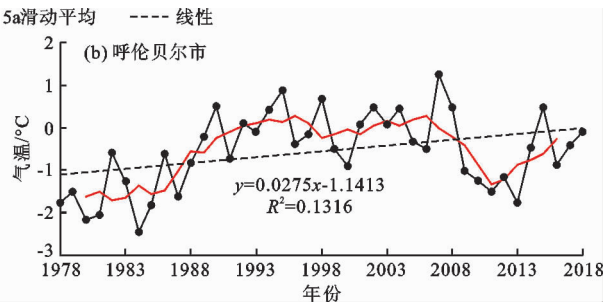


图 2 1978 - 2018 年赤峰市和呼伦贝尔市年均气温变化

在研究时段内(1978 - 2018 年),以年代际为划分尺度^[16]分为 4 个年代际,各年代际赤峰市和呼伦贝尔市平均气温见表 1。

表 1 1978 - 2018 年赤峰市和呼伦贝尔市年代际平均气温 /℃

时段(年份)	赤峰市	呼伦贝尔市
1978 - 1989	7.50	-1.41
1990 - 1999	7.96	0.07
2000 - 2009	8.01	0.12
2010 - 2018	7.53	-0.89

由表 1 可以看出,赤峰市在前 3 个年代际的平均气温均为上升趋势,尤其在 2000 - 2009 年年均温突破 8℃,最近一个时间段增温趋势回落;呼伦贝尔

市在前 3 个时间段的平均气温呈上升趋势,且上升趋势明显,近一个时间段内年均气温增幅放缓。可见两市气温变化趋势在同一年代际内趋同。

3.1.2 气温季节变化趋势 图 3 和 4 分别为 1978 - 2018 年赤峰市和呼伦贝尔市各季节平均气温变化趋势,并将 1978 - 2018 年赤峰市和呼伦贝尔市多年平均气温和各季节平均气温及倾向率列于表 2 进行对比。由图 3、4 和表 2 可以看出,赤峰市春季增温趋势较为明显,气温升高倾向率为 0.304℃/10a,夏、秋两季略有增温趋势,而冬季(12 月 - 次年 2 月^[17])气温变化甚微。呼伦贝尔市夏季增温倾向率为 0.477℃/10a,高于全国平均水平,增温趋势明显,春、秋两季增温倾向率分别为 0.413、0.258

℃/10a, 冬季气温呈小幅降低趋势, 倾向率为 $-0.145\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 。赤峰市多年平均气温和各季节平

均气温均高于呼伦贝尔市, 而呼伦贝尔市年均气温和各季节平均气温的升高倾向率大于赤峰市。

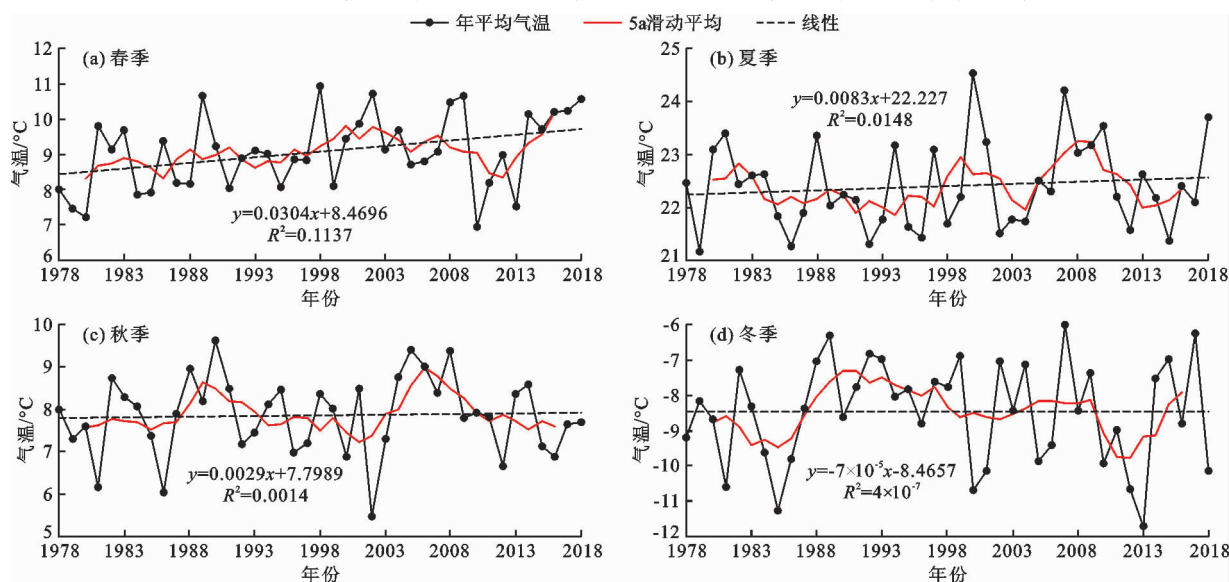


图3 1978—2018年赤峰市不同季节平均气温变化

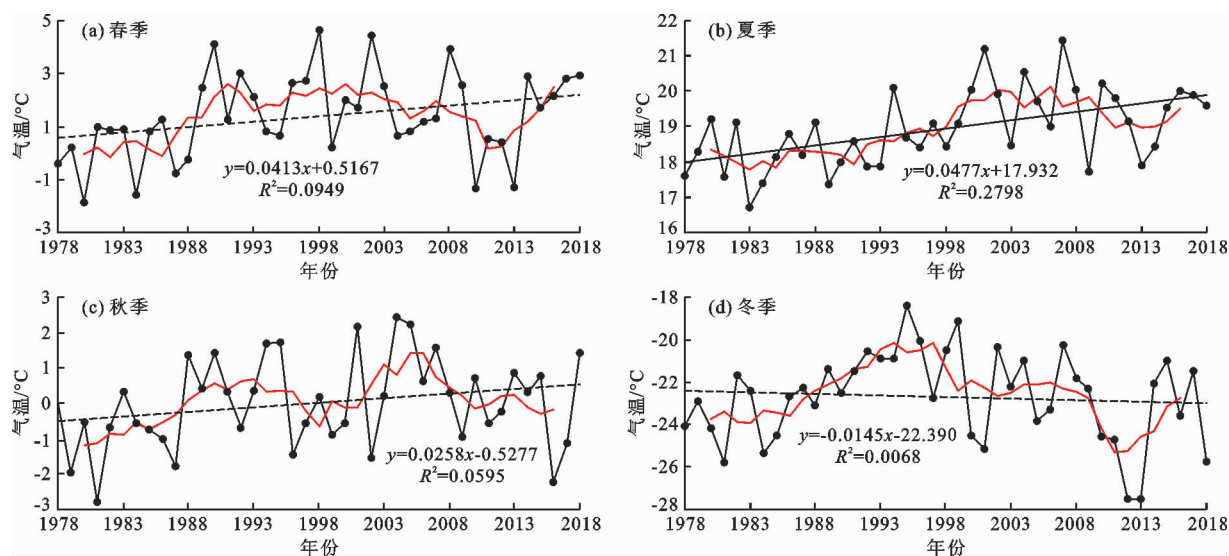


图4 1978—2018年呼伦贝尔市不同季节平均气温变化

3.1.3 年均气温突变分析 1978—2018年赤峰市年均气温 Mann-Kendall 突变检验结果如图5所示。由图5可见, 1978—1981和1984—1988年 UF 统计值小于0, 年均气温处于下降趋势, UF 统计值从1988年大于0, 说明年均气温为升高趋势; 曲线 UF 和曲线 UB 在0.05显著性临界线范围内存在3个交点, 分别交于1982、1984和1987年, 对这3个可能的突变年份进行滑动 t 验证^[18-20], 验证结果得出1982年发生突变, 年均气温由降低到逐渐升高, 1982—2018年多年均气温为 7.80°C , 比研究时段内多年平均气温略高 0.49°C 。

1978—2018年呼伦贝尔市年均气温 Mann-Kendall

Kendall 突变检验结果如图6所示。由图6可见, UF 曲线从1990年超出0.05显著性置信区间 ($U_{0.05} = 1.96$), 甚至超过0.001显著性水平 ($U_{0.001} = 2.56$), 说明气温变暖趋势显著。1980—1981和1984—1985年 UF 统计值小于0, 年平均气温处于下降趋势; UB 曲线在1978—1990、2010—2015以及2016—2018年这3段时间内处于下降趋势, 其余年份大都为上升趋势; 曲线 UF 与曲线 UB 在0.05显著性临界线范围内存在3个交点, 分别交于1982、1984和1985年, 经滑动 t 检验年平均气温在1982年存在显著的突变, 年均气温由降低到逐渐升高, 1982—2018年多年均气温为 -0.42°C , 比研究时段内多年

平均气温高 0.14°C , 突变结果较为显著。

表 2 1978—2018 年赤峰市和呼伦贝尔市多年平均气温和各季节平均气温及倾向率对比

城市	季节	平均气温/ $^{\circ}\text{C}$	倾向率/ $(^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1})$
赤峰	多年	7.31	0.106
	春季	9.07	0.304
	夏季	22.40	0.083
	秋季	7.86	0.029
	冬季	-8.47	-7×10^{-5}
呼伦贝尔	多年	-0.56	0.275
	春季	1.38	0.413
	夏季	18.93	0.477
	秋季	0.01	0.258
	冬季	-22.70	-0.145

3.1.4 年均气温变化周期分析 1978—2018 年赤峰市和呼伦贝尔市年均气温 Morlet 小波分析分别见图 7 和 8。

由图 7 可看出,赤峰市年均气温变化具有 2 种尺度的周期,即 $6 \sim 9 \text{ a}$ 和 $13 \sim 16 \text{ a}$ (图 7(a)),这与代海燕等^[21]研究的内蒙古干湿环境演变的气温变化周期基本一致。在 8 和 14 a 处小波方差出现峰值(图 7(b)),表明本区域在研究时段内年平均气温存在 8 和 14 a 的周期,其中 14 a 最为显著,为第一主周期,8 a 对应第二周期,这 2 类周期决定了赤峰市年均气温序列的周期性变化特征。

由图 8 可以看出,呼伦贝尔市年平均气温周期交替变化十分强烈,经历了“正—负—正”的交替过程,其中,2008—2018 年变化最为强烈,年平均气温变化具有 2 种尺度的周期,即 $5 \sim 7 \text{ a}$ 和 $9 \sim 12 \text{ a}$ (图 8(a))。在 6 和 10 a 处小波方差出现峰值(图 8(b)),表明呼伦贝尔市在研究时段内年平均气温存在 6 和 10 a 的变化周期,10 a 周期最为显著,为第一主周期,6 a 为第二主周期。

3.2 降水量变化

3.2.1 降水量年际及年代际变化趋势 1978—2018 年赤峰市和呼伦贝尔市年降水量变化见图 9。由图 9(a)可以看出,1978—2018 年赤峰市年降水量大致在 400 mm 上下波动,符合该地处于半湿润半干旱过渡区^[22]的特点,降水量最大值为 558 mm(1985 年),最小值为 234 mm(1988 年),二者相差 324 mm;研究时段内降水量呈增大趋势,倾向率为 $2.433 \text{ mm}/10\text{a}$;从 5 a 滑动平均来看,降水量在 20 世纪 70 年代末至 80 年代末大都低于 400 mm,1991

—1999 年年降水量高于平均值,之后略有下降,从 2010 年开始年降水量波动恢复到平均水平。由图 9(b)可以看出,1978—2018 年呼伦贝尔市年降水量有波动下降趋势,大致在 350 mm 降水量上下波动,最大值为 619.1 mm(2013 年),最小值为 124.5 mm(1986 年),二者相差达 494.6 mm;研究时段内降水量变化倾向率为 $-9.756 \text{ mm}/10\text{a}$;从降水量 5 a 滑动平均来看,该曲线整体呈波动下降趋势。

1978—2018 年赤峰市和呼伦贝尔市年代际平均降水量见表 3。由表 3 可知,赤峰市除 2000—2009 年年均降水量较少,其他时间段均呈上升趋势,尤其在 1990—1999 年年均降水量增大到 438.49 mm,高于 400 mm 等降水量线西侧均值,经过 2000—2009 年下降之后,最近一个时段又恢复到 405.41 mm,接近多年平均水平,表明赤峰市降水量总体呈增大趋势;呼伦贝尔市 1990—1999 年年均降水量为 4 个时间段内的最高值,其他 3 个时间段内年均降水量在 350 mm 上下波动。呼伦贝尔市大部分区域处于 400 mm 等降水量线西侧,降水量总体呈下降趋势^[23]。

表 3 1978—2018 年赤峰市和呼伦贝尔市年代际平均降水量

时段(年份)	赤峰市/mm	呼伦贝尔市/mm
1978—1989	347.88	357.01
1990—1999	438.49	383.09
2000—2009	309.90	320.52
2010—2018	405.41	350.23

3.2.2 降水量季节变化趋势 1978—2018 年赤峰市不同季节降水量变化见图 10。赤峰市处于季风区,年降水量约 70% 集中在夏季,由图 10 可以看出,赤峰市夏季降水量在 250 mm 上下波动,波动振幅较大,最大值为 446 mm(1985 年),最小值为 125 mm(1981 年),两者相差达 321 mm。1978—2018 年赤峰市夏季降水量倾向率为 $6.714 \text{ mm}/10\text{a}$,呈增大趋势;春季降水量变化倾向率为 $-4.044 \text{ mm}/10\text{a}$,呈减小趋势;秋季、冬季降水量变化倾向率很小,分别为 0.442 、 $-0.729 \text{ mm}/10\text{a}$ 。

1978—2018 年呼伦贝尔市不同季节降水量变化见图 11。由图 11 可以看出,呼伦贝尔市夏季降水量在 200 mm 上下波动,波动振幅较大,最大值为 451.9 mm(1984 年),最小值为 103.4 mm(1986 年),两者相差达 348.5 mm,夏季降水量不稳定;夏季降水量变化倾向率为 $-11.092 \text{ mm}/10\text{a}$,呈下降

趋势;春季、秋季及冬季倾向率变化较小,分别为 1.942、-1.413 和 1.139 mm/10a。

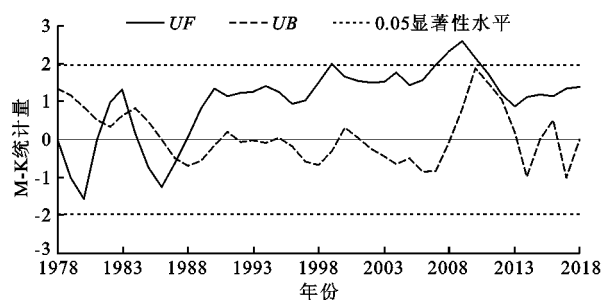


图 5 1978-2018 年赤峰市年均气温 Mann-Kendall 突变检验

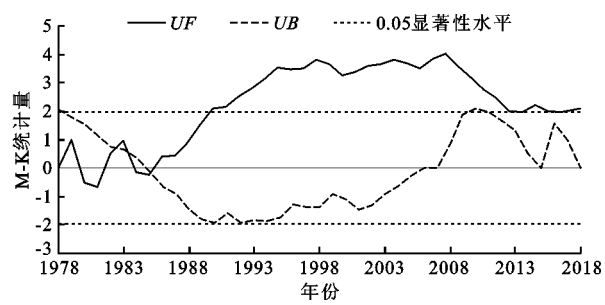


图 6 1978-2018 年呼伦贝尔市年均气温 Mann-Kendall 突变检验

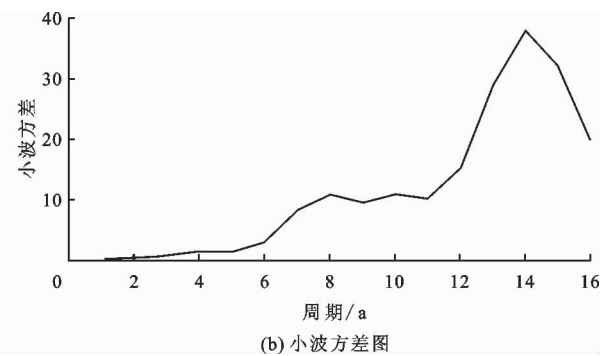
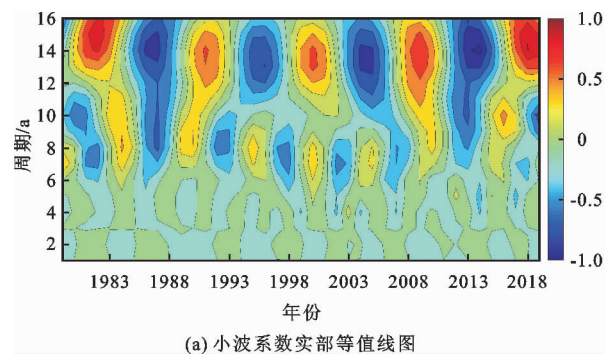


图 7 1978-2018 年赤峰市年平均气温小波分析

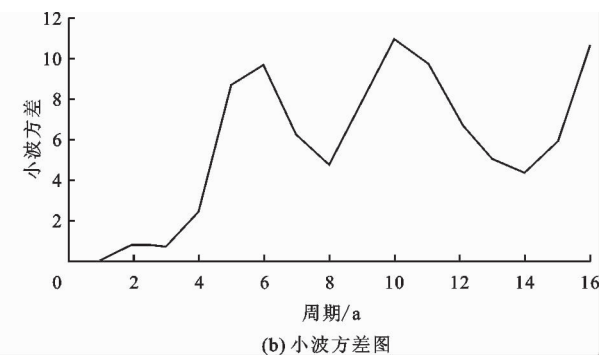
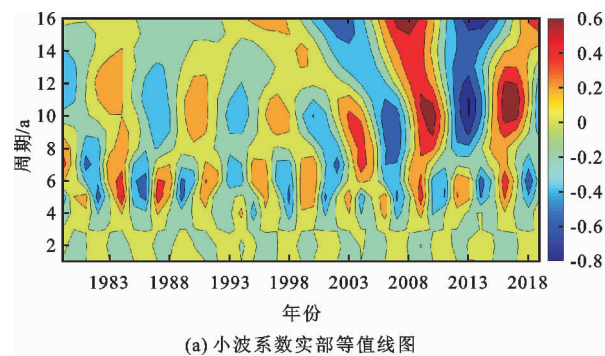


图 8 1978-2018 年呼伦贝尔市年平均气温小波分析

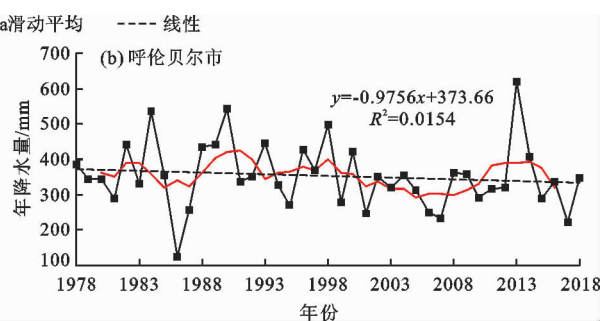
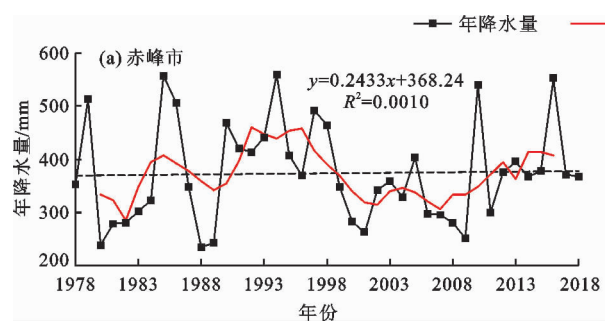


图 9 1978-2018 年赤峰市与呼伦贝尔市年降水量变化

将 1978-2018 年赤峰市和呼伦贝尔市多年平均降水量和各季节平均降水量及倾向率列于表 4 进行对比。由表 4 可以看出,赤峰市多年平均降水量大于呼伦贝尔市,这也符合两地所处地理区位的差

异,赤峰市纬度较低,位于大兴安岭东南侧,处在季风区迎风坡,降水相对较多;赤峰市春、冬季降水呈减少趋势,夏、秋两季呈增大趋势,呼伦贝尔市降水量在夏、秋两季呈减少趋势,其中夏季减少趋势最为

显著,冬、春两季呈略有增大趋势。

3.2.3 年降水量突变分析 1978-2018 年赤峰市年降水量 Mann-Kendall 突变检验结果如图 12 所示。由图 12 可见,UF 曲线大致分为 4 个阶段:1978-1983 年 UF 曲线大都在 0 以下,该阶段年降水量呈减少趋势;1984-2006 年 UF 曲线大都在 0 以上,该阶段年降水量呈增大趋势,年均降水量为 388.39 mm,比多年均值大 15.05 mm;2007-2015 年 UF 曲线小于 0,该阶段年降水量呈减少趋势,年均降水量减少至 354.74 mm,比多年平均值小 18.60 mm;2016-2018 年又呈现小幅增大趋势。UF 与 UB 曲线在 0.05 显著性临界线范围内有多点相交,表明 1978-2018 年赤峰市年降水量发生了多次突变。

表 4 1978-2018 年赤峰市和呼伦贝尔市多年平均降水量和各季节平均降水量及倾向率对比

城市	季节	平均降水量/mm	倾向率/ (mm·(10a) ⁻¹)
赤峰	多年	373.34	2.433
	春季	60.63	-4.044
	夏季	250.22	6.714
	秋季	57.13	0.442
	冬季	5.36	-0.729
呼伦贝尔	多年	353.20	-9.756
	春季	44.43	1.942
	夏季	237.40	-11.092
	秋季	57.26	-1.413
	冬季	14.11	1.139

1978-2018 年呼伦贝尔市年降水量 Mann-Kendall 突变检验结果如图 13 所示。由图 13 可见,UF 曲线除了 1984-1985 年、1989-1994 年 1996-2000 年在 0 以上,其余各阶段均小于 0。2001-2018 年 UF 曲线一直保持在 0 以下,表明年降水量处于减少趋势,该阶段年均降水量为 329.83 mm,比研究时段多年平均值(353.20 mm)小 23.37 mm,突变结果显著。曲线 UF 和曲线 UB 在 0.05 显著性临界线范围内也有多个交点,表明 1978-2018 年呼伦贝尔市年降水量发生了多次突变。

3.2.4 年降水量变化周期分析 1978-2018 年赤峰市和呼伦贝尔市年降水量 Morlet 小波分析分别见图 14 和 15。

由图 14 可以看出,赤峰市年降水量变化具有 2 种尺度的周期,即 5~7 a 和 10~14 a(图 14(a)),在 6 和 12 a 处小波方差出现峰值(图 14(b))。表明本区域在研究时段内年平均降水量存在 6 和 12 a 的周期,其中以 12 a 周期最为显著,这 2 类周期决定了赤峰市年降水量序列的周期性变化特征。

由图 15 可见,该时间尺度上呼伦贝尔市年降水量周期交替变化十分强烈,大尺度中又嵌套着小尺度,年降水量变化具有 3 种尺度的周期,即 3~5 a、7~9 和 9~12 a(图 15(a))。在 4、8 以及 10 a 处小波方差出现峰值(图 15(b)),表明呼伦贝尔市在研究时段内年降水量存在 4、8 和 10 a 的周期,其中以 8 a 周期最为显著,10 和 4 a 分别为第二、第三主周期,这 3 类周期决定了呼伦贝尔市年降水量序列的周期性变化特征。

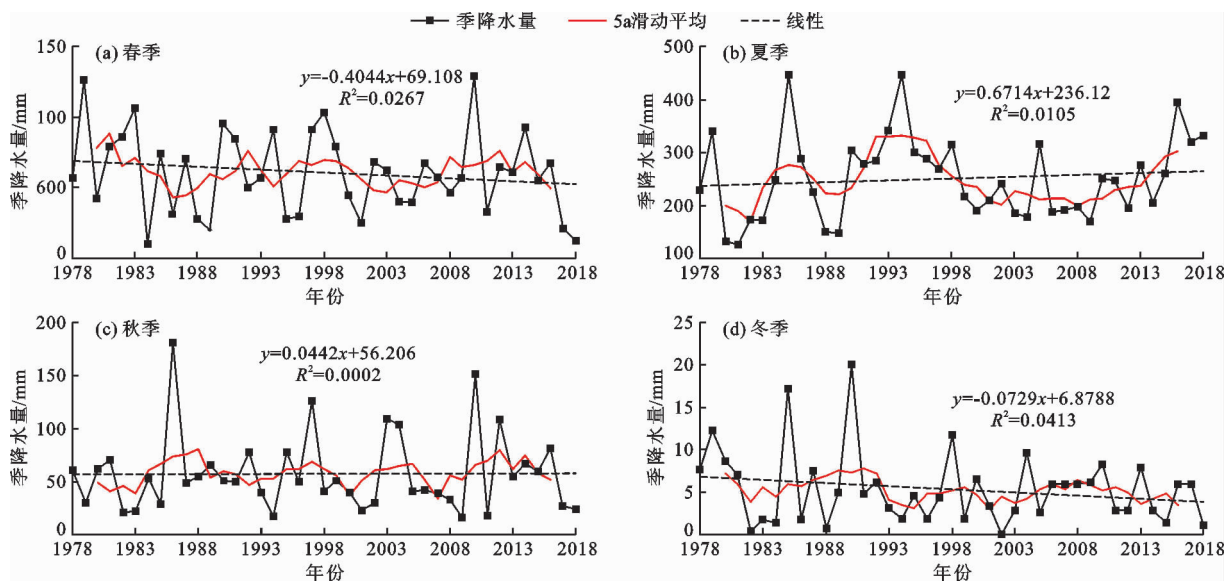


图 10 1978-2018 年赤峰市不同季节降水量变化

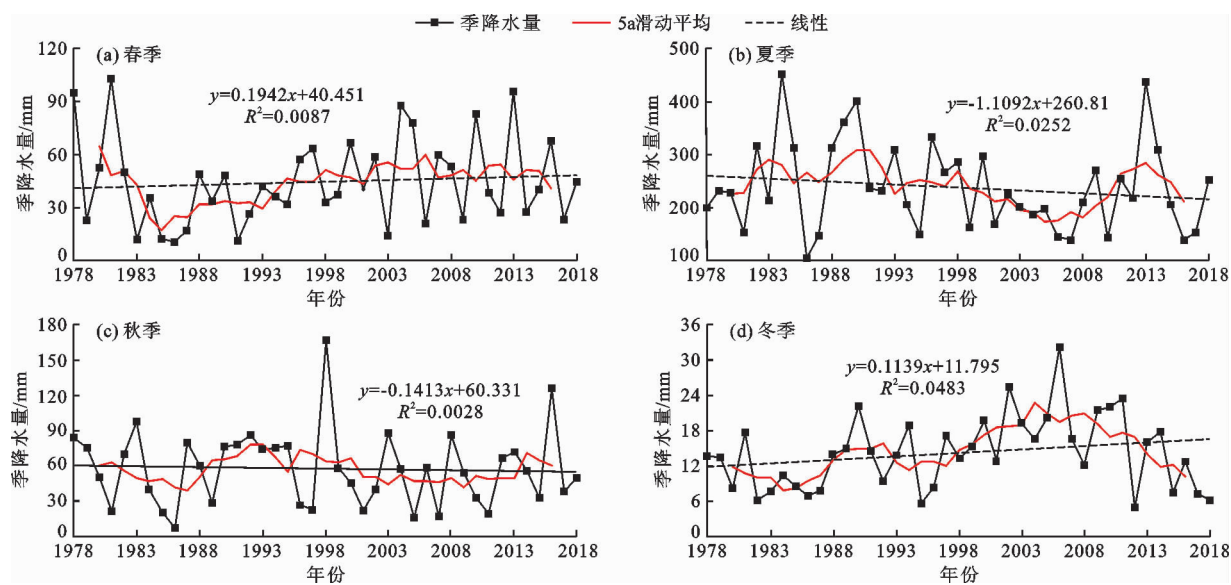


图 11 1978 - 2018 年呼伦贝尔市不同季节降水量变化

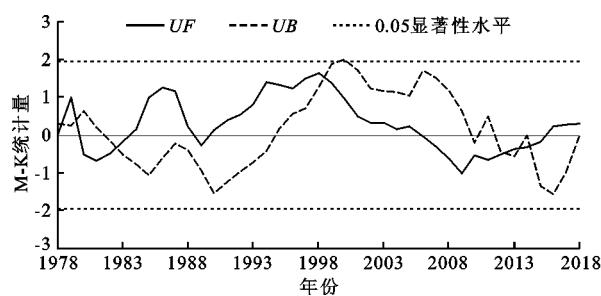


图 12 1978 - 2018 年赤峰市年降水量
Mann - Kendall 突变检验

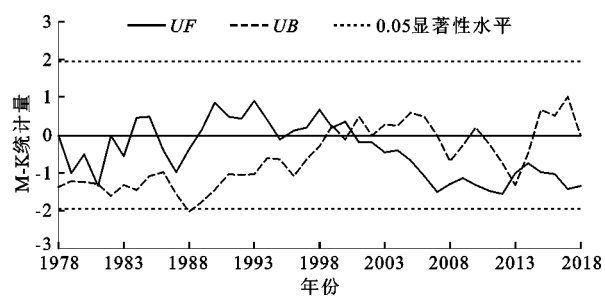


图 13 1978 - 2018 年呼伦贝尔市年均降水量
Mann - Kendall 突变检验

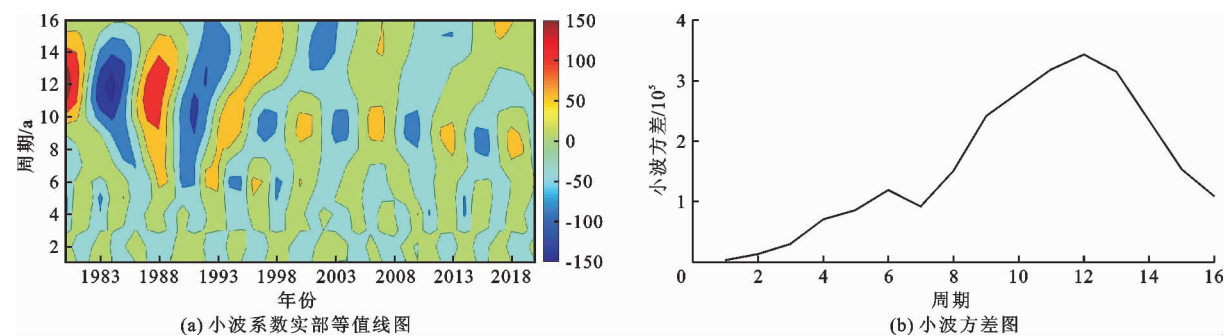


图 14 1978 - 2018 年赤峰市年降水量小波分析

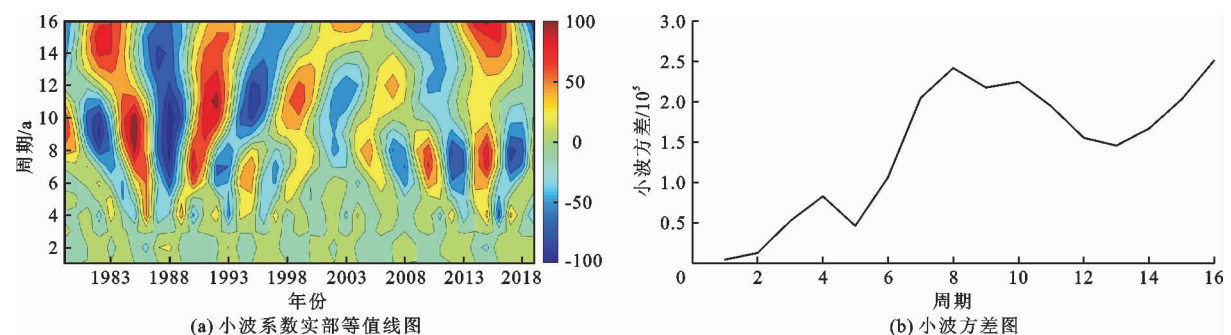


图 15 1978 - 2018 年呼伦贝尔市年降水量小波分析

4 讨 论

气候干湿状况是表征区域环境特点的重要指标^[24],本研究选取赤峰市和呼伦贝尔市为半湿润半干旱区的过渡区,我国重要的人文地理分界带(农牧过渡带)和自然地理分界带(季风区与非季风区)从所选取的两区穿过,因而对于赤峰市和呼伦贝尔市的气温和降水量有一定的研究价值。

研究时段 1978–2018 年内两市气温显著上升,也存在着较大差异,呼伦贝尔市上升趋势要比赤峰更加显著,其中,春季增温率对赤峰市年均气温升高的贡献最突出,呼伦贝尔市在夏季增温最为明显。这可能与人类活动导致全球变暖有关,春季冰雪逐渐消融,供暖系统还未中断,温室气体的排放导致热量的集聚,而沙土地质比热容较小,也使得夏季增温较快;另外,还与两市所处的不同地理位置有关,赤峰市所处纬度较低,海陆位置相对较近,夏季受西太平洋副高强度和位置变化影响,夏季风带来的雨水较多,而呼伦贝尔市所处纬度较高,靠近蒙古冷空气发源地,大兴安岭从该市呈东北–西南走向,阻挡了夏季暖湿气流的深入和冬季冷空气的南下,导致两市夏季降水量差异较大,冬季气温差异明显,进而影响了人民的生产生活方式和农业种植结构。

研究结果表明,在研究时段内赤峰市年均气温倾向率要小于呼伦贝尔市,两市季节气温倾向率差别更大,呼伦贝尔市年增温幅度大于赤峰市,而年降水量呈减少趋势。整体来看,赤峰市气候有向暖湿化发展的趋势,呼伦贝尔市气候则趋向暖干化。这与那音太^[25]对内蒙古自治区干湿气候变化特征进行分析研究的结论基本一致,即内蒙古地区气候变化呈两个趋向,东北部呈暖干化趋势,东南部呈暖湿化趋势。对于东西经度横跨近 30°的内蒙古自治区来说,应利用好当地的自然气候条件,根据当地实际情况,采取因地制宜的发展策略,在全球变暖的大趋势下,对于不同地理分区所受影响程度的差异,适时地调整作物种植结构和绿化栽种植物类型。本文在借鉴前人研究成果的基础上,选取了处于半湿润半干旱过渡区的赤峰市与呼伦贝尔市内 12 个站点的气象数据,分析总结了 1978–2018 年的气候变化趋势,在今后的研究中还应充分考虑到两市农业结构等社会经济因子,将气候变化及其对农业的影响结合起来,研究结果才能更接近实际。

5 结 论

(1) 1978–2018 年赤峰市与呼伦贝尔市年平均

气温均呈上升趋势,呼伦贝尔市的气温上升趋势比赤峰市更加明显,赤峰市与呼伦贝尔市年均气温突变年份基本重合(均在 1982 年发生突变);赤峰市年降水量呈增加趋势,呼伦贝尔市则呈减少趋势,两市年降水量经历了多次突变,赤峰市突变年份早于呼伦贝尔市 2 a。

(2) 将研究时段划分为 4 个年代际,赤峰市各年代际平均温度上升倾向率整体上小于呼伦贝尔市;赤峰市年代际降水量总体呈增大趋势,而呼伦贝尔市总体呈减少趋势。可见赤峰市气候整体向暖湿化发展,呼伦贝尔市则呈暖干化趋势。

(3) 赤峰市各季节平均气温变化差异明显,气温增高倾向率排序为冬季 < 秋季 < 夏季 < 春季,春季增温趋势较为明显,冬季平均气温基本保持平稳;呼伦贝尔市各季节(除冬季外)增温趋势明显,尤其在春季和夏季分别达 0.413 和 0.477℃/10a,高于全国平均值。从各季节平均降水量来看,赤峰市夏季和秋季平均降水量呈增大趋势,冬季和春季则呈减少趋势;呼伦贝尔市与赤峰市差异明显,夏季与秋季降水量呈减少趋势,冬季和春季则呈增大趋势。

(4) 1978–2018 年赤峰市年平均气温变化具有 8、14 a 两种尺度的周期,其中以 14 a 周期最为明显;呼伦贝尔市年平均气温周期存在 6、10 a 两种尺度的周期,其中以 10 a 周期最为显著,呼伦贝尔市年平均气温周期变化要比赤峰市早 4 a。赤峰市年降水量小波周期具有 6、12 a 两种周期,以 12 a 最为显著,呼伦贝尔市年降水量周期交替要比赤峰市强烈,以 8 a 周期最为显著。

参考文献:

- [1] STOCKER T F, QIN D, PLATTNER G K, et al. IPCC, 2013: Summary for policymakers in climate change 2013: The physical science basis [M]. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2013.
- [2] 代海燕, 李丹, 娜日苏, 等. 内蒙古干湿环境演变与地区生态建设优势气候背景分析[J]. 干旱区地理, 2019, 42(4): 745–752.
- [3] 王春燕, 刘秀荣, 彭宇彪, 等. 内蒙古不同地域的气候差异分析[J]. 内蒙古科技与经济, 2011(11): 48–49.
- [4] 李夏子, 郭春燕, 杨晶, 等. 气候变化对内蒙古牧草生产潜力的影响[J]. 中国农学通报, 2018, 34(16): 106–114.
- [5] 王旭升, 胡晓农, 金晓媚, 等. 巴丹吉林沙漠地下水与湖泊的相互作用[J]. 地学前缘, 2014, 21(4): 91–99.
- [6] 李虹雨, 马龙, 刘廷玺, 等. 1951–2014 年内蒙古地区气

- 温、降水变化及其关系[J]. 冰川冻土, 2017, 39(5): 1098-1112.
- [7] 路云阁,李双成,蔡运龙. 近40年气候变化及其空间分异的多尺度研究——以内蒙古自治区为例[J]. 地理科学, 2014, 24(4): 432-438.
- [8] 杨义,舒和平,马金珠,等. 基于Mann-Kendall法和小波分析中小尺度多年气候变化特征研究——以甘肃省白银市近50年气候变化为例[J]. 干旱区资源与环境, 2017, 31(5): 126-131.
- [9] 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.
- [10] 赵一飞,邹欣庆,张勃,等. 黄土高原甘肃区降水变化与气候指数关系[J]. 地理科学, 2015, 35(10): 1325-1332.
- [11] 王朋,张蓓蓓. 安康气象站1953-2016年气温变化特征研究[J]. 水资源与水工程学报, 2018, 29(6): 94-99.
- [12] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术(第二版)[M]. 北京:气象出版社, 2007.
- [13] 陈彦光. 地理数学方法:基础和应用[M]. 北京:科学出版社, 2008: 40-42.
- [14] 徐飞,贾仰文,牛存稳,等. 横断山区气温和降水年季月变化特征[J]. 山地学报, 2018, 36(2): 171-183.
- [15] 张悟颖,孙维君,张玉伦. 1960-2012年西藏林芝气温和降水变化[J]. 中国沙漠, 2018, 38(5): 1086-1092.
- [16] LI Zhi, ZHENG Fenli, LIU Wenzhao. Spatiotemporal characteristics of reference evapotranspiration during 1961-2009 and its projected changes during 2011-2099 on the Loess Plateau of China[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2012, 154: 147-155.
- [17] 商沙沙,廉丽姝,马婷,等. 近54a中国西北地区气温和降水的时空变化特征[J]. 干旱区研究, 2018, 35(1): 68-76.
- [18] 王菱,甄霖,刘雪林,等. 蒙古高原中部气候变化及影响因素比较研究[J]. 地理研究, 2018, 27(1): 171-180.
- [19] BOCCOLARI M, MALMUSI S. Changes in temperature and precipitation extremes observed in Modena, Italy[J]. Atmospheric Research, 2013, 122: 16-31.
- [20] 许小明,徐玉霞,雷雯. 近60年宝鸡市主城区极端天气变化特征分析[J]. 水资源与水工程学报, 2018, 29(1): 67-74.
- [21] 代海燕,梁显丽,宝秋利,等. 近46年毛乌素沙地和科尔沁沙地潜在蒸散量的变化特征及影响因子分析[J]. 西北林学院学报, 2019, 34(2): 8-13+27.
- [22] 杨雪昆. 鄂尔多斯市近53年气温降水变化特征分析[J]. 内蒙古科技与经济, 2015(5): 45-46+55.
- [23] 秦福莹,贾根锁,杨劼,等. 基于TRMM卫星数据的蒙古高原降水精度评估与季节分布特征[J]. 干旱区研究, 2018, 35(2): 95-403.
- [24] 刘兆飞,王蕊,姚治君. 蒙古高原气温与降水变化特征及CMIP5气候模式评估[J]. 资源科学, 2016, 38(5): 956-969.
- [25] 那音太. 基于SPI指数的近50a内蒙古地区干旱特征分析[J]. 干旱区资源与环境, 2015, 29(5): 161-166.

