

# 1956–2017年锡林郭勒盟气候变化特征

曹艳萍<sup>1,2</sup>, 庞营军<sup>3</sup>, 庞肖杰<sup>4</sup>

(1.河南大学环境与规划学院,河南 开封 475004;2.黄河中下游数字地理技术教育部重点实验室,河南 开封 475004;  
3.中国林业科学研究院荒漠化研究所,北京 100091;4.中国农业大学农学院,北京 100193)

**摘要:**利用锡林郭勒盟8个国家气象站点1956–2017年的气象资料,运用线性回归等统计方法,分析了该区的气候变化特征。结果表明:锡林郭勒盟的年平均气温均值为2.76℃,具有显著的上升趋势,上升速率为 $0.43^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ ,比全国的上升速率高34.38%;锡林郭勒盟年降水量均值为253.86 mm,具有微弱递减趋势,年降水量递减速率约为 $6.32 \text{ mm} \cdot (10\text{a})^{-1}$ ,与全球和中国的整体变化趋势相反,该递减趋势未通过0.05显著性水平检验;锡林郭勒盟蒸发皿年蒸发量均值为2 164.75 mm,具有递增趋势,该趋势通过了0.01显著性水平检验,递增速率为 $10.90 \text{ mm} \cdot (10\text{a})^{-1}$ ,与全球和中国的整体变化趋势相反;锡林郭勒盟年平均风速均值为 $3.76 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,具有明显的递减趋势,该递减趋势通过了0.01显著性水平检验,递减速率为 $0.16 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10\text{a})^{-1}$ ,比全国的递减速率略低;锡林郭勒盟的年平均气温、年降水量和年平均风速具有不同尺度的周期,而蒸发皿年蒸发量周期性弱。

**关键词:**气候变化;锡林郭勒盟;气温;降水;蒸发

**中图分类号:**S162 **文献标志码:**A

## The characteristics of climate change in Xilingol League from 1956 to 2017

CAO Yan-ping<sup>1,2</sup>, PANG Ying-jun<sup>3</sup>, PANG Xiao-jie<sup>4</sup>

(1. The College of Environment and Planning of Henan University, Kaifeng, Henan 475004, China;

2. Laboratory of Geospatial Technology for the Middle and Lower Yellow River Region, Kaifeng, Henan 475004, China;

3. Institute of Desertification Studies, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China;

4. College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

**Abstract:** Using the meteorological datas from eight national meteorological stations in Xilingol League from 1956 to 2017, the characteristics of climate change in the region were analyzed by linear regression and other statistical methods. The results show that: The mean value of average annual air temperature in Xilingol League was  $2.76^{\circ}\text{C}$ , which had a significant upward trend with an increase rate of  $0.43^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ , which was 34.38% higher than the national air temperature increase rate. The average annual precipitation in Xilingol League was 253.86 mm, which had a slight decreasing trend of annual precipitation. However, the decreasing trend did not pass the significant level test of 0.05. The deceleration rate was about  $6.32 \text{ mm} \cdot (10\text{a})^{-1}$ , which was contrary to the global and national overall change trend. The average value of annual pan evaporation in Xilingol League was 2 164.75 mm, showing a slight increasing trend, which passed the significant level test of 0.01. The ascending rate was  $10.90 \text{ mm} \cdot (10\text{a})^{-1}$ , which was contrary to the global and national overall change trend. The mean value of average annual wind speed in Xilingol League was  $3.76 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , showing a declining trend, which passed the significance level test of 0.01. The deceleration rate was  $0.16 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10\text{a})^{-1}$ , which was slightly lower than the national deceleration rate. The average annual air temperature, annual precipitation, and average annual wind speed of the Xilingol League had periodic patterns of different scales, and the annual pan evaporation's periodicity was weak.

**Keywords:** climate change; Xilingol League; air temperature; precipitation; evaporation

收稿日期:2018-06-20

修回日期:2018-09-05

基金项目:国家重点研发计划课题(2016YFC0500804);国家自然科学基金(41701010);河南大学引进博士科研启动基金(B2015060)

作者简介:曹艳萍(1986–),女,河南封丘人,博士,讲师,主要从事气候变化等方面的研究。E-mail:caoyip@henu.edu.cn

通信作者:庞营军(1984–),男,博士,助理研究员,主要从事荒漠化进程与机理方面的研究。E-mail:pangyingjun@cau.ac.cn

气候变化是人类共同面临的重大危机和严峻挑战,是当今的全球环境热点问题。IPCC第五次综合报告指出,1880-2012年期间的地球表面平均温度升高了 $0.85^{\circ}\text{C}$ <sup>[1]</sup>。中国“第三次气候变化国家评估报告”中指出,1909-2011年,中国陆地区域平均增温 $0.9^{\circ}\text{C} \sim 1.5^{\circ}\text{C}$ ;西部干旱和半干旱地区近30年降水持续增加<sup>[2]</sup>。近些年来,学者对中国青藏高原<sup>[3]</sup>、黄土高原<sup>[4]</sup>、新疆<sup>[5]</sup>、内蒙古<sup>[6]</sup>等区域的气候变化特征进行了大量研究,结果表明这些区域气温大多具有明显上升趋势;降水的变化趋势具有一定的空间差异性。气候变化对生态系统具有重要影响,许多陆地、淡水和海洋物种为了应对不断发生的气候变化,已经改变了其地理分布范围、季节活动、迁移规律、丰度等。气候变化也会导致粮食减产,渔业生产力降低,全球粮食安全将面临巨大风险<sup>[2,7]</sup>。

锡林郭勒盟处于欧亚大陆温带草原的核心区域,是全球气候变化的敏感区域,也是我国西北干旱区向东部湿润区过渡的地带<sup>[8]</sup>;境内有全国唯一被联合国教科文组织纳入国际生物圈监测体系的国家级草原自然保护区,既是华北地区的重要生态屏障,又是距首都北京最近的草原牧区<sup>[9]</sup>。近年来,随着全球气候变化和人类活动的加剧,锡林郭勒盟地区的气温呈显著上升趋势<sup>[10]</sup>,降水略有减少<sup>[11]</sup>,干旱程度加重<sup>[12]</sup>,导致锡林郭勒盟草地退化、沙化加剧,草地生产力下降,严重影响牧民生计及区域经济发展<sup>[13-14]</sup>。

本文利用锡林郭勒盟1956-2017年的长时序气象数据,揭示气温、降水、蒸发皿蒸发量和风速的变化规律,研究结果有助于了解该区域对全球气候变化的响应,同时也可作为区域草地经营管理提供决策依据。

## 1 研究区概况

锡林郭勒盟位于内蒙古自治区中部,地理位置 $111^{\circ}09' \sim 120^{\circ}01' \text{E}$ , $41^{\circ}35' \sim 46^{\circ}46' \text{N}$ ,北与蒙古国接壤,边境线长1096 km;西与乌兰察布市交界,南与河北省毗邻,东与赤峰市、通辽市和兴安盟相连<sup>[15]</sup>。东西长700多 km,南北宽500多 km,总面积20.26万 $\text{km}^2$ 。

锡林郭勒盟属温带大陆性气候,其气候特点是风大、干旱、寒冷。土壤以风沙土为主,部分地区有栗钙土、棕钙土和草甸土等;主要植物种类有:克氏针茅(*Stipa kryloyii*)、羊草(*Aneurolepidium chinense*)、糙隐子草(*Cleistogenes serotina*)、知母(*Anemarrhe-*

*naasphodeloides*)、矮葱(*Allium anisopodium*)、冷蒿(*Artemisiafrigida*)等<sup>[16]</sup>。锡林郭勒盟拥有类型齐全、动植物种类繁多的世界著名的四大草原之一(锡林郭勒草原),可利用优质天然草场面积达18万多 $\text{km}^2$ ,占全自治区的五分之一。牛、马、羊、驼等草食家畜拥有量位居全国地区级首位,是国家重要的畜产品基地。锡林郭勒盟是我国最典型的草原分布区,是我国北方草原区和农牧交错带的重要组成部分,自然条件的严酷性、气候的波动性以及社会经济条件的复杂性,使这一地区成为对全球变化响应的敏感带<sup>[17]</sup>。

## 2 研究方法

气象数据主要来源于国家气象科学数据共享服务平台(<http://data.cma.cn/>)的“中国地面气候资料日值数据集(V3.0)”。采用锡林郭勒盟内的东乌珠穆沁、二连浩特、阿巴嘎旗、苏尼特左旗、朱日和、西乌珠穆沁、锡林浩特、多伦县8个国家气象站点1956-2017年的气温、降水、蒸发皿蒸发量、风速日值数据。

蒸发量资料为1956-2017年20 cm口径蒸发皿逐日观测资料,2002年起每年5-9月改用E-601型蒸发皿进行观测,1-4月和10-12月沿用20 cm口径蒸发皿观测。利用1986-2001年20 cm口径蒸发皿与E-601型蒸发皿的同步观测蒸发量数据,采用最小二乘法进行线性回归,计算得到的折算系数为1.77996。根据蒸发量折算系数,计算2002-2017年5-9月20 cm口径蒸发皿蒸发量,得到锡林郭勒盟1956-2017年的连续蒸发量数据。

对锡林郭勒盟内8个国家气象站点日平均气温、风速数据分别逐年求平均值,得到年平均气温和风速数据;日降水、蒸发皿蒸发量数据逐年累积,得到年降水量和蒸发皿蒸发量数据。8个国家气象站点的年平均气温、年降水量、年蒸发皿蒸发量和年平均风速分别求算术平均值,代表区域逐年气象要素值。采用线性回归方法描述气候序列的趋势变化特征。气象要素( $y$ )的趋势变化用线性回归方程 $y=at+b$ 表示。式中 $t$ 为年份; $a$ 为变化率,用于定量描述气候序列的趋势变化特征, $a$ 为正(负)时,表示气象要素 $y$ 在所统计的时间有线性增加(减少)的趋势。

在Matlab软件平台的支持下,采用Morlet复值小波计算小波方差,分析气温、降水、蒸发和风速的周期震荡特征。

### 3 结果与分析

#### 3.1 1956—2017 年锡林郭勒盟气温变化

气温是表征空气冷热程度的物理量。如图 1a 所示,1956—2017 年间研究区年平均气温最小值  $-0.03^{\circ}\text{C}$ ,最大值  $4.87^{\circ}\text{C}$ ,平均值  $2.76^{\circ}\text{C}$ 。年平均气温具有明显的年际波动,但是同时也呈现出显著的上升趋势,上升速率约为  $0.43^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ ;该上升

趋势通过了 0.01 水平显著性检验。

年平均气温的小波方差图(图 1b)中存在 4 个较为明显的峰值,依次对应着 27、21、13 a 和 6 a 的时间尺度。其中,最大峰值对应着 27 a 的时间尺度,说明 27 a 左右的周期震荡最强,为气温变化的第一主周期;21、13 a 和 6 a 时间尺度分别对应着第二、第三、第四主周期。其中 27、21 a 和 13 a 尺度周期对气温的影响最为显著。

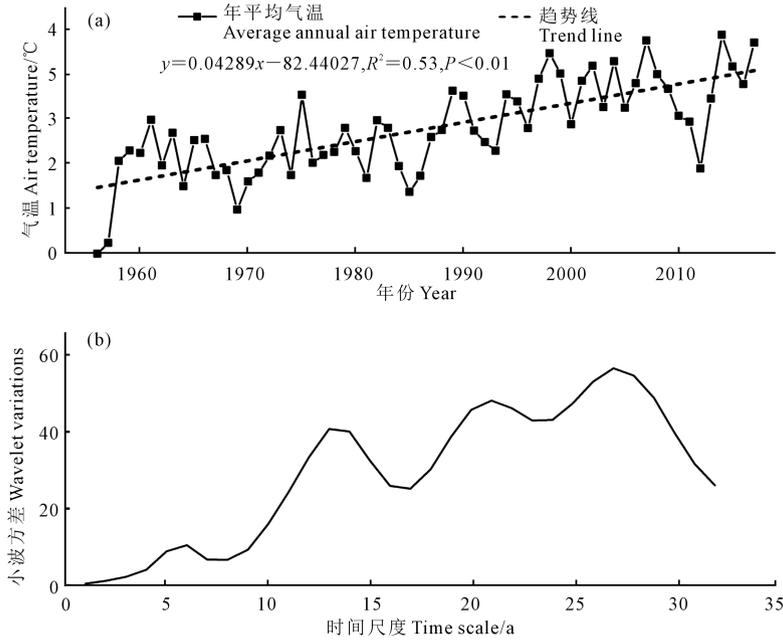


图 1 锡林郭勒盟年平均气温变化及小波方差

Fig.1 The average annual air temperature variation in Xilingol League and wavelet variations

#### 3.2 1956—2017 年锡林郭勒盟降水量变化

降水是指大气中的水汽以液态或者固态的形式到达地面,其主要形式有降雨和降雪,以及雹、露、霜等<sup>[18]</sup>。降水是水循环过程的主要环节之一,是地球上各种水体的直接或者间接补给来源,对生态系统结构和功能的维持具有重要作用。锡林郭勒盟 1956—2017 年间年降水量的最小值为  $158.58\text{ mm}$ (2017 年),最大值为  $418.19\text{ mm}$ (1959 年),平均值为  $253.86\text{ mm}$ 。从图 2a 中的降水趋势线来看,锡林郭勒盟 1956—2017 年间年降水量有微弱递减趋势,递减速率约为  $6.32\text{ mm} \cdot (10\text{a})^{-1}$ ;该递减趋势未通过 0.05 显著性水平检验。

年降水量小波方差图(图 2b)中存在 2 个明显的峰值,分别对应 28 a 和 7 a 的时间尺度。其中,最大峰值对应着 28 a 的时间尺度,28 a 尺度周期对降水影响最为显著。

#### 3.3 1956—2017 年锡林郭勒盟蒸发皿蒸发量变化

蒸发量研究不仅在水分平衡中占有重要地位,对于气候形成和工农业生产也具有重要的意义。气象站测定的蒸发量是用蒸发皿观测到的水面蒸发量。如图 3a 所示,锡林郭勒盟 1956—2017 年间蒸发皿年蒸发量的最小值为  $1\ 817.26\text{ mm}$ (1956 年),最大值为  $2\ 471.13\text{ mm}$ (2001 年),平均值为  $2\ 164.75\text{ mm}$ 。锡林郭勒盟蒸发皿年蒸发量具有递增趋势,递增速率为  $10.90\text{ mm} \cdot (10\text{a})^{-1}$ ;该递增趋势通过了 0.01 显著性水平检验。

蒸发皿年蒸发量小波方差图(图 3b)没有明显的峰值,说明在现有的时间尺度上,蒸发周期性弱。

#### 3.4 1956—2017 年锡林郭勒盟风速变化

空气运动产生的气流,称为风;风是近地表土壤风蚀和沙物质搬运、堆积的主要动力。如图 4a 所示,锡林郭勒盟 1956—2017 年间年平均风速最小值为  $3.17\text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (2011 年),最大值为  $4.36\text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

(1958 年),平均值为  $3.76 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。锡林郭勒盟的年平均风速具有明显的递减趋势,递减速率为  $0.16 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10\text{a})^{-1}$ ;该递减趋势通过了 0.01 显著性水平检验。

年平均风速小波方差图(图 4b)中有唯一峰值,对应时间尺度为 28 a,说明锡林郭勒盟的风速存在着 28 a 的周期变化。

### 4 讨论

气候变化是指能够识别的(如采用统计检验)气候状态的变化,即特征均值和/或变率的变化,并持续一段时期,通常为几十年或者更长时间<sup>[1]</sup>。史培军等<sup>[19]</sup>根据气温和降水量的变化趋势将中国气候变化(1961-2010 年)划分为 5 个变化趋势带,即东北-华北暖干趋势带、华东-华中温暖趋势带、西南-

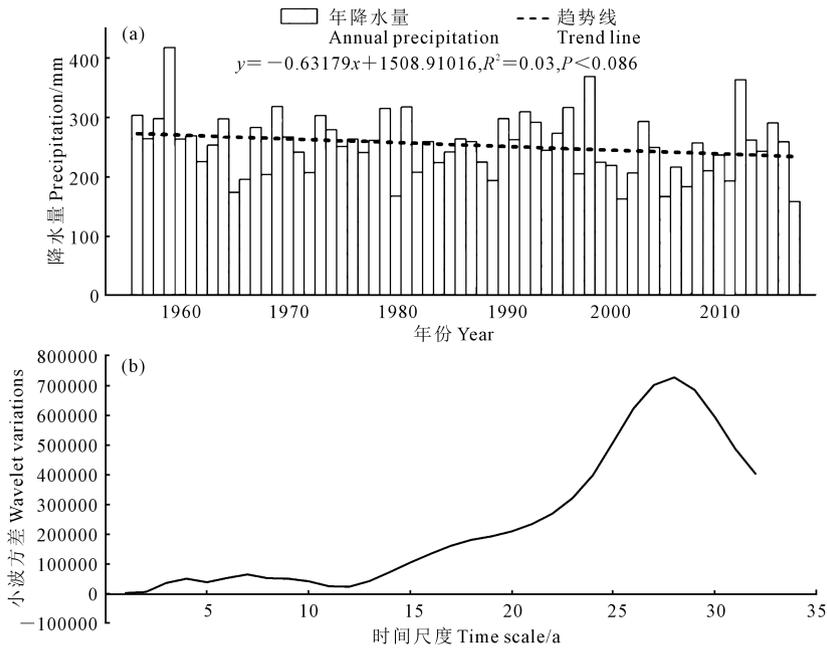


图 2 锡林郭勒盟年降水量变化及小波方差

Fig.2 The average annual precipitation variation in Xilingol League and wavelet variations

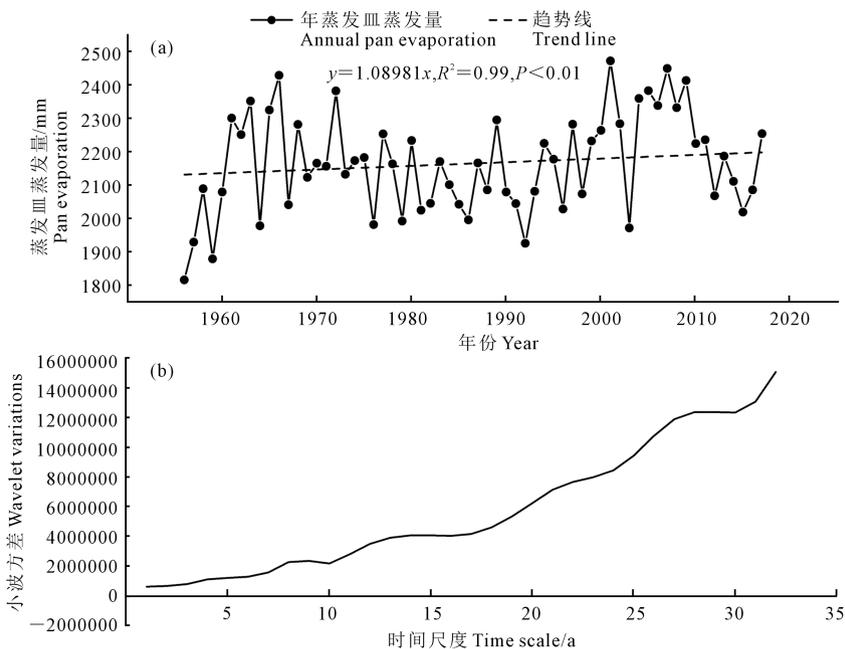


图 3 锡林郭勒盟蒸发皿年蒸发量变化及小波方差

Fig.3 The average annual pan evaporation variation in Xilingol League and wavelet variations

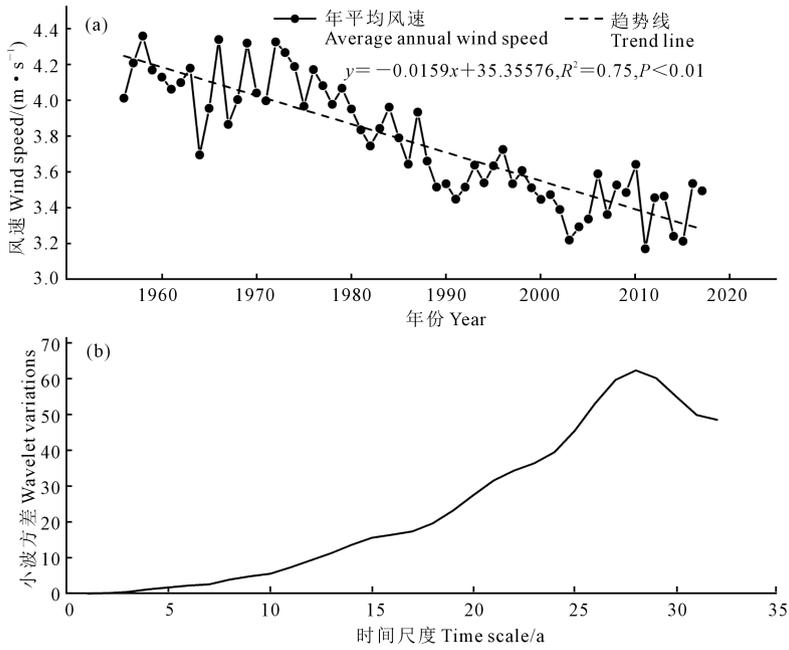


图 4 锡林郭勒盟年平均风速变化及小波方差

Fig.4 The average annual wind speed variation in Xilingol League and wavelet variations

华南干暖趋势带、藏东南-西南湿暖趋势带以及西北-青藏高原暖湿趋势带。按照这个区划,锡林郭勒属于东北-华北暖干趋势带。本文研究结果表明,锡林郭勒 1956-2017 年平均气温变化速率约为  $0.43^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ ,降水量递减速率约为  $6.32 \text{ mm} \cdot (10\text{a})^{-1}$ ,有暖干趋势,与上述分区结果一致。全球平均表面温度 1951-2012 年期间升温率为  $0.12^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1[1]}$ ,中国 1961-2015 年间升温率为  $0.32^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1[20]}$ ,锡林郭勒 1956-2017 年间平均气温上升速率比全球升温率高 258.33%,比全国升温率高 34.38%。北半球中纬度陆地区域,降水从 1901 年起出现了上升(在 1951 年以前为中等信度,1951 年后为高信度)<sup>[1]</sup>,中国 1960-2013 年降水量线性增加率为  $0.94 \text{ mm} \cdot (10\text{a})^{-1[21]}$ ,锡林郭勒盟 1956-2017 年期间年降水量递减速率约为  $6.32 \text{ mm} \cdot (10\text{a})^{-1}$ ,与全球和全国降水量整体变化趋势相反。

大量研究表明,地球地表上升平均温度中超过一半极可能是人为增加的温室气体( $\text{CO}_2$ 、 $\text{CH}_4$ 、 $\text{N}_2\text{O}$ 等)和其他人为因素(气溶胶、土地利用、地表反照率和臭氧变化)共同造成。从全球来看,1970-2010 年  $\text{CO}_2$ 排放量占温室气体总排放量的 78%;经济发展和人口增长仍然是推动化石燃料燃烧造成  $\text{CO}_2$ 排放增加的两个最重要因素<sup>[1]</sup>。如图 5 所示,从 1947 年至今,锡林郭勒盟的人口一直呈上升趋势,

1947 年全盟仅有 18.85 万人,2017 年全盟的人口数

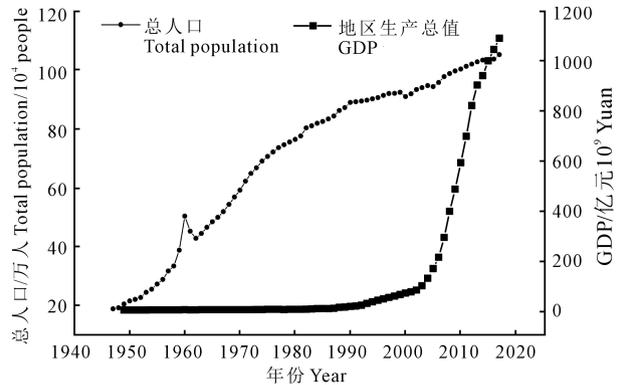


图 5 锡林郭勒盟总人口与地区生产总值(GDP)变化

Fig.5 Changes in the total population and GDP of Xilingol League

量达到了 105.16 万人。1949 年的地区生产总值(GDP)仅为 0.21 亿元,1949 年至 20 世纪 90 年代,GDP 较低,且增长缓慢;20 世纪 90 年代至 2000 年前后,地区 GDP 增长明显;2000 年至今,地区 GDP 呈现快速增长趋势,2017 年生产总值高达 1 090.47 亿元。与之相应的能源消费总量(原煤和原油及其制品、天然气等)也在快速增加,温室气体排放持续上升,这有利于本区气温的升高<sup>[22]</sup>。但是,锡林郭勒盟气温从 20 世纪 70 年代就开始上升,而 GDP 在 2000 年以后快速增加,两者变化并未同步,说明本区气温的上升主要是受全球变暖背景的影响。气候变化是生态环境各因子变化的综合体现,是人类

活动与自然因素共同作用的复杂过程,区域环境变化与区域气候变化的互馈机制,以及各因子对气候变化的作用机理及量化,有待今后进一步研究探讨,但草原生态系统对全球及中国气候变暖的贡献不可忽视<sup>[10]</sup>。

气候变化将会放大自然系统和人类系统的现存风险,同时带来各种新生风险;极端天气发生的概率增加,陆地、淡水和海洋生物面临更大灭绝风险,水资源竞争加剧,给生态系统服务功能带来挑战,对全球和区域的粮食安全带来较大风险<sup>[1]</sup>。锡林郭勒草原产草量的时空变化与主要气候因素关系密切<sup>[23]</sup>,气温、降水量对锡林郭勒草原净初级生产力(NPP)的影响存在正协同效应,但气温不如降水的影响大<sup>[24]</sup>。近几十年,锡林郭勒盟草地面积持续萎缩、草场质量不断下降,造成牧区草地生态系统问题的主要原因是农业经济活动强度加大导致的草地载畜量的增加、草地开垦规模的扩大以及作为社会因素的牧区人口数量的不断上升;区域气候的“暖干化”趋势加剧了锡林郭勒草地的退化<sup>[13, 25]</sup>。同时,气候变化直接引起地表水热条件的改变,使得植物的物候<sup>[26]</sup>和生长状况发生变化,地表反照率也随之改变<sup>[27]</sup>。

全球许多地区的蒸发皿蒸发量存在着显著的下降趋势,出现了所谓的“蒸发悖论”<sup>[28]</sup>。中国近50年蒸发皿蒸发量平均减少速率为 $17.2 \text{ mm} \cdot (10\text{a})^{-1}$ <sup>[29]</sup>。云量和气溶胶的增加,导致的地表太阳辐射减少、气温日较差和水汽压差变弱是全球蒸发减少的主要原因<sup>[28, 30]</sup>。锡林郭勒盟蒸发皿年蒸发量变化趋势与全球和中国的整体变化趋势不一致。师桂花<sup>[31]</sup>研究认为气温上升、相对湿度降低是造成该区蒸发量上升的主要原因。

全球范围来看,热带和中纬度近地表风速正在减小,而高纬度的地表风速在增加<sup>[32]</sup>。中国1961-2014年近地表风速递减速率约为 $0.18 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10\text{a})^{-1}$ <sup>[33]</sup>。锡林郭勒盟年平均风速的变化趋势和全国一致,递减速率为 $0.16 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10\text{a})^{-1}$ ,比全国平均递减速率略低。在全球和亚洲变暖的背景下,近几十年来,亚洲冬、夏季风减弱以及亚洲纬向环流加强、经向环流指数减弱导致中国中高纬度地区冷空气南下次数减少,中国寒潮次数减少与中国沙尘暴减少、亚洲温带气旋数在中纬度明显减少,这是中国大范围风速减小的体现和可能原因<sup>[34-35]</sup>。

佟斯琴<sup>[36]</sup>的研究结果表明,锡林郭勒盟1961-

2010年的气温变化具有28、9 a和5 a的显著周期,与本试验结果略有不同。其研究结果还表明锡林郭勒盟1961-2010年的降水存在25 a和7 a的震荡周期<sup>[36]</sup>;王海梅<sup>[37]</sup>的研究结果表明锡林郭勒盟的降水在25~32 a的时间尺度上有较明显的周期信号;本研究结果与上述两个研究基本一致。宋小园<sup>[38]</sup>对位于锡林郭勒盟东南部的锡林河流域的1960-2010年蒸发的研究表明,锡林河流域年蒸发的第一主周期为23 a;研究区邻区科右中旗1964-2010年的蒸发量有8 a的震荡周期<sup>[39]</sup>,鄂尔多斯高原的年蒸发量在12~14 a和21~22 a尺度震荡特征明显<sup>[40]</sup>,上述研究结果与本研究有较大差异。

## 5 结 论

本文利用锡林郭勒盟8个国家气象站点1956-2017年的气象数据,分析了该区气温、降水、蒸发皿蒸发量和风速的变化特征,得出结论如下:

1) 锡林郭勒盟1956-2017年期间的年平均气温具有显著上升趋势,上升速率为 $0.43 \text{ }^\circ\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ ,比全国气温上升速率高34.38%;存在27、21、13 a和6 a的周期。

2) 锡林郭勒盟1956-2017年期间年降水量最小值为158.58 mm,最大值为418.19 mm,平均值为253.86 mm;存在28 a和7 a的周期。年降水量有微弱递减趋势,该递减趋势未通过0.05显著性水平检验;递减速率约为 $6.32 \text{ mm} \cdot (10\text{a})^{-1}$ ,与全球和全国的整体变化趋势相反。

3) 锡林郭勒盟1956-2017年期间年蒸发皿蒸发量最小值为1 817.26 mm,最大值为2 471.13 mm,平均值为2 164.75 mm,周期性弱;蒸发皿年蒸发量具有递增趋势,该趋势通过了0.01显著性水平检验;递增速率为 $10.90 \text{ mm} \cdot (10\text{a})^{-1}$ ,与全球和全国的整体变化趋势相反。

4) 锡林郭勒盟1956-2017年期间年平均风速最小值为 $3.17 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,最大值为 $4.36 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,平均值为 $3.76 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,存在28 a的周期。年平均风速具有明显的递减趋势,该递减趋势通过了0.01显著性水平检验;递减速率为 $0.16 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10\text{a})^{-1}$ ,比全国平均递减速率略低。

## 参 考 文 献:

- [1] IPCC第五次评估报告第一工作组、第二工作组和第三工作组.气候变化2014:综合报告[R].瑞士,日内瓦:IPCC,2015.
- [2] 《第三次气候变化国家评估报告》编写委员会.第三次气候变化国

- 家评估报告[M].北京:科学出版社,2015.
- [3] 段安民,肖志祥,吴国雄.1979-2014 年全球变暖背景下青藏高原气候气候变化特征[J].气候变化研究进展,2016,12(5):374-381.
- [4] 姚玉璧,李耀辉,王毅荣,等.黄土高原气候与气候生产力对全球气候变化的响应[J].干旱地区农业研究,2005,23(2):202-208.
- [5] 关学锋,孙卫国,李敏姣,等.1965—2012 年新疆北部地区气候变化及其对北极涛动的响应[J].干旱区研究,2016,33(4):681-689.
- [6] 李青丰,李福生,乌兰.气候变化与内蒙古草地退化初探[J].干旱地区农业研究,2002,20(4):98-102.
- [7] 刘德祥,董安祥,陆登荣.中国西北地区近 43 年气候变化及其对农业生产的影响[J].干旱地区农业研究,2005,23(2):195-201.
- [8] 张璐,任瑞端.人类活动对锡林郭勒盟草原净初级生产力的影响研究[J].自然资源学报,2017,32(7):1125-1133.
- [9] 张远鸣.锡林郭勒草原保护区土地覆盖变化研究[D].呼和浩特:内蒙古大学,2007.
- [10] 史激光,谢东,辛志远,等.锡林郭勒地区近 50 年气候变化分析[J].中国农学通报,2010,26(21):318-323.
- [11] 包姝芬,马志宪,崔学明.近 50 年锡林郭勒盟的气候变化特征分析[J].内蒙古农业大学学报(自然科学版),2011,32(3):157-160.
- [12] 王海梅,李政海,韩国栋,等.锡林郭勒盟气候干燥度的时空变化规律[J].生态学报,2010,30(23):6538-6545.
- [13] 马梅,张圣微,魏宝成.锡林郭勒草原近 30 年草地退化的变化特征及其驱动因素分析[J].中国草地学报,2017,39(4):86-93.
- [14] 李金亚,徐斌,杨秀春,等.锡林郭勒盟草原沙化动态变化及驱动力分析——以正蓝旗为例[J].地理研究,2011,30(9):1669-1682.
- [15] 张巧凤,刘桂香,于红博,等.基于标准化降水指数的锡林郭勒盟干旱特征分析[J].自然灾害学报,2015,24(5):119-128.
- [16] 史激光.锡林郭勒地区近 49 年沙尘暴特征分析[J].干旱区资源与环境,2010,24(8):63-67.
- [17] 陈金,李政海,贾树海,等.锡林郭勒草原区气候干旱化的时空变化规律[J].内蒙古大学学报(自然版),2011,42(3):304-310.
- [18] 周淑贞.气象学与气候学[M].北京:高等教育出版社,1997:1-260.
- [19] 史培军,孙劼,汪明,等.中国气候变化区划(1961~2010 年)[J].中国科学:地球科学,2014,(10):2294-2306.
- [20] 王玉洁,周波涛,任王玉,等.全球气候变化对我国气候安全影响的思考[J].应用气象学报,2016,27(6):750-758.
- [21] 赵嘉阳.中国 1960-2013 年气候变化时空特征、突变及未来趋势分析[D].福州:福建农林大学,2017.
- [22] 锡林郭勒盟统计局.锡林郭勒盟统计年鉴 2017[M].北京:中国统计出版社,2017.
- [23] 王海梅,李政海,韩国栋,等.锡林郭勒地区植被覆盖的空间分布及年代变化规律分析[J].生态环境学报,2009,18(4):1472-1477.
- [24] 张圣微,申芮,陈哲,等.锡林郭勒草原植被生产力估算及其影响因素—以巴拉噶尔河流域为例[J].中国草地学报,2015,37(4):66-73.
- [25] 巴图娜存,胡云锋,艳燕,等.1970 年代以来锡林郭勒盟草地资源空间分布格局的变化[J].资源科学,2012,34(6):1017-1023.
- [26] 王英舜,贺俊杰.锡林郭勒盟榆树近 30 年物候变化特征及其对温度变化的响应[J].中国农学通报,2014,30(17):256-261.
- [27] 张学珍.锡林郭勒草原地表反照率对气候变化的响应[J].地理研究,2012,31(2):299-310.
- [28] Peterson T C, Golubev V S, Groisman P Y. Evaporation losing its strength [J]. Nature,1995,377(6551):687-688.
- [29] 刘敏,沈彦俊,曾燕,等.近 50 年中国蒸发皿蒸发量变化趋势及原因[J].地理学报,2009,64(3):259-269.
- [30] Roderick M L, Farquhar G D. The cause of decreased pan evaporation over the past 50 years [J]. Science,2002,298(5597):1410-1411.
- [31] 师桂花.典型草原区蒸发皿蒸发量变化特征及气象因子影响分析[J].中国农业气象,2014,35(5):497-503.
- [32] Mvicar T R, Roderick M L, Donohue R J, et al. Global review and synthesis of trends in observed terrestrial near-surface wind speeds: Implications for evaporation [J]. Journal of Hydrology,2012,416(3):182-205.
- [33] 中国气象局气候变化中心.2014 年中国气候变化监测公报[M].北京:气象出版社,2015.
- [34] 江滢.中国风和风能变化研究[D].南京:南京信息工程大学,2009.
- [35] 赵宗慈,罗勇,江滢,等.近 50 年中国风速减小的可能原因[J].气象科技进展,2016,6(3):106-109.
- [36] 佟斯琴,刘桂香,武娜.1961-2010 年锡林郭勒盟气温和降水时空变化特征[J].水土保持通报,2016,36(5):340-345.
- [37] 王海梅,李政海,阎军,等.锡林郭勒草原不同生态地理区降水周期变化特征的小波分析[J].水土保持通报,2010,30(5):46-49.
- [38] 宋小园.气候变化和人类活动影响下锡林河流域水文过程响应研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2016.
- [39] 丹丹,春喜.近 50 年来科右中旗主要气象要素的小波分析[J].内蒙古师大学报(自然汉文版),2013,42(5):577-582.
- [40] 黄金廷,王文科,侯光才,等.鄂尔多斯高原近 48a 降水及蒸发特征分析[J].干旱区资源与环境,2011,25(9):145-148.