

1961—2010 年锡林浩特地区夏季 降水量特征的小波分析

王英舜, 贺俊杰

(内蒙古锡林浩特国家气候观象台, 内蒙古 锡林浩特 026000)

摘要:运用墨西哥帽函数(Mexican Hat Function)小波分析方法对锡林浩特地区 50 年来夏季降水量进行了小波分析。结果表明,夏季降水量在不同时间尺度上的周期变化不同,在较大时间尺度上振荡平缓,在较小时间尺度上振荡剧烈。夏季降水量周期振荡的第 1~4 主周期分别为 30 年、27 年、24 年和 21 年,夏季降水量多少和周期变化对年降水量产生一定影响。该区夏季降水量在 30 年以上较大时间尺度上存在 7~15 年的周期变化;在 15 年时间尺度上存在明显的 10 年左右的周期变化;在 9 年时间尺度上存在 2~9 年的周期变化;在 3 年以下较小时间尺度上周期振荡明显加强,无稳定周期,降水存在明显的不确定性。降水量的多少是决定草地植被生长状况和营养成分积累及含量的主要原因之一。

关键词:典型草原;牧草;降水量;气候变化;小波分析

中图分类号:S812.1

文献标识码:A

文章编号:1001-0629(2014)11-2021-05*

The wavelet analysis of summer precipitation characteristics in Xilinhot from 1961 to 2010

WANG Ying-shun, HE Jun-jie

(Xilinhot National Climate Observatory, Xilinhot 026000, China)

Abstract: Using the wavelet analysis method with Mexican Hat Function, the characteristics of summer precipitation in Xilinhot from 1961 to 2010 was analyzed. The results showed that the cycle of summer precipitation varied with timescales which supported by weak oscillation with larger timescale and volatile oscillation with smaller timescale. The first, second, third and fourth main period of summer precipitation periodic oscillation was 30, 27, 24 and 21 years, respectively. The summer precipitation and periodic changes had an impact on annual precipitation. For the summer precipitation, the cycle was 7 to 15 year for the timescale with more than 30 years, the cycle was 10 years for a 15 year timescale and the cycle was 2 to 9 years for a 9 year timescale. For the timescale with less than 3 years, the periodic oscillation significantly strengthened, the cycle was shorter and unstable, and the precipitation was obviously uncertain. The precipitation was the key factor to determine the grassland vegetation growth status and nutrient accumulation and content.

Key words: typical grassland; grass; precipitation; climate change; wavelet analysis

Corresponding author: HE Jun-jie E-mail:qxhjj@126.com

气候变化问题已得到全世界各国政府的普遍关注和重视,在全球变暖的气候背景下,锡林浩特的气

温同样呈现变暖趋势^[1],气温升高必将导致降水量的时空分布变化。近 100 年和近 50 年中国年降水

* 收稿日期:2014-01-29 接受日期:2014-05-28

基金项目:锡林郭勒盟科技局科技项目(201320)

第一作者:王英舜(1965-),男,内蒙古锡林浩特人,高级工程师,硕士,研究方向为生态与农业气象。E-mail:wys5959@163.com

通信作者:贺俊杰(1964-),男,内蒙古锡林浩特人,高级工程师,本科,研究方向为生态与农业气象。E-mail:qxhjj@126.com

量变化不显著,但年代际波动较大,并存在明显的区域差异^[2]。目前关于华北地区的降水特征分析已有不少研究^[3-7],但这些降水资料大多为2000年以前的数据,反映的降水特征存在一定局限性,有必要增加新资料作进一步分析。

研究区位于锡林郭勒草原中部的锡林浩特(115°13′—117°06′ E, 43°02′—44°52′ N),属中温带干旱半干旱大陆性季风气候,风大、雨少、寒冷,年均气温2.6℃,年均风速3.4 m·s⁻¹,年均降水量271.4 mm,光、热、水同季。可利用草地面积达177.9万hm²,占总土地面积的87.5%,草地类型以典型草原为主体。以往对锡林浩特气候变化特征在降水量方面的研究较少,而在气温方面居多^[1,8-10]。由于气候特征所限,研究区水资源的主要来源是大气降水,且全年降水集中于夏季。因此,研究夏季降水的气候特征,对于草原生态系统的健康发展和农牧业产业结构调整都有重要的指导意义。

本研究利用锡林浩特1961—2010年夏季降水量资料,分析该区1961—2010年降水量气候变化特征,旨在为预测未来该地区降水量的趋势提供参考。

1 材料与方法

1.1 资料来源、试验地点、时间

数据来源于锡林浩特国家基本气象站1961—2010年夏季降水量资料。该站位于锡林浩特地区典型草原中部(116°07′ E, 43°57′ N),占地面积10 hm²,地势开阔平坦,天然牧草覆盖地表。

1.2 分析方法

采用变差系数^[11]和墨西哥小波^[12]描述降水量在不同年代的相对变化和在不同时段上的振荡周期主要变化。

1.3 小波分析方法概述

小波分析是一种时、频多分辨率的分析方法。小波变换的离散形式和墨西哥帽状母小波函数见公式(1)、(2)。

$$\omega_{f(a,b)} = |a|^{-\frac{1}{2}\Delta t} \sum_{i=1}^n f(i\Delta t) \psi\left(\frac{i\Delta t - b}{a}\right) \quad (1)$$

$$\psi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}} \quad -\infty < t < \infty \quad (2)$$

本研究采用墨西哥小波(母小波 Mexican Hat 函数)^[12]分析方法,其计算过程为:根据研究问题的时间尺度确定出频率参数 a 的初值和 a 增长的时间间隔;选定并计算母小波函数;将确定的频率 a ,研究对象序列 $f(t)$ 及母小波函数 $\psi(t)$ 代入式(1),算出小波变换 $\omega_{f(a,b)}$;将小波变换结果绘制为二维图像,横坐标为时间参数 b ,纵坐标为频率参数 a ,图中数值为小波系数。这样就可以对气候系统的时频结构作细致的分析,提取有价值的信息。

2 结果与分析

2.1 夏季降水变化趋势

锡林浩特地区1961—2010年夏季降水量呈现减少趋势(气候倾向率为 $-9.90 \text{ mm} \cdot 10 \text{ a}^{-1}$);夏季降水量在1969—1981年和1987—1998年为偏多期,其余年份为偏少期(图1)。夏季降水量最大值

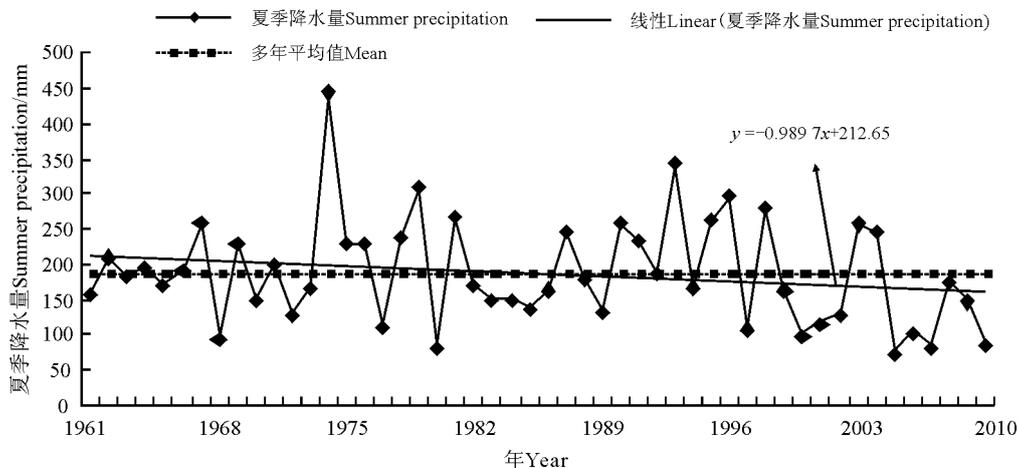


图1 锡林浩特地区夏季降水量历年值、历年平均值变化

Fig.1 Summer precipitation and mean value of the periods of 1961 to 2010 in Xilinhot

出现在1974年,为443.6 mm,最小值出现在2005年,为74.2 mm,极差为369.4 mm。夏季降水量从1985年开始至21世纪初期下降最为明显。

2.2 夏季降水特征的小波分析

研究表明,50年夏季平均降水量占年平均降水量的69.0%(1961—2010年夏季降水量均值为187.4 mm,年降水量均值为271.4 mm)。说明该地区降水存在明显的季节差异,全年降水主要集中在夏季。因此,对夏季降水量的周期变化进行分析,揭

示其对年降水量周期变化的影响十分必要。

对夏季降水量进行小波分析发现(图2a),夏季降水量变化周期在大尺度上振荡频率较低,而在小尺度上较高。夏季降水量振荡的第1、第2、第3和第4主周期分别为30年、27年、24年和21年(图2b)。夏季降水量距平和第1~4主周期的小波变换系数的相关系数分别为0.41、0.42、0.43和0.44(通过了0.01水平显著性检验),说明夏季降水变化在以上4个主周期振荡显著。

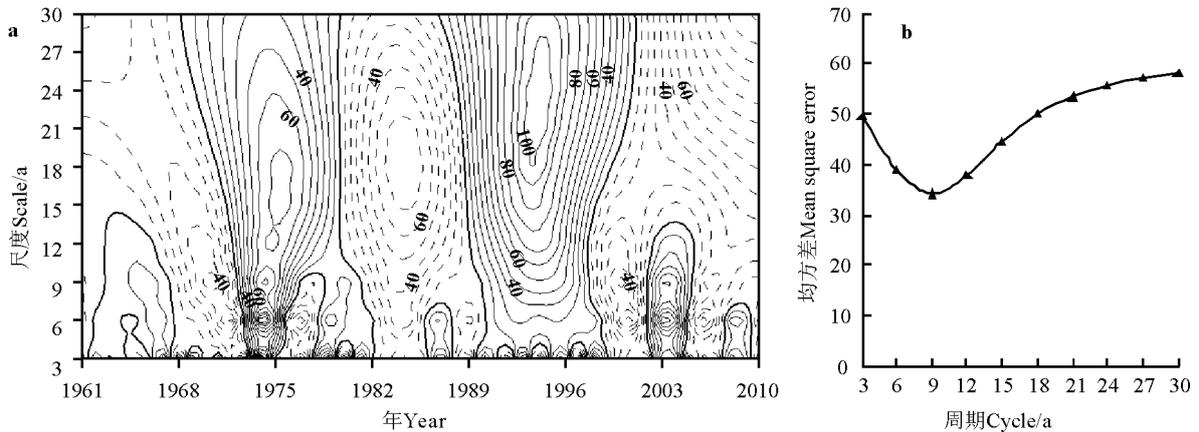


图2 1961—2010年夏季降水量小波分析与小波均方差

Fig.2 Wavelet analysis and wavelet mean square error for summer precipitation of the periods of 1961 to 2010

夏季降水量在3年以下的较小时间尺度上变化的幅度较小(图3)。夏季降水量变化在1961—1966年、1981—1987年和1998—2006年相对稳定,其余年份大部分发生1~2年的振动;夏季降水量变化在9年时间尺度上存在2~9年的周期变化,1961—1970年、1978—2000年和2003—2010年降水量变化较稳定,其余年份大部分发生3~4年的振动,最强的振动发生于1974年(图3)。

夏季降水量变化在15年时间尺度上存在着十分明显的10年前后的周期变化(图3),即1972—1979年和1989—1998年的偏多期,1961—1971年、1980—1988年和1999—2010年的偏少期;夏季降水量变化在30年以上的较大时间尺度上存在着明显7~15年左右的周期变化(图3),即1969—1979年和1987—2001年的偏多期,1961—1968年、1980—1986年和2002—2010年的偏少期。由图2可知,12年以上尺度的正位相等值线未封闭,说明在较大时间尺度上锡林浩特地区夏季降水量呈现偏多趋势。

2.3 夏季降水量与典型草原牧草生长状况及营养成分的关系

天然草地牧草是草食家畜赖以生存的物质基础,草地牧草的生长状况和营养含量直接影响着草食家畜的体质和生产性能。目前普遍认为,草原的初级生产量主要受水分的影响^[13-14],而土壤水分的来源主要依靠大气降水,绝大部分降水转化成土壤水分被植物根系吸收来维持其正常的生长发育。本研究利用1986—2013年锡林浩特国家气候观象台牧草生长状况以及2004—2013年锡林浩特地区天然草地牧草营养成分化验资料(资料来源于锡林浩特国家气候观象台)分别与同期夏季降水量进行相关分析(表1)。

典型草原牧草盖度与降水量呈极显著正相关($P < 0.01$),牧草高度、产量与降水量呈显著的正相关($P < 0.05$)。而牧草的主要营养成分粗蛋白含量和粗灰分含量与降水量相关性不显著($P > 0.05$);粗脂肪含量、无氮浸出物含量和粗纤维含量与降水量不相关。说明降水偏多时,牧草生长状况良好,

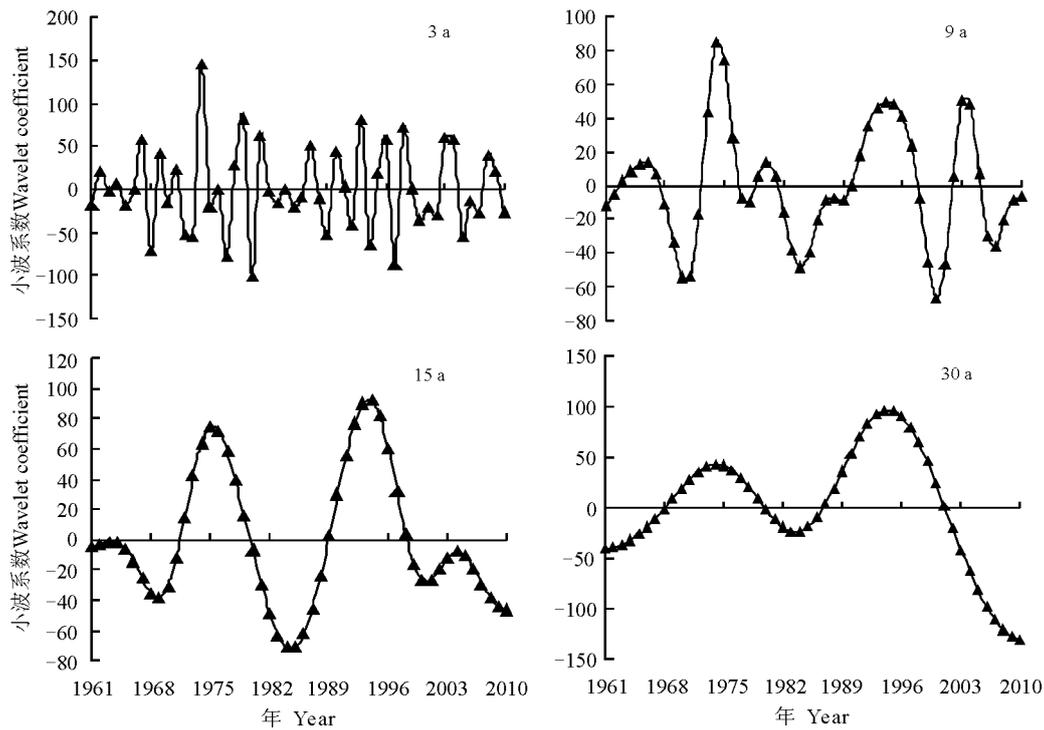


图3 1961—2010年夏季降水量不同时间尺度周期演变特征

Fig.3 Periodic characteristics of summer precipitation in different temporal scale of the periods of 1961 to 2010

表1 夏季降水量与典型草原牧草生长状况及主要营养成分的关系

Table 1 The relationship of summer precipitation and grass growth conditions and grass nutrients in the typical steppe

指标 Parameter	降水量 Precipitation	
	<i>r</i>	<i>P</i>
牧草产量 Grass yield	0.395	<0.05
牧草高度 Grass height	0.499	<0.05
盖度 Coverage	0.706	<0.01
粗脂肪 Crude fat	0.336	>0.25
粗蛋白 Crude protein	-0.586	>0.05
粗灰分 Crude ash	-0.511	>0.05
粗纤维 Crude fiber	-0.053	>0.25
无氮浸出物 Nitrogen-free extract	0.256	>0.25

牧草幼嫩枝叶生长加快,植株生长茂盛;而当降水偏少时,结果则相反。

3 讨论与结论

降水变化是一个地区气候变化的重要因素之一,锡林浩特地区1961—2010年夏季降水量呈现减

少趋势。冬季东亚槽的减弱以及春季蒙古高原地区的高度值偏高,是近年来华北夏季降水减少的原因之一^[15];从年代际和年际变化来看,河北平原夏季降水和年降水具有相同的变化趋势和位相,即夏季降水较多时,年降水也较多,反之亦反^[16]。因此,锡林浩特地区夏季降水量减少是导致年降水量减少的主要原因。

降水时间尺度的大小决定了周期变化不同,降水量周期小尺度较大尺度明显缩短,振幅也较大尺度明显。夏季降水量变化周期在大尺度上振荡频率较低,而在小尺度上较高。夏季降水量振荡的第1、第2、第3和第4主周期分别为30年、27年、24年和21年。夏季降水量在30年以上较大时间尺度上存在7~15年的周期变化;在15年时间尺度上存在明显10年左右的周期变化;在9年时间尺度上存在2~9年的周期变化;在3年以下较小时间尺度上周期振荡明显加强,周期较短、无稳定周期,说明降水存在明显的不确定性。夏季降水量存在准3年和准8年的变化周期,8年左右的周期在30年中始终存在^[17];张利平等^[18]对我国华北地区降水量115年(1886—2000年)的变化分析表明,降水量主要存在着准60年、10~20年、2~5年左右的周期。

牧草的生长发育主要受降水和温度的影响。其中,温度主要控制牧草生育期的长短,降水直接影响牧草的生长发育状况,即充足的水分条件是满足牧草生长发育的基础。夏季(6—8月)是牧草生长发育的关键期,也是需水的关键期。分析发现,牧草生长状况的好坏随降水量的周期变化而变化,在较小的时间尺度上表现尤为明显。有关研究表明,夏季降水量 ≥ 10 mm过程降水对牧草的生长起关键作用^[19]。大气降水的时间分布对天然牧草产量影响不同,以6月下旬最大,降水量每增减1 mm,牧草产量增减 $18.4 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ ^[20]。降水量的多少不但影响牧草生长发育状况,而且还影响牧草营养成分的积累和含量,但不同群落时空变化导致了水分利用效

率的差异^[21],降水量对不同草原类型牧草营养成分的影响远大于固定区域(当地)。研究发现,典型草原牧草营养成分在荒漠化草原、典型草原和草甸草原3个草原类型中居中等水平,高于草甸草原、低于荒漠化草原^[22],与降水量的空间分布呈一定的负相关关系。说明3种草原类型区的降水量是导致上述结果的主要原因之一。因此,降水量的多少决定了草地植被的生长状况和牧草营养成分。

降水减少的原因涉及气候变化等多方面因素^[23]。本研究利用小波分析方法,分析研究区半个世纪来夏季降水的变化趋势和多时间尺度变化特征仅是一次初步的尝试,尚需进一步深入研究。

参考文献

- [1] 黄凤茹,贺俊杰,乌丽莎,任素芳,冀刚,郝艳霞.近半个世纪来锡林郭勒盟地区气温变化特征分析[J].干旱区资源与环境,2011,25(10):126-130.
- [2] 丁一汇,任国玉,石广玉,宫鹏,郑循华,翟盘茂,张德二,赵宗慈,王绍武,王会军,罗勇,陈德亮,高学杰,戴晓苏.气候变化国家评估报告(I):中国气候变化的历史和未来趋势[J].气候变化研究进展,2006,2(1):3-8.
- [3] 刘学仆,赵黎明,王颖.京津冀区域春夏季降水的气候变化[J].地理学与国土研究,2002,18(4):72-76.
- [4] 黄荣辉,徐予红,周连童.我国夏季降水的年际变化及华北干旱趋势[J].高原气象,1999,18(4):465-476.
- [5] 杨广基.华北地区的降水特征及趋势估计[J].高原气象,1999,18(4):668-677.
- [6] 杨辉,宋正山.华北地区水资源多时间尺度分析[J].高原气象,1999,18(4):496-508.
- [7] 马京津,高晓清,曲迎乐.华北地区春季和夏季降水特征及气候相关的分析[J].气候与环境研究,2006,11(3):321-329.
- [8] 郝艳霞,韩峰林,徐践,董春艳,黄凤茹.城市热岛效应及对锡林浩特气候变化的影响[J].内蒙古气象,2010(6):34-37.
- [9] 王学强,董春艳,杜爱萍,王敏.1961—2009年锡林郭勒盟气温突变特征分析[J].内蒙古气象,2011(1):22-24.
- [10] 黄凤茹.锡林浩特市冬季采暖期气温变化特征与节能效应分析[J].内蒙古科技与经济,2010(22):67-68.
- [11] 马开玉,张耀存,陈星.现代应用统计学[M].北京:气象出版社,2004:15-16.
- [12] 魏凤英.现代气候统计诊断与预测技术[M].北京:气象出版社,1999:106-113.
- [13] Lauenroth W. Grassland primary production: North American grasslands in perspective[A]. Perspectives in Grassland Ecology[C]. New York: Springer Verlag, 1979: 3-24.
- [14] McNaughton S J. Ecology of Grazing Ecosystem: The Serengeti[J]. Ecological Monograph, 1985, 55(3): 259-294.
- [15] 段丽瑶,梁平德,荣艳淑.冬春亚洲大气环流与华北中部夏季降水的相关分析[J].气象科技,2007,35(5):651-654.
- [16] 许月卿,李双成,蔡运龙.基于小波分析的河北平原降水变化规律研究[J].中国科学D辑(地球科学),2004,34(12):1176-1183.
- [17] 韩军彩,周顺武,王传辉,岳艳霞.华北地区近30年降水变化特征分析[J].安徽农业科学,2010,38(34):19644-19646,19680.
- [18] 张利平,朱存稳,夏军.华北地区降水变化的多时间尺度分析[J].干旱区地理,2004,27(4):548-552.
- [19] 成喜良.浅析西乌珠穆沁地区6月至8月降水与牧草生长的关系[J].内蒙古科技与经济,2013(12):286.
- [20] 王英舜,杨文义,贺俊杰,张银锁.草原干旱对天然牧草生长发育及产量形成的影响[J].气象,2001,27(2):12-15.
- [21] 侯琼,魏学占,宋学峰.不同水分因子对内蒙古典型草原牧草产量的影响[J].草业科学,2009,26(2):5-10.
- [22] 史激光.锡林郭勒天然草地营养成分评价[J].草业科学,2012,29(12):1941-1944.
- [23] 徐宗学,张楠.黄河流域近50年降水变化趋势分析[J].地理研究,2006,25(1):27-34.

(责任编辑 武艳培)