

1976 – 2010 年榆林市降水时空变化趋势分析

常肖杰, 沈冰, 黄领梅

(西安理工大学 西北旱区生态水利工程国家重点实验室培育基地, 陕西 西安 710048)

摘要: 利用榆林市及其周边的 109 个雨量站 1976 – 2010 年逐月降水资料, 运用 Mann – Kendall、经验正交函数 (EOF)、小波分析, 并结合 Arcgis10.1 的空间分析工具, 分析了榆林市降水量 35 年来的时间变化趋势和空间演变特征。结果表明: 榆林市年降水主要呈东南向西北递减的趋势; 各站点 35 年的年、汛期、枯季降水量趋势变化增减不一, 年降水量表现出减小的趋势。榆林市大致存在两种主要降水型: 总体一致型和东北 – 西南走向型, 其中, 东北 – 西南降水型是榆林市的典型降水类型, 这主要是由地形条件和气候因子决定的。时间系数表征了该空间型的时间变化特征, 从时间系数的波动来看, 年、汛期、枯季降水量年际震荡比较显著。通过小波分析揭示了降水空间结构的周期变化特征, 结果显示年降水、汛期降水的周期变化显著, 不仅存在 6 ~ 7a 的短周期高频变化, 还存在 20a 以上的长周期低频变化特征, 枯季降水则只存在一种周期变化。这种周期变化特征可能与东亚季风的周期变化规律有关, 也符合大尺度天气系统的周期变化规律。

关键词: 降水; 时空分布; 经验正交函数 (EOF); 榆林市

中图分类号: TV125; P426.61⁺4

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2016)02-0030-06

Trend analysis of spatial – temporal change of precipitation in Yulin from 1976 to 2010

CHANG Xiaojie, SHEN Bing, HUANG Lingmei

(State Key Lab Cultivation Base of Northwest Arid Ecology and Hydraulic Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

Abstract: The paper used monthly precipitation data from 109 stations over Yulin City from 1976 to 2010, applied Mann – Kendall test, empirical orthogonal function (EOF) and wavelet analysis, and combined with the spatial analysis tools of Arcgis10.1 to analyze the spatial – temporal variability characteristics of precipitation in Yulin during last 35 years. The results indicate that the annual precipitation decreases from the southeast to the northwest, and the precipitation of annual, flood period and dry season each site show different trends and annual precipitation shows a decreasing trend. There are two main types of precipitation in Yulin that are consistency of all precipitation and the northeast – southwest direction type. Among these distribution types, the northeast – southwest precipitation are the typical precipitation type in Yulin, which is determined by the terrain conditions and climate factors. The time coefficients each distribution type can describe time – varying characteristics of each type. From the fluctuation of time coefficient, there is a notable inter – annual oscillation of annual, flood and dry season precipitation. The paper revealed the periodic variation of precipitation spatial structure by wavelet analysis. The result showed that the period change of annual precipitation and precipitation of flood period is remarkable. There is not only a short period and high frequency variation of 6 – 7a, but also a low frequency variation of 20 a. There is only one periodic variation in dry season. This period characteristics may be related to the periodic variation law of the east Asian monsoon, which is also conformed to cycle variation discipline in large – scale climate system.

Key words: precipitation; spatial-temporal change; empirical orthogonal function (EOF); Yulin

收稿日期: 2015-09-28; 修回日期: 2015-11-26

基金项目: 国家自然科学基金重点项目 (50939004); 陕西省教育厅重点实验室项目 (12JS067)

作者简介: 常肖杰 (1990-), 女, 河南周口人, 硕士研究生, 主要从事水文水资源及农业水利研究。

通讯作者: 沈冰 (1948-), 男, 浙江湖州人, 教授, 主要从事旱区水文过程及水资源演变研究。

大气降水是水资源的直接来源,区域降水量的多少及其时空分布很大程度上反映该地区的干湿程度^[1]。由于地形条件、地理位置、海拔高度、下垫面条件等多种因素的影响,降水量在空间上存在不同程度的变异性^[2]。随着气候变化和人类活动的加剧,水资源在时间和空间上得到了重新分配,因而,降水时空分布研究也受到了广泛的关注^[3]。榆林市位于我国的西北地区,地貌类型比较独特,地形较为复杂,气候相对干燥,水资源分布不均,是我国为数不多的能源资源富集区,水资源的匮乏很大程度上限制了能源的开发与利用。本文将采用 Mann-Kendall 秩次相关检验对榆林市降水量进行趋势分析,结合 EOF 揭示可能影响降水量空间变化趋势的因素,以期能够对榆林市降水时间、空间变化趋势作进一步探究,揭示榆林市降水时空演变规律,为该地区水资源规划提出科学依据。

1 研究区概况

榆林市位于陕西省北部,地处东经 $107^{\circ}28' \sim 111^{\circ}15'$,北纬 $36^{\circ}57' \sim 39^{\circ}35'$ 之间,总面积约 $43\,578\text{ km}^2$ 。榆林市处在毛乌素沙地与黄土高原的过渡地带,地形比较复杂,地貌分为风沙滩区和黄土高原沟壑区,区域内水土流失严重,海拔在 $560 \sim 1\,907\text{ m}$ 之间。属温带大陆性气候,根据 1976-2010 年同期系列分析计算多年平均降水量为 379.2 mm ,空间分布在 $299.3 \sim 498.0\text{ mm}$ 之间,汛期 5-9 月降雨量占全年降水量的 83%,属于干旱向半干旱半湿润的过渡区^[3]。

对榆林市 12 个气象站的数据进行统计,结果显示榆林市 1990 年以后的年均气温比 1990 年以前的年均气温高 0.7°C ,且 20 世纪 90 年代后的升温速率接近 90 年以前的 3 倍;空气年均相对湿度、年均水汽压分别以 0.9% (10a)、 0.54Pa (10a) 的速率下降;年平均日照时数也在以 1.8 h/a 的速率减少。20 世纪 70 年代以来,榆林市修建了大规模的水土保持工程如水库、梯田、排导沟、淤地坝等^[4],这些人类活动改变了该地区的水文循环条件,在时空上重新分配水资源,降水时空分布规律呈现出了新的特征。因而,研究该地区降水时空分布特征十分必要。

2 资料与方法

2.1 数据来源及处理

本文选取榆林市及其周边资料比较完整,分布比较均匀的 109 个雨量站(80 个境内站点、29 个周

边站点),收集到 35 年(1976-2010)的降水资料,基本上能够反映该地区的降水空间变化特征。资料均来源于黄河流域水文资料,比较可靠。对于有实测资料缺测的站点,采用邻近且相关性较好的测站的实测资料进行回归插补^[5]。

2.2 研究方法

在资料插补的基础上,首先,对榆林市境内 80 个测站 35 年的资料系列进行时间变化特征分析,主要采用 Mann-Kendall^[6] 秩次相关检验法;空间分布采用经验正交函数(EOF)法对 109 个测站 35 年的降水资料构成的向量场进行分解,以载荷向量场的空间分布来反映榆林市降水时空分布特征;空间插值方法采用协同 Kriging 插值法^[7],最后利用 ARCGIS10.1 绘图软件绘制多年平均降水量分布图、M-K 统计量以及载荷向量场的空间分布图。由于降水资料的空间变异性强,在进行 EOF 空间分析之前,对各个站点每年的降水资料均采用距平百分率进行标准化处理,EOF 的计算方法请参见魏凤英《现代气候统计诊断与预测技术 第 2 版》^[8]。

3 结果分析

3.1 榆林市年平均降水变化趋势

依据收集到的降水资料,采用协同 Kriging 插值方法,给出 1976-2010 共 35 年的年平均降水量分布图(图 1)。可以看出,榆林市年平均降水量由东到西、由南向北逐渐递减,降水量呈西北少东南多的趋势,这与我国的降水量分布特征一致。降水量最少的地区出现在定边县西南部为 320 mm ,降水量最多的地区在清涧县东南部为 470 mm ,最多与最少相差 150 mm ,这主要是因为定边县地势较高,从东南方向来的暖湿气流被黄土高原阻挡,可见降水量的多少与高程的关系较为密切。

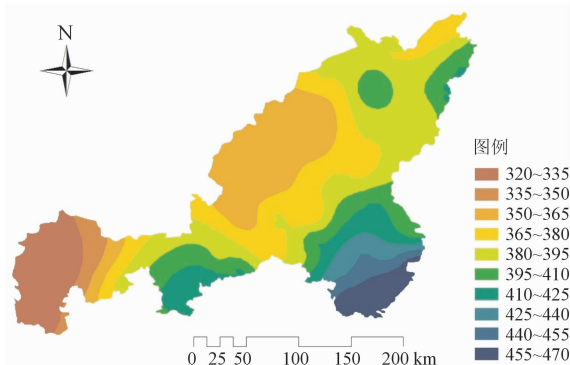


图1 榆林市多年平均降水量分布图

3.2 榆林市降水量 35 年变化趋势特征分析

采用 M-K 秩次检验法,对 80 个境内站点年、汛

期、枯季 3 个尺度的降水趋势进行分析,得到降水量趋势的空间变化特征,如图 2,就各站增减趋势来看,榆林市年降水量和枯季降水量在大部分地区呈增大的趋势,接近 60%,其中年降水量呈增加趋势的站点比较分散,枯季降水量呈增加趋势的站点比较集中,且大部分在无定河两岸;汛期降水量呈增加或减少趋势的站点均在 50% 左右,且比较分散。不论是年、汛期还是枯季通过 95% 置信度的站点都不足 10%,且枯季没有一个站点通过 95% 置信度检验(见表 1)。从不同时间尺度的降水量变化趋势来看,汛期降水量和年降水量变化趋势基本一致,但仍有 11 个站与年

降水量呈相反趋势变化,有 30% 的站点枯季降水量与年降水量变化趋势不一致。

表 1 榆林市 35 年各时间尺度降水量 M-K 趋势 检验不同增减程度的站点数				
趋势	显著性	年	汛期	枯季
增大	显著	2	2	
	不显著	44	39	48
减小	显著	3	3	
	不显著	27	34	29
不增不减		4	2	3

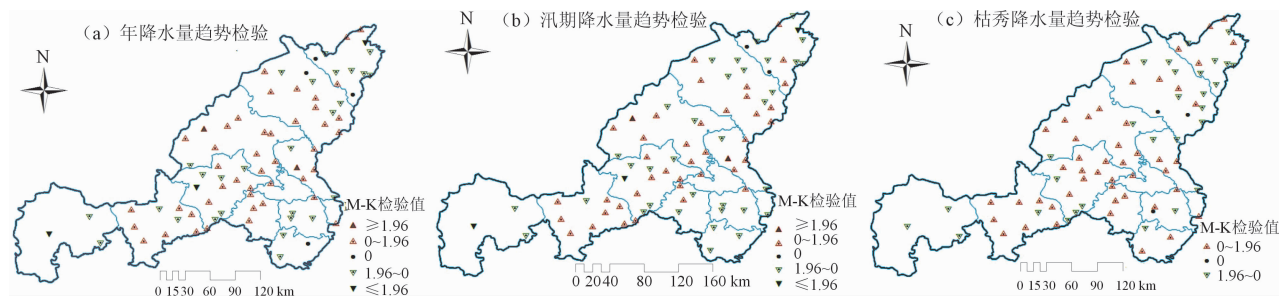


图 2 榆林市 80 个站点年降水量变化趋势

通过上述分析,可知 3 个尺度的降水量变化趋势不尽相同,故需要进一步分析降水的变化特点。

3.3 榆林市年、汛期、枯季的降水量空间分布特征

首先对 109 个站点 1976 - 2010 年 3 个时间尺度的降水量资料进行标准化处理,然后对标准化后的平均降水量做主成分分析,给出前 10 个载荷向量的方差贡献率和累计方差贡献率(表 2 ~ 4),可以看出,前 2 个载荷向量的方差贡献率已累计达到 60% 之多,枯季甚至达到 75%,且通过了 North 显著性检验,说明前 2 个载荷向量能够有效分离^[9]。因此,前两个载荷向量场能够充分地揭示榆林市降水空间分布类型。

3.3.1 年降水量 如表 2,第一载荷向量场的方差贡献率为 51.1%,已超过贡献量的一半,是榆林市最主要的空间分布类型。从图 3(a)中可以看出整个榆林市均为正值,表现出该地区降水具有整体一致型的特点,即榆林市多数年份的年降水量普遍偏多或普遍偏少,很显然这与大尺度天气系统的影响有关;另外,最大正值中心出现在无定河流域上中游即榆林市的中心,表明降水一致性特征在此处显得更加突出。结合该载荷向量对应的时间系数,进一步揭示研究区这一分布类型的时间变化特征。从图 3(c)可以看出 1978、1985、1988、2001、2003 和 2007 等年份降水量一致偏多,可以视为湿润年,而 1980、

1989、1993 和 1997 等年份降水量一致偏小,可以视为干旱年。另外,时间系数正负值交替出现,具有明显的年际变化特征。而事实上,榆林市深居西北内陆地区,远离海洋,降水量小,同时又受东亚季风进退快慢的影响,使得降水年际变化明显。

第二载荷向量空间(图 3(b))反映了榆林市降水的地域差异性,空间分布呈东北 - 西南逐渐减小的趋势,大致以 38°25'N 为分界线,正值分布在研究区的东北部,西南部为负值区,表明第二模态反映了以东北 - 西南为主的降水分布型。这种分布特征可能是受气候条件和地形因素共同作用而形成的。由时间系数(图 3(d))可以看出,1980 年前后和 21 世纪初出现负值区,以 2001 年最为典型,体现了该时间段内榆林市东北部偏枯,西南部偏丰的空间特性。而 1977、1995 等年份里,出现了与之相反的降水特性。

3.3.2 汛期 对汛期前两个载荷向量展开分析,汛期第一载荷向量场(图 4(a))与年第一载荷向量场具有一致性,研究区大部分地区都为正值,正值中心区也出现在无定河流域上中游区,体现了榆林市汛期降水的整体一致性,具有同旱、同涝的特点。进入汛期后,由于受季风的影响,榆林市进入雨期,降水量大且分布集中,这种特点在无定河中游更为显著。时间系数(图 4(c))正负接近 50%,代表了该研究区一致偏多或一致偏少的年份各占一半,时间系数

正负交替出现更为频繁,震荡较大,汛期降水年际变化强烈,这可能与季风气候的不稳定有关。因此,1978、1996等年份汛期降水偏多,而2002、2003等年份则偏小,相对干旱。

表2 年降水量 EOF 分析前 10 个载荷向量的方差贡献率及累计方差贡献率

载荷向量序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
方差贡献/%	51.1	10.4	5.1	4.3	3.1	2.9	2.2	2.2	2.1	1.7
累计方差贡献/%	51.1	61.5	66.6	70.9	74.0	76.9	79.1	81.3	83.4	85.1

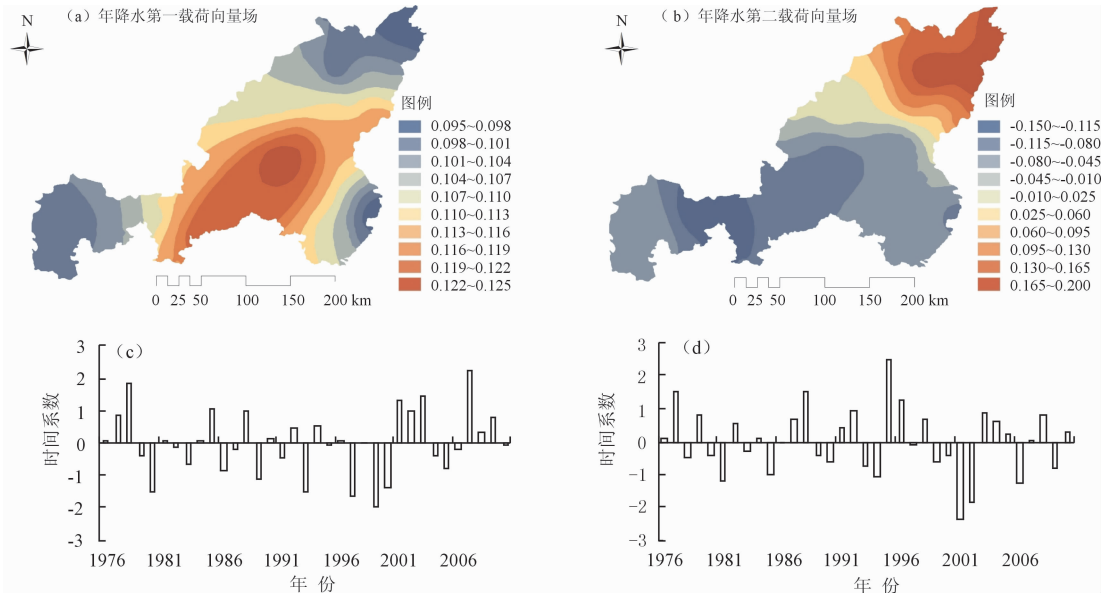


图3 榆林市年降水量 EOF 第一、第二载荷向量空间分布及标准化后的时间系数

表3 汛期降水量 EOF 分析前 10 个载荷向量的方差贡献率

载荷向量序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
方差贡献/%	51.5	10.5	5.1	4.3	3.1	2.7	2.3	2.2	1.9	1.7
累计方差贡献/%	51.5	62.1	67.1	71.4	74.5	77.2	79.5	81.6	83.5	85.2

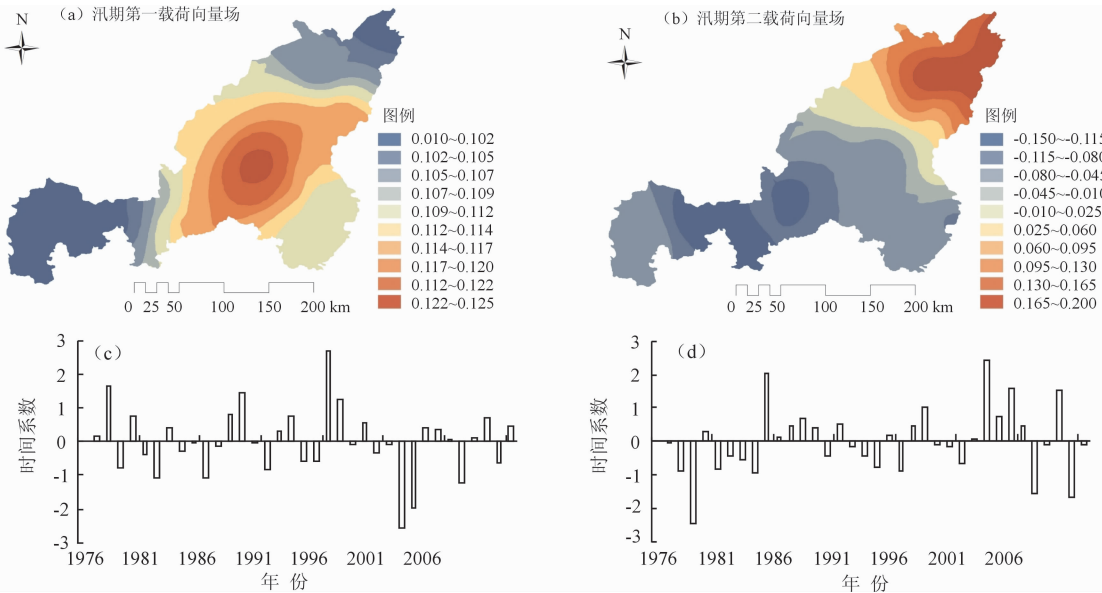


图4 榆林市汛期降水量 EOF 第一、第二载荷向量空间分布及标准化后的时间系数

第二载荷向量场(图 4(b))与年降水的第二载荷向量相似,也是沿东北-西南方向呈由“正”到“负”的递减趋势,可见该研究区受东北-西南走向气候带的影响深远,当然,这也受地形条件、地理位置和高程等综合因素的影响。

零值线也在 38°20'N 附近,零值线的东北为正值区,西南为负值区。结合时间系数(图 4(d)),1985 年以前以负值为主,表明在这期间东北部降水偏少,西南部偏多;20 世纪 80 年代后期和 21 世纪初正值占优势,东北部降水偏多,西南部偏少。这与年降水的变化趋势仍有差异,说明榆林市汛期降水变化趋势在一定程度上能代替年降水,但并不是无差别的。

3.3.3 枯季 枯季第一载荷向量场(图 5(a))在研究区均为正值,体现了榆林市枯季降水的空间一致性,表明枯季降水主要受大尺度的天气系统的控制,

全区旱涝同步。从时间系数(图 5(c))来看,以负值为主,而正值则以大值为主,反映了研究区枯季降水以干旱为主,具有旱涝分明的特点。其中,1991 和 2007 年枯季降水偏多的特征比较显著,其余年份以干旱为主,1995 年出现负极值,降水偏少的特征尤其显著。

第二载荷向量(图 5(b))由东北-西南呈“-、+、-”的空间分布特征,正值集中分布在 108°20'E 以东的 37~38°N 之间,最大值出现在子洲县。负值分布在 38°N 以北和 108°20'E 以西的区域,并以正值区为中心向西、北递减。主要受大气环流和地形的影响,而呈现出的一种降水类型。时间系数(图 5(d))正负各占一半,2007 和 1990 年分别为正、负极值,因此,2007 年代表子洲、清涧、绥德、米脂、及横山等地多雨,北部和西部少雨的空间型;1990 年则代表与之相反的空间型。

表 4 枯季降水量 EOF 分析前 10 个载荷向量的方差贡献率

载荷向量序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
方差贡献/%	69.5	6.3	4.3	3.2	2.8	2.0	1.7	1.4	1.2	1.0
累计方差贡献/%	69.5	75.8	80.2	83.3	86.1	88.1	89.8	91.1	92.4	93.3

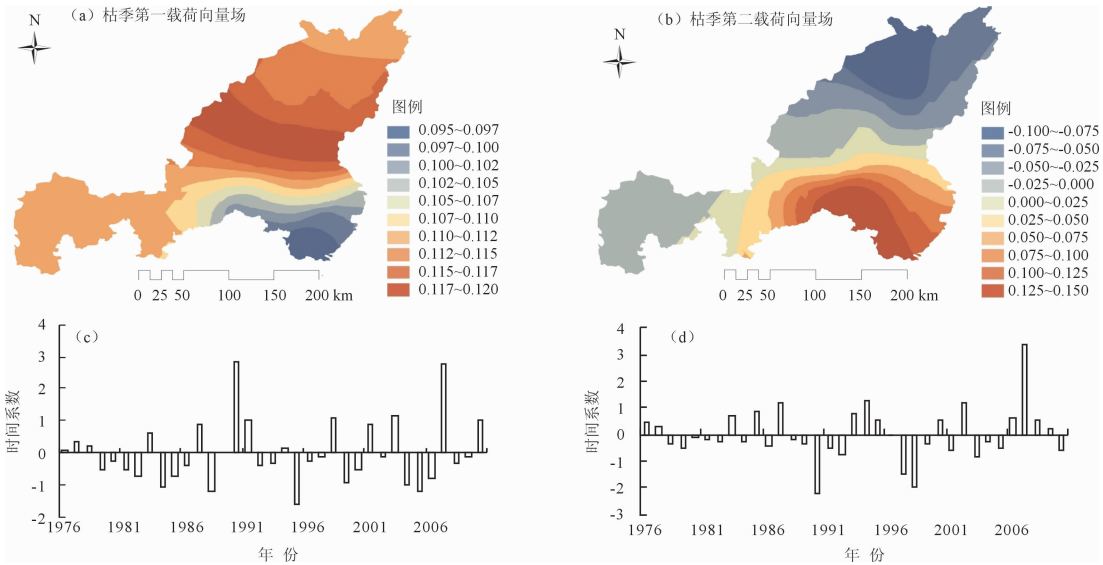


图 5 榆林市枯季降水量 EOF 第一、第二载荷向量空间分布及标准化后的时间系数

4 降水量场的周期特征分析

为了得到降水空间结构的周期特征,采用小波分析方法对时间系数进行周期分析,见表 5。由表 5 可以看出,3 个尺度的降水都具有明显的周期性,以 15a 左右的中长周期性变化为主,且都不存在 5a 以

内的短周期,第一降水向量场都存在 6~7a 的短周期变化,年降水和汛期降水都存在 20a 以上的长周期低频变化,枯季的周期比较单一,只存在一种周期范围。这种周期变化特征可能与东亚季风的周期变化有关,季风气候的变化具有一定的规律性,随海陆间气压差的变化,有节奏地进退^[10]。徐建军等^[11]

曾研究发现东亚夏季风都存在准 2a (QBO)、3 ~ 6a (LFO) 的年际振荡,16 ~ 18 a (IDO) 的年代际振荡和长期变化趋势;枯季以冬季为主,周期变化主要受冬季风的影响大约呈 12 a 和 6 a 的周期变化特征。

通过对时间系数的周期分析可以看出,榆林市水量场以 6 ~ 7a 的短周期和 15 年的中长周期震荡为主,这与东亚季风有关,也与大尺度的天气系统的变化规律相吻合。

表 5 年、汛期、枯季降水分布型的潜在周期

时段	EOF_1/a	EOF_2/a
年	6 ~ 7, 14, 22	6 ~ 7, 15, 25
汛期	6 ~ 7, 15, 25	10, 25
枯季	6 ~ 7	10 ~ 15

5 结 论

(1)近 35 a 来榆林市降水变化的空间分布特征主要呈东南向西北递减的趋势。就时间变化而言,由 M - K 趋势分析法的检验结果来看,榆林市各站点近 35 a 的年、汛期、枯季降水量趋势变化增减不一,不尽相同,有 70% 的站点表现为枯季与年降水量变化趋势不一致的特点,表明枯季降水量不是决定年降水量多少的决定因素。

(2)对榆林市 80 个雨量站点年、汛期、枯季降水序列进行经验正交函数 (EOF) 分析,结果表明第一载荷向量场中,榆林大部分地区在 3 个尺度上均具有一致的雨型分布,而第二载荷向量场的典型空间分布反映了东北 - 西南走向的区域差异。通过对时间系数的分析,结果表明榆林市呈现年、汛期、枯季降水年际震荡较大的特征。

(3)降水量场的周期特征分析表明:年降水、汛期降水的周期变化显著,不仅存在 6 ~ 7 a 的短周期高频变化,中长周期,还存在 20 a 以上的长周期低频变化特征,枯季降水则只存在一种周期变化。这种周期变化特征可能与东亚季风的周期变化规律有关,也符合大尺度天气系统的周期变化规律。

参考文献:

[1] 王小军,贺瑞敏,尚慢廷. 榆林市降水时空变化规律研究[J]. 干旱区资源与环境,2011,25(5):103 - 108.

[2] 李 军,杨 青,史玉光. 基于 DEM 的新疆降水量空间分布[J]. 干旱区地理,2010,33(6):868 - 873.

[3] 罗 琳,王忠静,刘晓燕,等. 黄河流域中游典型支流汛期降雨特性变化分析[J]. 水利学报, 2013,44(7):848 - 855.

[4] Trenberth K E. Changes in precipitation with climate change[J]. Climate Research, 2011,47(4):123 - 138.

[5] 张文纲,李述训,庞强强. 青藏高原 40 年来降水量时空变化趋势[J]. 水科学进展,2009,20(2):168 - 176.

[6] 符淙斌,王 强. 气候突变的定义和检测方法[J]. 大气科学,1992,16(4):482 - 493.

[7] 刘智勇,张 鑫,方睿红. 基于 DEM 的榆林市降水空间插值方法分析[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2010,38(7):227 - 234.

[8] 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,2008.

[9] 陈志昆. 祁连山区近 40a 来降水特征研究[D]. 兰州:兰州大学,2012.

[10] 包 云,李晓兵,黄玲梅,等. 1961 - 2007 年内内蒙古降水时空分布[J]. 干旱区地理,2011,34(1):52 - 61.

[11] 徐建军,朱乾根,施 能. 近百年东亚季风长期变化中主周期震荡的奇异谱分析[J]. 气象学报,1997,55(5):620 - 627.