

王景才,郭佳香,徐蛟,等.近55年淮河上中游流域气候要素多时间尺度演变特征及关联性分析[J].地理科学,2017,37(4):611-619.[Wang Jingcai, Guo Jiaxiang, Xu Jiao et al. Multi-time Scales Change Characteristics and Relationship of Meteorological Variables in the Upper and Middle Regions of the Huaihe River Basin in Recent 55 Years. Scientia Geographica Sinica, 2017, 37(4): 611-619.] doi: 10.13249/j.cnki.sgs.2017.04.015

近55年淮河上中游流域气候要素多时间尺度演变特征及关联性分析

王景才¹,郭佳香¹,徐蛟²,李帆¹

(1.扬州大学水利与能源动力工程学院,江苏 扬州 225127;2.江苏省水利工程建设局,江苏 南京 210029)

摘要:选取1960~2014年淮河上中游流域19个气象站点的月降水量、气温和日照时数等数据,采用气候倾向率、Mann-Kendall、Morlet小波和相关系数法,对流域年和四季降水、气温和日照时数的变化趋势、多时间尺度演变特征以及相关性进行了研究。结果表明:①降水在年和四季线性变化趋势不显著;气温除夏季不显著外,年和春、秋、冬季变暖趋势显著;日照时数除春季不显著外,年和夏、秋、冬季节变短趋势显著;②降水、气温、日照时数在年和四季分别表现出多个时间尺度的相对丰枯、冷暖和长短交替特征;第一主周期尺度及其相应的平均变化周期在年和四季有的较接近有的相差较大,第一主要平均周期介于2~10 a之间;③气温的复相关系数均小于降水和日照时数;除冬季气温复相关系数较小外,其他季节各要素均较大。降水-日照的偏相关系数绝对值在年和四季均最大。降水-日照时数、降水-气温大部分情况呈反相关关系,冬季气温和日照时数在主周期尺度28 a下呈同相变化。

关键词:气候变化;多时间尺度特征;小波分析;相关性;淮河流域

中图分类号:P339;P467 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-0690(2017)04-0611-09

气候变化的影响具有全球性和区域性^[1]。对于中国来说,降水时空分布极为不均,水资源短缺、旱涝灾害以及与水相关的生态和环境问题非常突出^[1]。中国不同区域间的气候变化趋势及幅度呈现不同的特点^[2~5],部分流域极端气候、水文事件频率和强度可能增加,水旱灾害频发的风险较大^[1]。在当前全球气候变化的背景下,需要加强区域气候要素变化规律和分布特征的研究。

气象和水文现象随时间的变化往往受到多种因素的综合影响,大都属于非平稳序列,不但具有趋势性、随机性、突变性等特征,还存在“多时间尺度”结构,具有多层次演变规律。多时间尺度是指系统特性随不同时间段发生变化,并且同一时段又包含各种时间尺度内的周期变化,即系统变化在时域存在多层次时间尺度结构和局部化特征^[6,7]。对于这类非平稳时间序列的研究,通常需要某一

频段对应的时间信息或某一时段的频域信息,小波分析因时频多分辨功能的特点为更好的研究时间序列问题提供了可能。

淮河流域位于黄河流域和长江流域之间,地处中国南北气候过渡带上,是中国重要的流域单元和粮食产区。由于特殊的地理位置,旱涝灾害频繁发生,对区域粮食生产安全^[8]、水旱灾害管理等具有重要影响。本文以淮河上中游流域作为研究区,选取降水、气温和日照时数等气候要素,分析其时间变化趋势和多时间尺度周期变化特征,并就要素周期变化的相关性展开讨论,从而研究全球变暖背景下区域降水、气温和日照时数等水热资源的时间变化特征。研究结果有助于了解区域气候变化及水热资源分布特征,对于农业生产布局 and 种植制度制定、生态资源保护和水旱灾害管理等具有重要参考意义。

收稿日期:2016-06-18;**修订日期:**2017-01-25

基金项目:江苏省高校自然科学研究面上项目(15KJB170019)、扬州大学科技创新培育基金(2015CXJ032, 2016CXJ041)、江苏省水利动力工程重点实验室开放课题(K13019)资助。[Foundation: Natural Science Foundation for Colleges and Universities in Jiangsu Province (15KJB170019), Science and Technology Innovation Fund of Yangzhou University(2015CXJ032, 2016CXJ041), Open Project Program of Jiangsu Province Key Laboratory of Hydrodynamic Engineering(K13019).]

作者简介:王景才(1984-),男,河南南阳人,博士,讲师,主要从事水文水资源与自然地理学方面的研究。E-mail:wanguofly@163.com

2 结果与分析

2.1 气候要素年和四季值的逐年变化特征

年降水、气温和日照时数的逐年变化过程见图2所示,降水变化趋势不明显,气温呈升温趋势而日照时数呈下降趋势。因篇幅所限,四季的时间变化过程不再给出,文中仅给出原始时间序列的气候倾向率、标准化序列的相对气候倾向系数和M-K检验值(表1)。

分析发现:降水在夏季和冬季分别呈现8.92 mm/10a、3.46 mm/10a的增加趋势,而年、春、秋季分别呈现-0.40 mm/10a、-7.07 mm/10a、-5.46 mm/10a的减少趋势;气温除了夏季呈现-0.01℃/10a微弱变冷趋势外,年、春夏秋冬季分别呈现0.19℃/10a、0.33℃/10a、0.20℃/10a、0.29℃/10a的增温趋势;日照时数在年和春夏秋冬季分别呈现-102.28 h/10a、-555.09 h/10a、-49.44 h/10a、-19.59 h/10a、-29.27 h/10a的变短趋势。对比标准化序列的相对气候倾向系数和M-K(Mann-Kendall)检验值:降水变化趋势不明显,没有通过置信度为95%的显著性检验;气温除夏季以外,年和春夏秋冬季均表现出显著变暖趋势,通过了置信度为99%的显著性检验;日照时数除春季以外,年和夏秋冬季均表现出显著变

短趋势,也通过了置信度为99%的显著性检验。分析结果与当前全球气候变暖的事实以及中国东部可能因受雾霾影响而导致日照时数减少的情况较为符合,在该流域组织农业生产和制定种植制度时需要综合考虑区域气候变化情况。

2.2 气候要素多时间尺度周期变化特征

多时间尺度的周期变化特征,可通过降水、气温和日照时数标准化时间序列的小波系数实部等值线(图3)来分析。

年气候要素演变过程中(图3中a1、b1、c1),降水存在3类尺度的周期变化,丰枯交替在21~32 a尺度上呈现准3次振荡且在分析时段内表现较稳定,8~19 a尺度呈现准6次振荡但表现不稳定,3~7 a尺度振荡较为频繁但也不稳定。气温存在3类尺度的周期变化,暖冷交替在20~32 a尺度呈现准3次振荡且在分析时段表现较稳定,8~19 a尺度呈现准6次振荡且表现较稳定,3~7 a尺度约呈现准13次振荡且表现较稳定。日照时数随时间呈现多重尺度周期变化,较大尺度方面,1985年以前主要为29~32 a和11~28 a两类尺度,分别呈现准1和准2次振荡;1985年以后为20~32 a和10~18 a两类尺度,分别呈现准2和准3次振荡;而在整个分析时段,3~9 a尺度周期变化较稳定,呈现准11次振

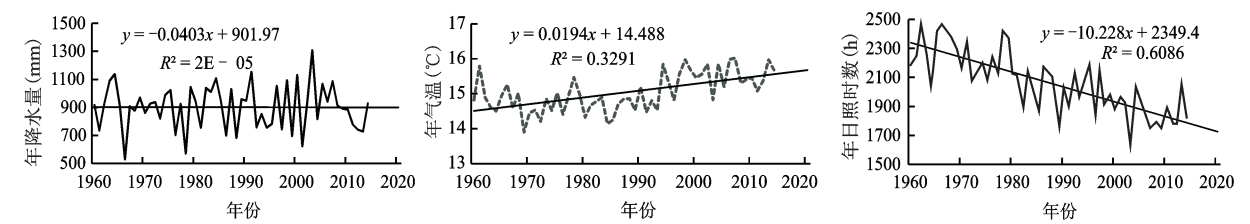
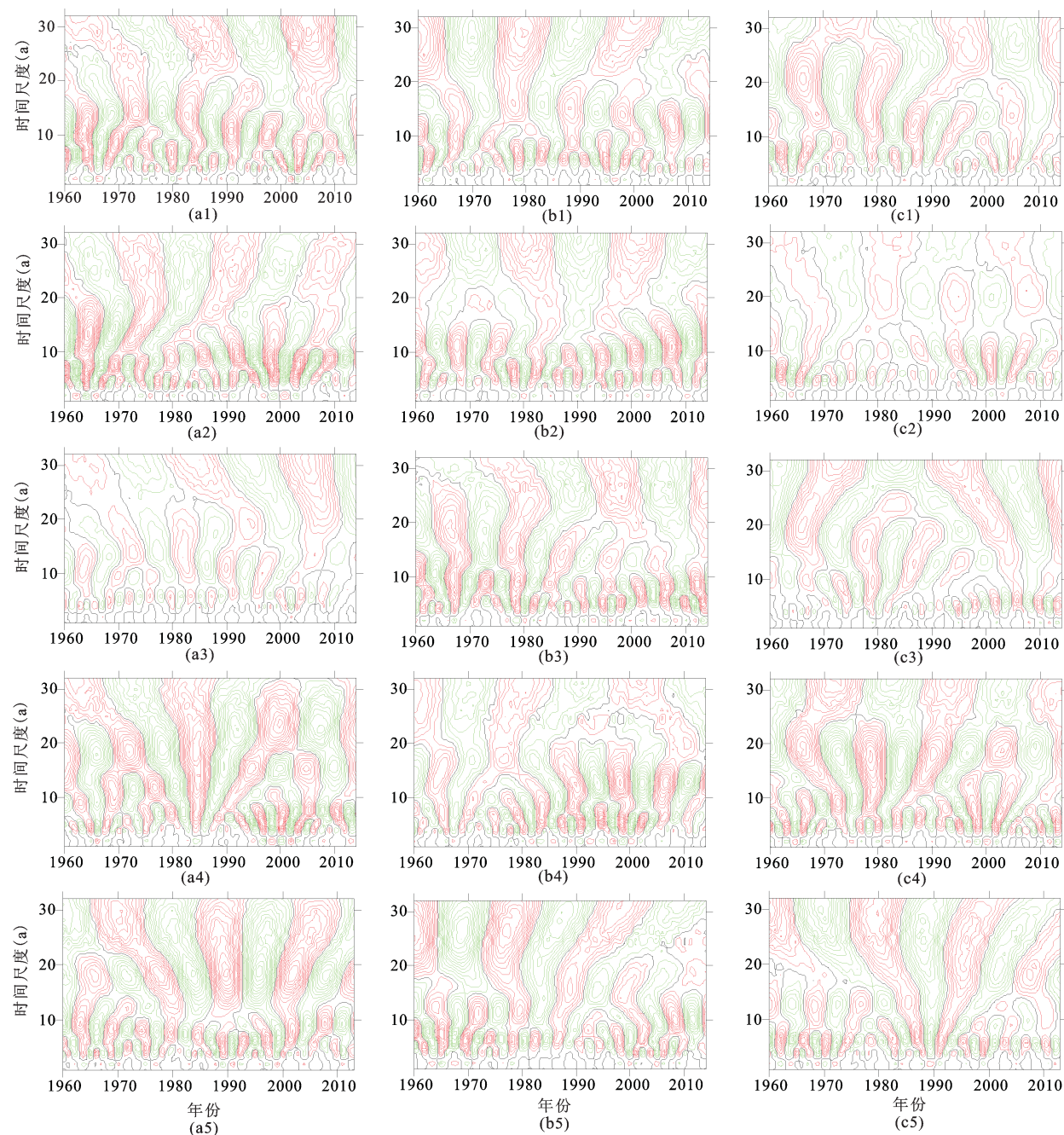


图2 气候要素年序列1960~2014年的变化过程及其线性趋势
Fig.2 Changes of annual meteorological variables and their linear trends in 1960-2014

表1 气候要素年和四季时间序列及其标准化序列的线性趋势和Mann-Kendall检验值

时间尺度	气候倾向率			相对气候倾向系数			M-K 检验值		
	降水 (mm/10a)	气温 (℃/10a)	日照时数 (h/10a)	Z降水 (/10a)	Z气温 (/10a)	Z日照时数 (/10a)	降水	气温	日照时数
年	-0.403	0.194	-102.280	-0.003	0.358	-0.487	-0.23	4.09	-6.34
春季	-7.072	0.328	-5.089	-0.096	0.350	-0.077	-0.58	4.07	-0.77
夏季	8.921	-0.009	-49.443	0.076	-0.013	-0.478	0.35	0.00	-6.20
秋季	-5.464	0.201	-19.568	-0.074	0.289	-0.272	-1.22	3.64	-3.28
冬季	3.463	0.288	-29.273	0.104	0.287	-0.374	1.39	3.17	-4.82

注:加粗数字代表变化趋势较为显著。



注:实线中红色表示增加趋势,绿色表示减少趋势,黑色表示0等值线。a.降水、b.气温、c.日照时数;1~5分别对应年、春、夏、秋、冬季。

图3 气候要素标准化时间序列小波系数实部等值线

Fig.3 Contour maps of the real part of the wavelet coefficients for the standardized meteorological variables

荡。年气候要素值在较长时间尺度下的气温和降水的周期演变特点较为接近,而日照时数与前两者较为不同;但在较短时间尺度(如3~7 a),三者的周期演变规律略微接近。

春季气候要素演变过程中(图3中a2、b2、c2),降水随时间呈现多重尺度周期变化,枯丰交替在21~32 a尺度上呈现准3次振荡,在整个分析时段

较为稳定和具有全域性;12~19 a尺度呈现准5次振荡;7~11 a尺度上呈现准10次振荡;3~6 a尺度在1970s年代中期以后表现突出,大约出现准11次振荡。气温存在3类尺度的暖冷交替周期变化,21~32 a尺度呈现准3次振荡且在整個分析时段表现的较为稳定和具有全域性,8~15 a尺度呈现准8次振荡但在1980~1995年期间不具有全域性,3~6

a尺度上冷暖交替较为频繁且在20世纪70年代中后期以后表现的较为稳定。日照时数随时间呈现多重尺度周期变化,较大的15~26 a尺度在整个分析时段上较为稳定且具有全域性,呈现准4次振荡;中小尺度在2000年以前主要为3~8 a尺度,呈现准11次振荡,在2000年以后主要为3~12 a尺度,呈现准2次振荡。

夏季气候要素演变过程中(图3中a3、b3、c3),降水存在3类尺度变化周期,枯丰交替在24~32a尺度呈现准3次振荡,8~21尺度呈现准7次振荡,3~7a尺度丰枯交替较为频繁。气温在1980s年代中期前后均存在4类尺度的变化周期,中长尺度在1980s中期以前主要有28~32 a和12~26 a两类尺度周期且冷暖交替分别呈现为准1次和准2次振荡,1980s中期以后主要为20~32 a和12~18 a两类尺度周期且分别呈现为准2次和准4次振荡;而8~12a尺度和3~7 a尺度在整个分析时段内较为稳定,分别呈现准9次和准16次振荡。日照时数存在3类尺度的变化周期,短长交替在28~32a尺度呈现准3次振荡且在分析时段内表现较稳定,12~25 a尺度呈现准5次振荡,3~8 a尺度在1990s中期以后约呈现准5次振荡。

秋季气候要素演变过程中(图3中a4、b4、c4),降水在1985年前后存在多重尺度周期变化现象,1985年前主要有4类尺度,丰枯交替在25~32 a尺度上呈现准2次振荡,16~24 a尺度呈现准2次振荡,8~15 a尺度呈现准3次振荡,3~6 a尺度呈现准6次振荡;1985年后主要有3类尺度,丰枯交替在19~32 a尺度呈现准2次振荡且表现较稳定,13~18 a尺度呈现准3次振荡且表现较稳定,3~8 a尺度上呈现准7次振荡但表现不稳定。气温存在3类尺度周期变化,暖冷交替在20~32 a尺度上的周期振荡较稳定但表现不突出,9~18 a尺度上的周期振荡在1985年后表现较突出且呈现准3次振荡,3~8 a尺度上的周期振荡在1985年以后表现较突出且呈现准7次振荡。日照时数存在3类尺度周期变化,长短交替在25~32 a尺度呈现准3次振荡,14~24 a尺度呈现准4次振荡且表现较突出,3~10 a尺度呈现准12次振荡。

冬季气候要素演变过程中(图3中a5、b5、c5),降水在1985年前后存在多重尺度周期变化现象,1985年以前主要有3类尺度,枯丰交替在23~32 a尺度呈现准2次振荡,15~22 a尺度呈现准2次振

荡,5~12 a尺度呈现准5次振荡;1985年以后主要有2类尺度,枯丰交替在15~32 a尺度呈现准2次振荡(中心尺度18 a的周期表现最为明显),4~12 a尺度呈现准6次振荡。气温存在4类尺度的周期变化,其中大尺度20~32 a和小尺度3~9 a的周期变化贯穿整个分析时段,分别呈现冷暖交替的准3和准11次振荡;中尺度的周期变化存在2类,即1985年以前表现为在10~15 a尺度上的准3次振荡,1985年以后表现为14~20 a尺度上的准3次振荡。日照时数在分析时段内存在3类尺度周期变化,长短交替在18~32 a尺度呈现准3次振荡,9~15 a尺度呈现准6次振荡,3~8 a尺度呈现准13次振荡。

通过年和四季气候要素的周期振荡特点和规律,可以从实部等值线图中预测和分析未来气候要素值的变化情况,如降水相对丰枯、气温相对冷暖以及日照时数相对长短的变化趋势,从而能够对流域水资源进行科学管理以及灵活根据光热条件对农业生产种植布局进行科学规划等。

2.3 气候要素多时间尺度演变的主周期尺度及其变化周期

小波方差能反映信号波动的能量随尺度的分布,可确定信号中不同种尺度扰动的相对强度和存在的主要时间尺度,即主周期,可由小波方差图峰值得出^[13]。流域年和四季降水、气温和日照时数标准化时间序列的小波方差图见图4。表2统计了气候要素标准化时间序列的主周期尺度以及第一主周期下的降水相对丰枯、气温相对冷暖和日照时数相对长短变化的主要平均周期。

主周期尺度较为接近的有年降水和气温、春季降水和日照时数、秋季降水和日照时数、冬季气温和日照时数。基于第一主周期尺度表现出来的平均变化周期在8~10 a的有:年降水、年气温和年日照时数,春季气温,夏季日照时数,冬季气温和冬季日照时数;平均变化周期在5~7 a的有:秋季降水和秋季日照时数,冬季降水;平均变化周期在4 a以下的有:春季降水和春季日照时数,夏季降水和夏季气温,秋季气温。至于气候要素在同一时间尺度下部分存在主周期尺度差异较大的情况,可能与要素本身的变化特点有关,需结合气候学和气象学理论进一步的分析。

2.4 气候要素变化的关联性分析

2.4.1 相关性分析

通过复相关系数(表3)结果,除了冬季气温的

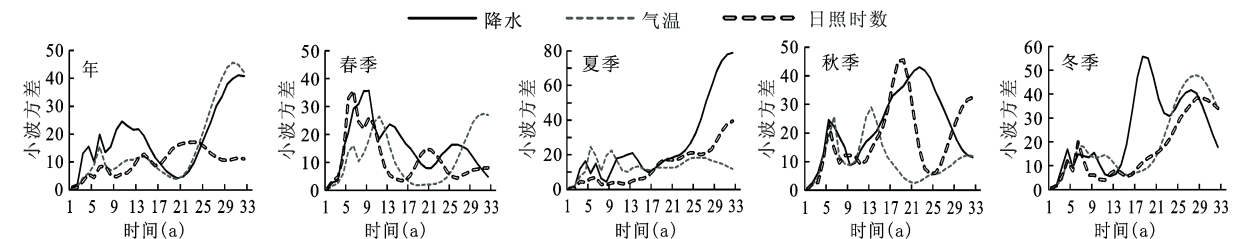


图4 年和四季气候要素标准化时间序列的小波方差

Fig.4 Wavelet transformation variances for the standardized meteorological variables in annual and four seasons

表2 年和四季气候要素的主周期尺度及第一主周期尺度下的平均变化周期

Table 2 Main period scales and the mean change cycle on the first main period scale of the meteorological variables for annual and four seasons						
要素	第一主周期尺度(a)	第二主周期尺度(a)	第三主周期尺度(a)	第四主周期尺度(a)	第五主周期尺度(a)	第一主周期下的平均周期(a)
年降水	31	10	13	6	4	10
年气温	30	6	14	/	/	10
年日照时数	23	14	31	7	4	8
春季降水	9	13	26	/	/	3
春季气温	31	11	6	/	/	10
春季日照时数	6	9	20	/	/	2
夏季降水	13	4	6	/	/	4
夏季气温	5	9	25	14	19	2
夏季日照时数	24	20	6	3	10	8
秋季降水	22	5	/	/	/	7
秋季气温	13	6	31	/	/	4
秋季日照时数	19	5	9	/	/	6
冬季降水	18	27	9	4	6	6
冬季气温	28	6	11	4	/	10
冬季日照时数	29	6	4	13	/	9

注:“/”为空值。

复相关系数较小外,其他季节各气候要素均受到其他要素的影响,尤其以春季较大(春季气温除外);气温的复相关系数均小于降水和日照时数,说明气温的变化可能还受到其他诸如太阳辐射、云层等因素的影响。

通过偏相关系数(表3)结果,降水-日照的偏相关系数绝对值在年和四季均最大,说明降水和日照之间的相互影响要大于气温对降水、日照的影响,这与气温的复相关系数小于降水和日照的复相关系数有关。降水-气温、降水-日照时数的

表3 降水、气温和日照时数的复相关系数和偏相关系数

Table 3 Multiple and partial correlation coefficients of the time series for precipitation, temperature and sunshine hours

要素	复相关系数			偏相关系数		
	降水	气温	日照时数	降水-气温	降水-日照	气温-日照
年	0.508	0.449	0.503	-0.386	-0.452	-0.379
春	0.695	0.439	0.697	-0.187	-0.620	0.196
夏	0.537	0.511	0.573	-0.237	-0.377	0.330
秋	0.625	0.411	0.570	-0.407	-0.568	-0.275
冬	0.635	0.063	0.636	-0.028	-0.635	-0.062

偏相关系数为负值,在大部分时段其绝对值较大,反映出在绝大部分时段内呈现此消彼长的反相关系。而气温-日照时数的偏相关系数有正有负,但其绝对值不是很大,说明气温-日照时数之间的关系大部分时段应为同相关系。至于春夏季气温-日照时数的偏相关系数表现为正值这一点,可以从春夏季气温和日照时数标准化序列的相对气候倾向系数(表1)看出原因,春季气温升温趋势较大而日照时数相对气候倾向系数几乎接近正值,夏季气温和日照时数均表现下降趋势,2个季节变化趋势基本相当。总体来看,气温与降水和日照时数的偏相关系数在春季和冬季较小,尤以冬季最低。结合冬季气温的复相关系数为0.063,可知与冬季气温受到降水、日照的影响较小有关。

2.4.2 相近周期尺度下气候要素增减变化特点

为了比较降水、气温和日照时数变化的相互联系,基于表2选择平均周期接近一致的要素进行分析,如:年降水、年气温和年日照时数(时间尺度统一取30 a),春季降水和春季日照时数(时间尺度统一取8 a),秋季降水和秋季日照时数(时间尺度统一取21 a),冬季气温和冬季日照时数(时间尺度统一取28 a)。从小波系数实部变化过程(图5)中可以看出,降水和日照时数大部分情况呈反相关系,气温和日照时数冬季呈同相变化。这一点可

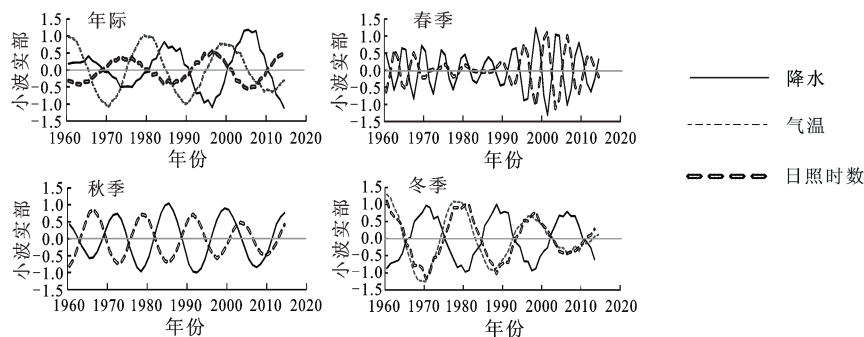


图5 同一时间尺度下气候要素小波系数实部变化过程

Fig.5 Changes of the real part of the wavelet coefficients for meteorological variables based on the same timescale

从表3中降水-日照偏相关系数绝对值较大,以及冬季气温-日照偏相关系数绝对值较小的结果中得到佐证。以上情况与降水较多期间因为阴雨天气导致日照时数较短有关,而太阳辐射是大气增温的一个重要原因,所以日照时数与气温能够保持一种近似同相关系。日照时数与气温在变化趋势上有较强一致性的结论,与宁和平等^[4]的分析结果较为一致。至于在部分情况下气候要素正反相关系不明显,可能与流域平均值的计算方法有关,从而导致了要素之间的关系被模糊了;或与部分年份极端天气事件可能导致的气候要素统计值偏高或偏低有关,需要进一步分析。

3 结论和展望

本文基于气候要素的流域面平均值进行分析,对降水、温度和日照时数的趋势变化、多时间尺度周期演变特征以及变化的相关性进行了分析,主要结论如下:① 淮河上中游流域降水变化趋势不明显,而气温除了夏季以外均表现显著变暖趋势,日照时数除了春季以外均表现显著变短趋势。② 降水、气温和日照时数在年和四季均表现出多个时间尺度的相对丰枯、冷暖和长短交替特征,具有不同的主周期;年际变化的主要平均周期介于2~10 a之间。③ 降水-日照之间的相互影响要大于气温与降水、日照的影响。从偏相关系数以及主周期尺度或平均周期较为接近的情况而言,降水-日照时数、降水-气温大部分情况下呈现反相关系,气温和日照时数在选定主周期尺度(28 a)下冬季呈现同相变化。研究结果有助于加强区域水热光照资源分布特征的认识,对区域农业种植制度制定、水资源科学规划和洪涝干旱管理等具有

一定参考价值。

区域气候变化作为全球气候变化的一部分,受温室气体、区域内土地利用状况改变(城镇化、农业灌溉等)、气溶胶的排放等人类活动的综合影响,不同区域的降水、温度和日照时数等气候要素时间序列大都属于非平稳序列,小波分析因其具有时频多分辨功能的特点为解决此类问题的分析提供了较好的研究方法。文中关于不同要素变化的关联性分析,采用的是偏相关和复相关系数法。此方法是假定时间序列数据处于静止状态基础上的统计分析结果,而事实上,气象要素是非平稳序列,即非线性系统。线性系统对外界影响的响应平缓、光滑,而非线性系统中参数的极微小变动,在一些关节点上,可以引起系统运动形式的定性改变。有关气候要素非线性特征的分析将在后续研究中进一步开展。另外,气候要素变化及其相互影响的原因很复杂,其影响机理有待进一步研究。

参考文献(References):

- [1] 夏军,刘春蓁,任国玉. 气候变化对我国水资源影响研究面临的机遇与挑战[J]. 地球科学进展, 2011, 26(1): 1-12. [Xia Jun, Liu Chunzhen, Ren Guoyu. Opportunity and challenge of the climate change impact on the water resource of China. *Advances in Earth Science*, 2011, 26(1): 1-12.]
- [2] 丁一汇,任国玉,石广玉,等. 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. [Ding Yihui, Ren Guoyu, Dan Guangyu et al. National assessment report of climate change(I):climate change in China and its future trend. *Advances in Climate Change Research*, 2006, 2(1): 3-8.]
- [3] 何彬方,冯妍,荀尚培,等. 安徽省50年日照时数的变化特征及影响因素[J]. 自然资源学报, 2009, 24(7): 1275-1285. [He

- Binfang, Feng Yan, Xun Shangpei et al. Climatic change of sunshine duration and its influencing factors over Anhui province during the last 50 years. *Journal of Natural Resources*, 2009, 24(7): 1275-1285.]
- [4] 宁和平, 敖泽建, 赵红岩. 甘南白龙江流域光照资源的气候变化特征[J]. *自然资源学报*, 2014, 29(7): 1207-1215. [Ning Heping, Ao Zejian, Zhao Hongyan. Climatic change of sunshine duration in the Bailong River Valley in Gannan from 1973 to 2012. *Journal of Natural Resources*, 2014, 29(7): 1207-1215.]
- [5] 赵安周, 朱秀芳, 刘宪锋, 等. 1965-2013年渭河流域降水时空变化分析[J]. *自然资源学报*, 2015, 30(11): 1896-1909. [Zhao Anzhou, Zhu Xiufang, Liu Xianfeng et al. Spatial and temporal variation of precipitation in Weihe River Basin from 1965 to 2013. *Journal of Natural Resources*, 2015, 30(11): 1896-1909.]
- [6] 桑燕芳, 王中根, 刘昌明. 水文时间序列分析方法研究进展[J]. *地理科学进展*, 2013, 32(1): 20-30. [Sang Yanfang, Wang Zhonggen, Liu Changming. Research progress on the time series analysis methods in hydrology. *Progress in Geography*, 2013, 32(1): 20-30.]
- [7] 王文圣, 丁晶, 李跃清. 水文小波分析[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005. [Wang Wensheng, Ding Jing, Li Yueqing. *Hydrology wavelet analysis*. Beijing: Chemical Industry Press, 2005.]
- [8] 俞芬, 千怀遂, 段海来. 淮河流域水稻的气候适宜度及其变化趋势分析[J]. *地理科学*, 2008, 28(4): 537-542. [Yu Fen, Qian Huaisui, Duan Hailai. Climate suitability of rice and its changes in Huaihe Watershed. *Scientia Geographica Sinica*, 2008, 28(4): 537-542.]
- [9] 徐晶, 林建, 姚学祥, 等. 七大江河流域面雨量计算方法及应用[J]. *气象*, 2001, 27(11): 13-16, 51. [Xu Jing, Lin Jian, Yao Xuexiang et al. Calculating method of area rainfall over seven river valleys and its application. *Meteorological Monthly*, 2001, 27(11): 13-16, 51.]
- [10] 马金玉, 罗勇, 梁宏, 等. 中国近半个世纪地面太阳总辐射时空变化特征[J]. *自然资源学报*, 2012, 27(2): 268-280. [Ma Jinyu, Luo Yong, Liang Hong et al. Spatial and temporal variation of total solar radiation in China in recent 50 years. *Journal of Natural Resources*, 2012, 27(2): 268-280.]
- [11] 倪夏梅, 陈元芳, 刘勇, 等. 基于小波分析的枯水径流多时间尺度分析[J]. *水电能源科学*, 2010, 28(3): 6-8. [Ni Xiamei, Chen Yuanfang, Liu Yong et al. Multiple time scale analysis of the low water runoff based on wavelet analysis. *Water Resources and Power*, 2010, 28(3): 6-8.]
- [12] 马柱国, 魏和林, 符淙斌. 中国东部区域土壤湿度的变化及其与气候变率的关系[J]. *气象学报*, 2000, 58(3): 278-287. [Ma Zhuguo, Wei Helin, Fu Congbin. Relationship between regional soil moisture variation and climatic variability over East China. *Acta Meteorologica Sinica*, 2000, 58(3): 278-287.]
- [13] 张建云, 章四龙, 王金星, 等. 近50年来中国六大流域年际径流变化趋势研究[J]. *水科学进展*, 2007, 18(2): 230-234. [Zhang Jianyun, Zhang Silong, Wang Jinxing et al. Study on runoff trends of the six larger basins in China over the past 50 years. *Advances in Water Science*, 2007, 18(2): 230-234.]
- [14] 黄晓清, 唐叔乙, 罗布次仁, 等. 近47年雅鲁藏布江中游地区汛期降水量的小波分析[J]. *气象*, 2010, 36(12): 68-73. [Huang Xiaqing, Tang Shuyi, Luo Buciren et al. Wavelet analysis of rainfall variation in the middle of yarlung zangbo river. *Meteorological Monthly*, 2010, 36(12): 68-73.]
- [15] 卢裕景, 郭纯青. 基于小波分析的青狮潭水库降水量变化规律研究[J]. *水力发电学报*, 2015, 34(6): 14-20. [Lu Yujing, Guo Chunqing. Study of rainfall changes at Qingshitian reservoir based on wavelet analysis. *Journal of Hydroelectric Engineering*, 2015, 34(6): 14-20.]
- [16] E F, P K. Wavelets in geophysics[M]. San Diego, CA: Academic Press, 1994.
- [17] Labat D. Recent advances in wavelet analyses: Part I. A review of concepts[J]. *Journal of Hydrology*, 2005, 314(1/4): 275-288.
- [18] 王文圣, 丁晶, 向红莲. 水文时间序列多时间尺度分析的小波变换法[J]. *四川大学学报: 工程科学版*, 2002, 34(6): 14-17. [Wang Wensheng, Ding Jing, Xiang Honglian. Multiple time scales analysis of hydrological time series with wavelet transform. *Journal of Sichuan University (Engineering Science Edition)*, 2002, 34(6): 14-17.]
- [19] 桑燕芳, 王栋. 水文序列小波分析中小波函数选择方法[J]. *水利学报*, 2008, 39(3): 295-300, 306. [Sang Yanfang, Wang Dong. Wavelets selection method in hydrologic series wavelet analysis. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2008, 39(3): 295-300, 306.]
- [20] 国志兴, 王宗明, 宋开山, 等. 1982-2003年东北林区森林植被NDVI与水热条件的相关分析[J]. *生态学杂志*, 2007, 26(12): 1930-1936. [Guo Zhixing, Wang Zongming, Song Kaishan et al. Correlations between forest vegetation NDVI and water/thermal condition in Northeast China forest regions in 1982-2003. *Chinese Journal of Ecology*, 2007, 26(12): 1930-1936.]
- [21] 赵明扬, 孙长忠, 康磊. 偏相关系数在林冠截留影响因子分析中的应用[J]. *西南林业大学学报*, 2013, 33(2): 61-65. [Zhao Mingyang, Sun Changzhong, Kang Lei. Application of partial correlation coefficient to canopy interception impacting factor analysis. *Journal of Southwest Forestry College*, 2013, 33(2): 61-65.]

Multi-time Scales Change Characteristics and Relationship of Meteorological Variables in the Upper and Middle Regions of the Huaihe River Basin in Recent 55 Years

Wang Jingcai¹, Guo Jiayang¹, Xu Jiao², Li Fan¹

(1. School of Hydraulic, Energy and Power Engineering, Yangzhou University, Yangzhou 225127, Jiangsu, China;

2. Water Conservancy Project Construction Bureau of Jiangsu Province, Nanjing 210029, Jiangsu, China)

Abstract: In order to understand the multi-timescales change characteristics and relations of regional meteorological variables (namely the monthly precipitation, temperature and sunshine hours) in the upper and middle regions of the Huaihe River Basin, data of 19 meteorological stations from 1960 to 2014, were analyzed by using the methods of climate tendency rate, Mann-Kendall test, morlet wavelet analysis and correlation coefficient. The results showed that: 1) The linear trends of precipitation in annual and four seasons were not significant. For temperature, its linear trend was not significant in summer, but in annual and other three seasons, a significant trend of getting warm was shown. For sunshine hours, its linear trend was not significant in spring, but in annual and other three seasons, a significant trend of getting short was shown; 2) Precipitation, temperature and sunshine hours in annual and four seasons were characterized by alternatively wet and dry, cold and warm, short and long variations for multiple time scales. Differences between the main period scales and their mean change cycles for the three meteorological variables in annual and four seasons were different, some were close while the others had large gap. The main period scales ranged from 2 to 10 years. 3) Multiple correlation coefficient of temperature was smaller than that of precipitation and sunshine hours in annual and four seasons. Multiple correlation coefficient of winter temperature was the smallest, while for temperature in the annual and other seasons, precipitation and sunshine hours, the multiple correlation coefficient were bigger. The absolute value of partial correlation coefficient between precipitation and sunshine hours were the biggest in annual and all seasons. Precipitation and sunshine hours, temperature and precipitation both had inverse relationship in most cases, while, winter temperature and sunshine hours showed the phase change on the main period scales of 28 a. The regional hydrothermal resources distribution can be better understood by the analysis in this article, which could also provide reference for the formulation of agricultural cropping system, water resources planning and flood and drought management.

Key words: climate change; multi-timescales characteristics; wavelet analysis; correlation coefficient; the Huaihe River Basin