



DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdtqk.2017.06.008

王景才,徐蛟,蒋陈娟,等. 1960-2014年淮河上中游流域年降水和主汛期降水的时空分布特征[J]. 南水北调与水利科技, 2017, 15(6): 51-58. WANG J C, XU J, JIANG C J, et al. Temporal and spatial characteristics of annual and main flood season precipitation in the upper and middle reaches of Huaihe River Basin between 1960 and 2014 [J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2017, 15(6): 51-58. (in Chinese)

1960-2014年淮河上中游流域 年降水和主汛期降水的时空分布特征

王景才¹, 徐蛟², 蒋陈娟¹, 黄金柏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, 南京 210029)

摘要: 基于淮河上中游流域 19 个站点 1960-2014 年的月降水数据, 采用气候倾向率、Mann-Kendall 趋势分析、变差系数、年内不均匀系数、小波分析、Kriging 空间插值等方法, 对年降水和主汛期降水的统计特征、趋势和周期性等时间特征及空间分布特征进行研究。结果表明: 流域主汛期降水占到年降水的 50% 以上, 地域分布上以东南部和西南部雨量较多。年降水和主汛期降水在年际上分别呈现 21~32 a、8~19 a、3~7 a 和 24~32 a、8~21 a、3~7 a 三个时间尺度的丰枯演变特征, 同一时间尺度的丰枯变化基本相同。主汛期降水年际 C_v 普遍大于年降水, 但空间分布不一致; 年降水 C_v 较大值分布于流域西部和北部, 较小值分布于流域东部和东南部; 主汛期降水年际 C_v 较大值分布于流域西部, 较小值分布于流域东北部及蚌埠一带; 北部降水的年内分配不均性略大于南部。年降水和主汛期降水的变化趋势均不显著, 没有通过 95% 的置信度检验, 但主汛期降水略呈增加趋势而年降水呈微弱下降趋势; 年降水在流域北、西和西南部表现为减少趋势, 尤以西、西南部较为明显, 而流域中、南和东南部主要表现为增加趋势; 主汛期降水则从北向南以条带状表现为增加趋势。

关键词: 降水; 主汛期; 时空分布; 气候变化; 淮河流域

中图分类号: P426 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-1683(2017)06-0051-08

Temporal and spatial characteristics of annual and main flood season precipitation in the upper and middle reaches of Huaihe River Basin between 1960 and 2014

WANG Jingcai¹, XU Jiao², JIANG Chenjuan¹, HUANG Jinbai¹

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

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

Abstract: In order to understand the temporal and spatial distribution characteristics of annual and main flood season precipitation in the upper and middle reaches of Huaihe River basin, we analyzed the monthly precipitation data in 19 meteorological stations during 1960-2014 by using the climate tendency rate, Mann-Kendall analysis, coefficient of variation, non-uniform coefficient of annual distribution, wavelet analysis, and Kriging method. The results were as follows: (1) The main flood season precipitation accounted for more than 50% of the annual precipitation, and it tended to concentrate in the southwest and southeast. The annual precipitation showed "wet/dry" alternations on the 21~32 a, 8~19 a, and 3~7 a time scales, while the main flood season precipitation showed such alternations on the 24~32 a, 8~21 a, and 3~7 a time scales. The "wet/dry" alternations on the same time scale were basically identical. (2) The coefficient of variation (C_v) of main flood season precipitation was gener-

收稿日期: 2016-12-18 修回日期: 2017-01-21 网络出版时间: 2017-11-21

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20171121.1333.004.html>

基金项目: 江苏省高校自然科学面上项目(15KJB170019); 扬州大学科技创新培育基金(2015CXJ032); 扬州大学高层次人才科研启动基金(137010582); 江苏省水利动力工程重点实验室资助项目(K13019)

Funds: Natural Science Foundation for the Higher Education Institutions of Jiangsu Province, China (15KJB170019); Science and Technology Innovation Fund of Yangzhou University (2015CXJ032); High Level Talent Research Fund of Yangzhou University (137010582); 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, 讲师, 博士, 主要从事水文水资源研究。E-mail: wangjingcai@yzu.edu.cn

ally greater than that of annual precipitation, yet their spatial distributions were different. The larger C_v values of annual precipitation were mainly distributed in the western and northern basin, while the smaller values were in the east and southeast. The larger C_v values of main flood season precipitation were distributed in the western basin, while the smaller values were in the northeast and Bengbu area. The non-uniformity of annual distribution of precipitation in the north was slightly larger than that in the south. (3) The variation trends of both annual and main flood season precipitation were not significant, failing the 95% confidence test. But the main flood season precipitation showed a slight increasing trend whereas the annual precipitation showed a slight decreasing trend. The annual precipitation tended to decline in the north, west, and southwest, but it tended to increase in the middle, south and southeast. The main flood season precipitation tended to increase in a striped manner from north to south.

Key words: precipitation; main flood season; temporal and spatial characteristics; climate change; Huaihe River basin

气候变化影响全球和区域水循环,导致降水、气温等水热资源的时空分布格局发生改变,从而对自然生态和社会经济系统产生重要影响。在当前全球气候变化的背景下,需加强气候资源变化规律和分布特征的研究。我国降水时空分布极为不均,水资源短缺、旱涝灾害、水生态和环境问题非常突出^[1]。淮河流域地处我国南方雨量丰沛和北方干旱少雨的过渡地带,洪涝干旱灾害频发,尤以夏季较为多发暴雨等灾害性天气^[2]。对该区域降水特征展开研究,不仅有助于了解气候变化对区域水热条件分布的影响,也有助于区域水资源管理和旱涝灾害防治等。

近年来,已有学者对淮河流域的降水展开了研究。顾万龙等^[3]得出1961–2005年淮河流域降水量年内分配规律空间分布不均匀,北部地区的降水不均匀性和集中度比南部更明显,北部易出现干旱。卢燕宇等^[4]通过淮河流域四省1961–2005年的降水数据,得出降水量年际波动较为强烈但变化趋势不显著。袁喆等^[5]发现1961–2010年淮河流域降水整体略微减少但南部增加北部减少,降水集中在夏季且北部降水更集中,干旱和洪涝发生频繁。郑泳杰等^[6]基于1961–2005年的降水资料,得出淮河流域降水过程集中趋势明显,短历时洪水和长历时干旱灾害风险有所增加。叶金印等^[7]利用1961–2010年降水资料得出淮河流域年均降水量南多北少的空间分布差异呈增大趋势。而关于主汛期降水的研究方面,如:梁树猷等^[8]基于1953–1999年6月–8月降水量得出流域旱涝频繁且呈阶段性和连续性,具有前涝后旱的发展趋势。王胜等^[9]分析了建站伊始^[5](较早可追溯到1954年)至2007年的主汛期降水,发现存在南部多于北部、山区多于平原、近海多于内陆的特征,旱涝均以南部为主,“旱涝急转”自2000年后频次显著增多。魏凤英等^[10]分析了1922–2007年淮河流域夏季降水在不同时间尺

度的振荡特征,得出夏季降水存在显著的准2a周期振荡和30~40a周期带的年代际振荡特征,6~8a周期振荡也较为突出,夏季降水自20世纪90年代末以来处在年代际偏多期。21世纪以来,淮河流域夏季多雨带频繁出现,2003年、2005年和2007年更是发生了严重的暴雨洪涝灾害^[4,10];同时该流域旱情发生频次以及干旱程度也呈现新的特点,如2001年春夏秋冬连旱、2002年南四湖地区百年一遇干旱等^[4]。

以上研究为认识淮河流域降水特征提供了有力参考,但现有研究针对淮河上中游流域年降水和主汛期降水的对比研究还较少,同时考虑到研究时段长短对时间序列的表现特征具有一定程度的影响,因此,本文基于以上考虑,选取淮河上中游流域1960–2014年的月降水资料,对比分析年降水和主汛期降水的统计特征及趋势变化、周期性等时空分布特点,以期为流域水资源管理、旱涝灾害防治等提供决策参考。

1 数据和方法

1.1 数据来源

淮河流域以废黄河为界,整个流域分为淮河和沂沭泗河两大水系。本文以废黄河以南和洪泽湖出口中渡以上区域作为研究区,属于淮河上中游流域。该区域大部分地区位于河南中东部、安徽中北部和江苏的西部,是我国重要的工农业产区。

研究所用的数据资料来自中国气象科学数据共享网,已按照数据集说明文档进行质量控制、检验并去除异常值。站点分布见图1,研究时段按年和主汛期进行,该流域主汛期为6月–8月。

1.2 研究方法

1.2.1 气候倾向率和趋势突变性

气候倾向率是气象学中常用的分析降水线性变



图1 淮河上中游流域区位及气象站点空间分布

Fig. 1 Distribution of meteorological stations in the upper and middle reaches of Huaihe River Basin

化趋势的一种方法^[11]。该方法假设有一气候要素时间序列,以时间 t 为自变量,气候要素 $x(t)$ 为因变量,建立一元线性回归方程^[12]: $x(t) = a_0 + a_1 t$ 。式中: t 为时间; a_0 为常数; a_1 为线性趋势项。 $a_1 \times 10$ 称为气候倾向率^[13]。

Manr Kendall 法是世界气象组织推荐并已广泛使用的一种非参数检验方法,既可以检验时间序列变化趋势的显著性也可以进行突变检验^[14-15],是水文气象序列研究中常采用的一种方法。其优点是不需要样本遵从一定的分布,也不受少数异常值的干扰^[16]。此检验的基础统计量 U , 给定显著性水平 α 可在标准正态分布表中查出临界值 $U_{\alpha/2}$, 常取 $\alpha = 0.05$ 或 0.01 。当 $\alpha = 0.05$ 时 $U_{\alpha/2} = 1.96$, 当 $\alpha = 0.01$ 时 $U_{\alpha/2} = 2.58$ 。若 $|U| > U_{\alpha/2}$, 则存在显著变化趋势, U 为负值时为下降趋势, U 为正值时为上升趋势。若 $|U| < U_{\alpha/2}$, 则变化趋势不显著。

1.2.2 年际和年内变化系数

年际变化情况采用变差系数 C_v 表示。 C_v 反映某一特征值对其均值的相对离散程度,反映变量在年际间的相对变化程度^[17]。不同序列特征值因为均值不同所以采用均方差难以比较其离散程度,用变差系数则可进行不同序列之间的对比。 C_v 值越大,变量的年际变化越大;反之,则变量的年际变化越小。其公式为^[18]:

$$C_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 / (n-1)}{\bar{x}}} = \frac{\sigma}{\bar{x}} \quad (1)$$

式中: x_i 为年均值, \bar{x} 为多年平均值, n 为序列长度, σ 为序列均方差。

年内分配变化情况采用年内分配不均匀系数 C_{vy} 表示。 C_{vy} 值越大,表示变量年内分配越不均匀;反之,则变量年内分配均匀。其公式为^[19]:

$$C_{vy} = \frac{\sqrt{\frac{1}{2} \sum_{i=1}^{12} (x_i - \bar{x})^2}}{\bar{x}} = \frac{\sqrt{\frac{1}{2} \sum_{i=1}^{12} (k_i - 1)^2}}{\bar{x}} \quad (2)$$

式中: x_i 为月平均值, \bar{x} 为年平均值, k_i 为 x_i 的模比系数, $k_i = x_i / \bar{x}$ 。

1.2.3 小波分析

小波分析是在傅里叶变换的基础上构建小波函数,通过一种信号或函数来反映多时间尺度变化的新方法,能够同时从时域和频域揭示不同时间尺度的变化特性^[20-21],适合研究具有多时间尺度特性和非平稳特性的水文时间序列^[22]。该方法的优势在于借助时频局部化功能剖析出时间序列内部各种周期的强弱和分布情况以及突变点等精细结构,还能分析出主要周期^[23]。考虑气候要素演变过程中包含多时间尺度变换特征以及变换的连续性,文中选取 Morlet 连续复小波变换分析降水的周期变化特征。为消除噪声的影响以及对比年降水和主汛期降水的多时间尺度变化规律,研究基于标准化时间序列进行。

1.2.4 Kriging 空间插值

Kriging 方法是建立在地统计基础上的一种插值方法,认为任何在空间连续变化的属性是非常不规则的,简单的平滑函数不足以进行模拟,只可用随机表面函数进行恰当描述。方法的关键在于权重系数的确定,在插值过程中根据某种优化准则函数来动态地决定变量的数值,从而使内插函数处于最佳状态^[24]。针对中国区域降水量的研究表明, Kriging 法相较而言插值效果较好,能够较好的反映流域尺度的降水量空间分布格局^[4]。

2 结果与分析

2.1 时间分布特征

2.1.1 统计值和年际年内变化

多年均值(表 1)主汛期降水占到年降水的比例,全流域为 50.6%、淮河以北为 53.1%、淮河以南为 47.0%。年降水和主汛期降水无论均值还是最大值,淮河以南均大于淮河以北;但最小值上,年降水依旧是淮河以南大于淮河以北,但主汛期降水淮河以南低于淮河以北。

年际降水变化过程方面(图 2),无论年降水还是主汛期降水,绝大部分年份中,淮河以南区域平均降水量要大于淮河以北。

年际气候倾向率方面(表 1 和图 3),淮河上中游流域年降水以 $-0.4 \text{ mm}/(10\text{a})$ 递减,主汛期降水则以 $8.9 \text{ mm}/(10\text{a})$ 递增;对比两者的标准化序列(图 3),年降水以微弱递减趋势下降,主汛期降水则

以微小趋势递增。年降水在淮河以北的减少幅度非 以 北 呈 现 6 27 mm/(10a) 的 增 加 趋 势, 淮 河 以 南 则 常 微 小, 在 淮 河 以 南 略 大 一 点。主 汛 期 降 水 在 淮 河 以 南 为 12.93 mm/(10a)。

表 1 淮河上中游流域年降水和主汛期降水的统计特征(1960-2014 年)

时间尺度	区域	多年均值/mm	最大值(年份)	最小值(年份)	标准差	C_v	气候倾向率/($\text{mm} \cdot (10\text{a})^{-1}$)	MK 值
年	全区	900.8	1307.6(2003 年)	528.7(1966 年)	159.0	0.18	-0.403	-0.23
	淮河以北	812.5	1240.2(2003 年)	481.7(1966 年)	157.6	0.19	-0.004	-0.48
	淮河以南	1071.4	1558.9(1991 年) 1481.0(2003 年)	582.8(1978 年)	206.9	0.19	-2.196	-0.44
主汛期	全区	455.9(50.6%)	724.6(2003 年)	215.3(1966 年)	117.5	0.26	8.921	0.35
	淮河以北	431.4(53.1%)	737.7(2003 年)	222.9(1966 年)	125.8	0.29	6.271	0.22
	淮河以南	503.9(47.0%)	901.6(1991 年) 761.4(2003 年)	203.3(1966 年)	155.4	0.31	12.928	0.75

注: 1、主汛期一行中的多年均值列, 括号内数字为主汛期值占到对应区域年降水量的百分比; 2、2003 年淮河以北年降水和主汛期降水均较大, 为比较, 本表也给出淮河以南 2003 年的降水量。

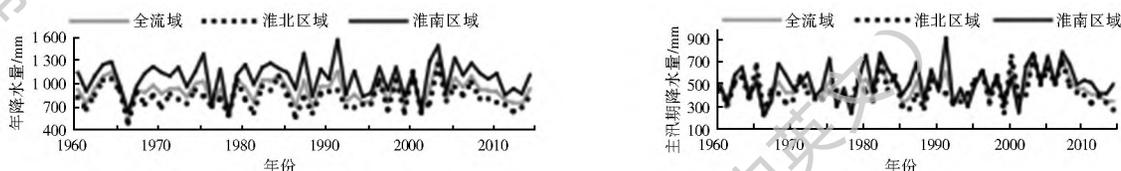


图 2 淮河上中游流域淮河以北和淮河以南区年降水和主汛期降水的年际变化过程

Fig. 2 Changes of annual and main flood season precipitation in the north and south of Huaihe River Basin

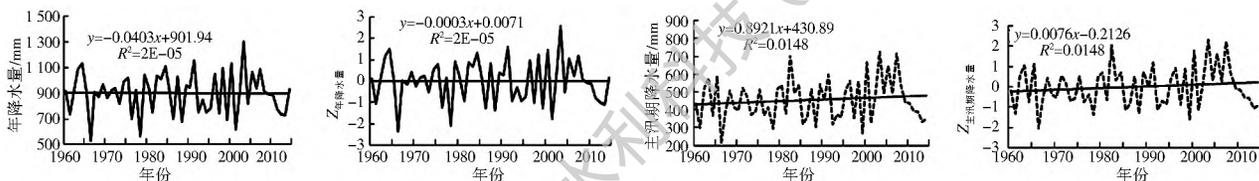


图 3 淮河上中游流域年降水和主汛期降水的年际变化过程

Fig. 3 Changes of annual and main flood season precipitation in the upper and middle reaches of Huaihe River Basin

年际变化幅度 C_v 方面(表 1), 主汛期略大于年降水。年降水在淮南北的变化幅度基本相当, 而主汛期降水 C_v 在淮河以北低于淮河以南。从 MK 检验结果来看, 主汛期降水略显增加趋势, 而年降水呈微小下降趋势, 两者变化均不显著, 没有通过 95% 的置信度检验。

年内分配上(图 4), 取各个站点降水的逐年每月值, 首先计算各站点每月均值, 然后按面积权重计算全流域每月均值, 进而按式(2)计算年内不均匀系数 C_{vy} 。经分析发现年内降水主要集中在 4 月-9 月, 其中主汛期(6 月-8 月)均值为 455.9 mm, 占年降水值的比重约为 50.6%。降水年内分配不均匀系数 C_{vy} 约 0.918 52, 年内分配不均匀。

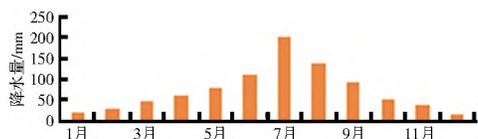


图 4 流域面均降水年内逐月分布

Fig. 4 Monthly distribution of precipitation in the upper and middle reaches of Huaihe River Basin

2.1.2 周期变化特征

小波实部等值线图(图 5)可读取出降水在不同时间尺度的变化特征。流域年降水存在 3 个不同时间尺度的“丰-枯”演变特征, 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。主汛期降水也存在 3 个不同时间尺度的“丰-枯”演变特征, 枯丰交替在 24~32 a 尺度呈现准 3 次振荡且在分析时段表现较为稳定, 8~21 a 尺度呈现准 7 次振荡, 3~7 a 尺度丰枯交替较为频繁但在 1990 以前表

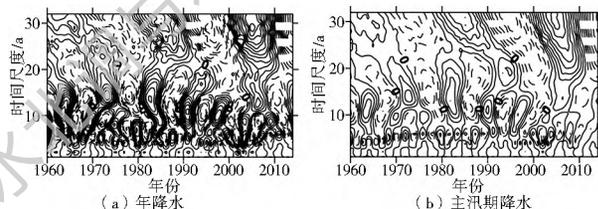


图 5 年降水和主汛期降水的小波实部等值线

Fig. 5 Contour maps of the real part of the wavelet coefficients

现较为稳定。小波方差(图6)的极值可以读取出降水的主周期时间尺度。年降水第一至五主周期分别为31 a、10 a、13 a、6 a、4 a,主汛期降水第一、二、三主周期分别为13 a、4 a、6 a。

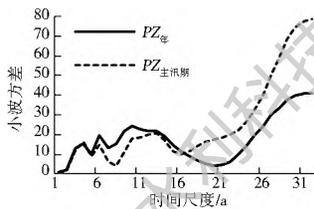


图6 年降水和主汛期降水的小波方差

Fig. 6 Wavelet variances of annual and main flood season precipitation

某一时间尺度下的小波系数实部时间变化过程线(图7)可读取出降水在该时间尺度的丰枯交替变化特征。年降水在第一主周期31 a尺度下,丰枯交替平均周期为10 a左右,在20世纪60、80年代和21世纪初的十年之间表现为丰水而其他时间段为枯水,丰枯交替突变年份基本发生在年代际变化时候,根据2011-2014年表现为枯水期,预计2015-2020年仍为枯水期。主汛期降水在第一主周期13 a尺度下,丰枯交替平均周期为4 a左右,根据丰枯变化规律及2013-2014年表现为丰水年,预计丰水期将持续到2015-2016年,自2017年可能转为偏枯期。根据2016年淮河流域和长江中下游地区梅雨期的实际强降水情况,与根据图7推论出来的2015-2016为丰水期的结论较为一致。文献[25]提到淮河流域夏季降水存在准3 a的显著振荡周期和准10 a的次显著振荡周期以及在20世纪60-90年代呈现准6 a的振荡周期,这一点和本文结果略有出入,概因流域站点多寡以及资料年限不同所引

起。诚然,流域站点密度越高和资料年限越长,则分析结果将更为精准。

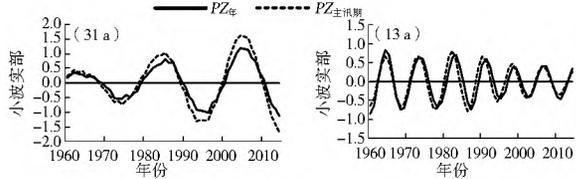


图7 31 a和13 a主周期下小波系数实部时间变化过程

Fig. 7 Changes of the real part of the wavelet coefficients in the main periods of 31 a and 13 a

为对比年降水和主汛期降水在同一时间尺度的丰枯变化,图7另绘制主汛期降水在31 a尺度和年降水在13 a尺度的小波系数实部时间变化过程线,从中可发现年降水和主汛期降水在同时间尺度的丰枯变化规律基本相同。这一现象概因对年降水量贡献较大的主要还是主汛期降水(占到年降水量的50.6%)的缘故有关。

2.2 空间分布特征

2.2.1 多年均值的空间分布

年降水和主汛期降水均呈现北少南多的地域分布(图8),流域北部郑州、开封雨量最少,向南依次增多,东南部和西南部雨量较多,尤以流域南端(霍山)最多。两者区别在于主汛期雨量较多地区位于流域西南和东部,而年雨量较多地区位于流域南部。从图8发现主汛期降水多发生在淮河干流的上游、中游偏下区域,这一结果与每年汛期淮河王家坝以上流域经常性的大洪水和洪泽湖区域常发的洪涝现象有所对应,以上区域的防洪形势需要格外关注。

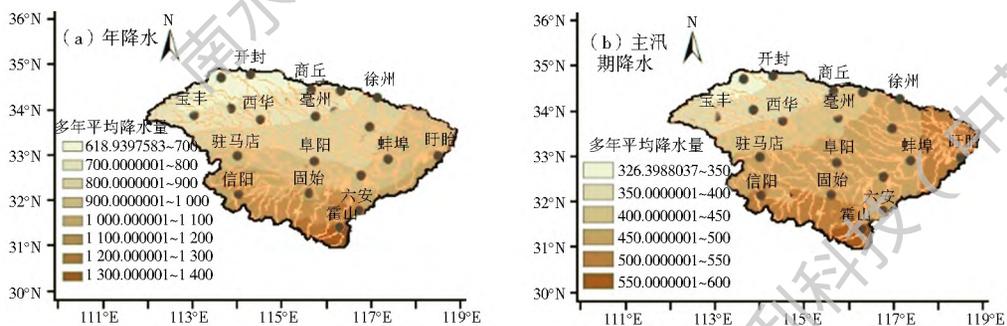


图8 年降水和主汛期降水多年均值的空间分布

Fig. 8 Spatial distributions of the multi-year average precipitation

2.2.2 年际 C_v 及年降水 C_{vy} 的空间分布

主汛期降水年际 C_v 普遍大于年降水年际 C_v (图9),主汛期降水的变化幅度较年降水大。其中,年降水年际 C_v 在0.229~0.257之间,较大值分布于流域西部和北部,尤以驻马店区域为最大值,年际变化程度较其他地区剧烈;较小值分布于流域东部和东南部。主汛期降水年际 C_v 在0.332~0.457

之间,最大值位于流域西部,尤以驻马店区域为最大值,年际变化程度较其他地区剧烈;较小区域则分布于流域东北部徐州-砀山-亳州-宿州一带以及蚌埠一带。

由各站点每月多年均值、年均值计算 C_{vy} ,然后空间插值(图10)。各站点年降水 C_{vy} 在0.917~0.920之间,系数基本接近。但流域北部 C_{vy} 要略大

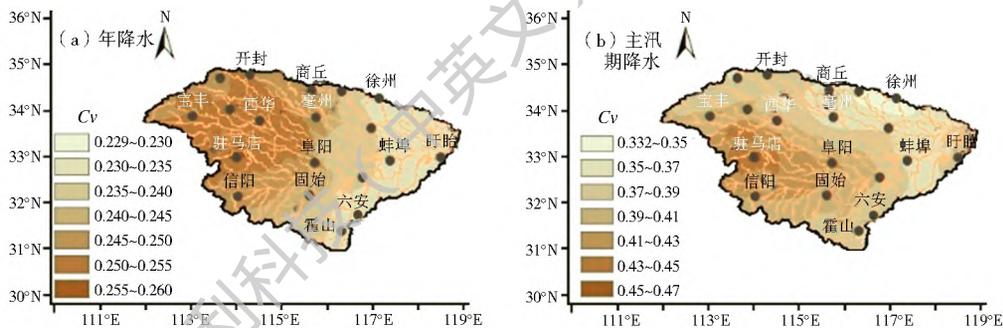


图 9 年降水和主汛期降水 C_v 的空间分布

Fig. 9 Spatial distributions of C_v values

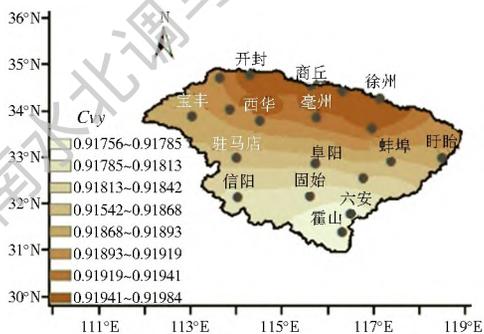


图 10 年降水 C_{vy} 的空间分布

Fig. 10 Spatial distributions of C_{vy} values of annual precipitation

于南部 C_{vy} , 反映出北部相对于南部, 年降水的年内分配不均匀程度显得稍微大一点, 流域北部区域的水资源管理和调配等需要引起重视。

2.2.3 年际变化趋势和幅度的空间分布

对比图 11 和图 12 可以发现在变化趋势方面, 年降水和主汛期降水在气候倾向率与 M-K 趋势检验结果的空间分布上接近一致。另外, 年降水和主汛期降水 MK 绝对值均小于 1.96, 没有通过 95% 的置信度检验。两者的时间变化趋势不明显。

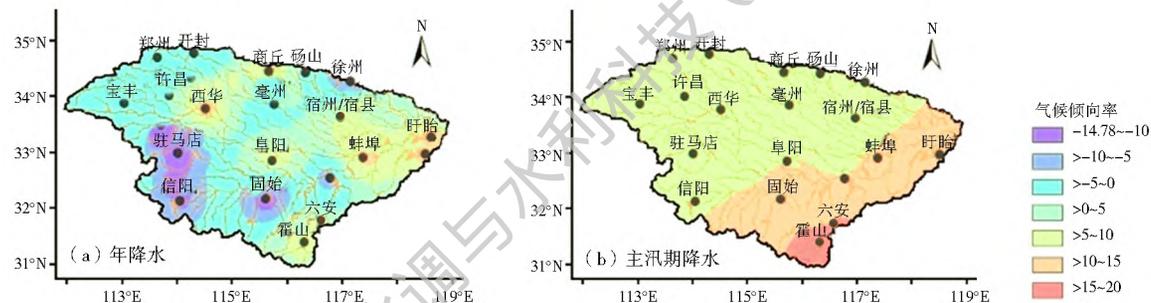


图 11 年降水和主汛期降水气候倾向率的空间分布

Fig. 11 Spatial distributions of the climate tendency rate

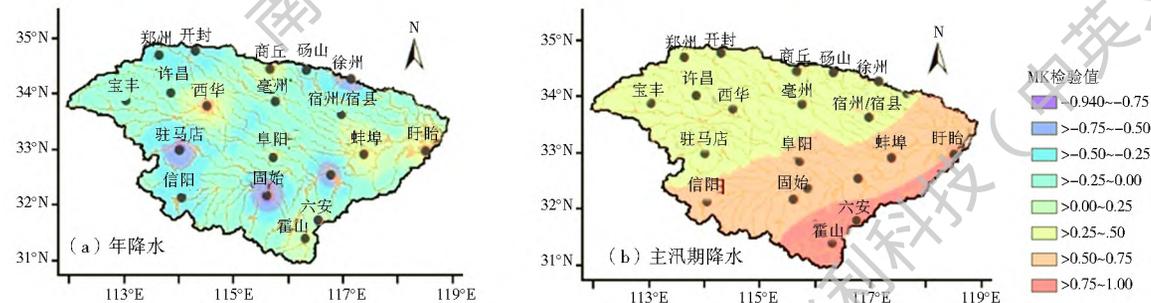


图 12 年降水和主汛期降水 MK 检验值的空间分布

Fig. 12 Spatial distributions of the $M-K$ test value

年降水气候倾向率在 $-14.786 \sim 14.50 \text{ mm}/(10a)$ 之间, 以驻马店、信阳、固始、徐州表现为减少趋势 $[-14 \sim -11 \text{ mm}/(10a)]$, 以商丘、西华、阜阳、蚌埠、盱眙、霍山为增加趋势 $[8.0 \sim 14.5 \text{ mm}/(10a)]$, 呈现点簇片状分布; 年降水 MK 在 $-0.940 \sim 0.780$ 之间, 年降水 MK 为较小负值的集中在开封、

郑州、砀山、徐州、驻马店、信阳、固始、寿县等地域, MK 为较大正值的集中在商丘、西华、蚌埠、盱眙、六安和霍山等地。两种方法显示出年降水的空间变化以流域北部、西部和西南部主要表现为减少趋势, 尤以西部和西南部减少较为明显; 而流域中部、南部和东南部主要表现为增加趋势。

主汛期降水气候倾向率绝大部分站点在 0~20 mm/(10a) 之间, 霍山为 28.7 mm/(10a), 而仅有很少的站点如亳州、驻马店、徐州、寿县介于 -2.42~-0.84 mm/(10a) 之间, 减少的趋势非常弱, 几乎可以忽略。从整体上来讲主汛期降水呈增加趋势, 尤其南部增加趋势更趋明显, 呈现条带状分布。主汛期降水绝大部分站点 MK 为正值, 在 0.15~1.00 之间; 仅有寿县、开封、徐州、驻马店等地介于 -0.32~-0.02 之间, 略微小于 0; 而仅有盱眙、六安、西华、霍山等地介于 1.16~1.87 之间。空间分布总体上是从北到南也呈现条带状分布, 尤其以霍山的增加趋势相对明显。

3 结论

(1) 淮河上中游流域主汛期降水占到年降水的 50% 以上, 流域东南部和西南部雨量较多, 尤以流域南端霍山最多。主汛期期间淮河干流上游防洪和下游偏下区域的洪涝形势依然较为严峻, 需要引起防范。

(2) 年降水和主汛期降水均呈现 3 个不同时间尺度的“丰-枯”演变特征, 同一时间尺度上的丰枯变化规律基本相同。其中年降水丰枯交替在 21~32 a 尺度上呈现准 3 次振荡, 8~19 a 尺度呈现准 6 次振荡, 3~7 a 尺度振荡较为频繁; 主汛期降水丰枯交替在 24~32 a 尺度呈现准 3 次振荡, 8~21 a 尺度呈现准 7 次振荡, 3~7 a 尺度丰枯交替较为频繁。第一至三主周期年降水分别为 31 a、10 a、13 a, 主汛期降水分别为 13 a、4 a、6 a。

(3) 主汛期降水年际 C_v 普遍大于年降水, 空间分布上并不一致。年降水 C_v 较大值分布于流域西部、北部, 较小值分布于流域东部、东南部。主汛期降水年际 C_v 较大值分布于流域西部, 较小值分布于东北部以及蚌埠一带。北部降水的年内分配不均性略大于南部。

(4) 年降水和主汛期降水的变化趋势均不显著, 但主汛期降水略呈增加趋势而年降水呈微弱下降趋势。空间分布上, 年降水以流域北部、西部和西南部主要表现为减少趋势, 尤以西部和西南部减少较为明显, 而流域中部、南部和东南部主要表现为增加趋势; 主汛期降水从北向南增加趋势逐渐明显, 呈现条带状分布。

参考文献(References):

[1] 夏军, 刘春葵, 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 J,

LIU C Z, REN G Y. Opportunity and challenge of the climate change impact on the water resource of China[J]. Advances in Earth Science, 2011, 26(1): 1-12. (in Chinese))

[2] 余敦先, 夏军, 张永勇, 等. 近 50 年来淮河流域极端降水的时空变化及统计特征[J]. 地理学报, 2011, 66(9): 1200-1210. (SHE D X, XIA J, ZHANG Y Y, et al. The trend analysis and statistical distribution of extreme rainfall events in the Huaihe River Basin in the past 50 years[J]. Acta Geographica Sinica, 2011, 66(9): 1200-1210. (in Chinese))

[3] 顾万龙, 王纪军, 朱业玉, 等. 淮河流域降水量年内分配变化规律分析[J]. 长江流域资源与环境, 2010, 19(4): 426-431. (GU W L, WANG J J, ZHU Y Y, et al. Annual distribution of precipitation over the Huaihe River Basin[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2010, 19(4): 426-431. (in Chinese))

[4] 卢燕宇, 吴必文, 田红, 等. 基于 Kriging 插值的 1961-2005 年淮河流域降水时空演变特征分析[J]. 长江流域资源与环境, 2011, 20(5): 567-573. (LU Y Y, WU B W, TIAN H, et al. Spatial and temporal variability characteristics of precipitation in Huai River Basin during 1961-2005[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2011, 20(5): 567-573. (in Chinese))

[5] 袁喆, 杨志勇, 郑晓东, 等. 近 50 年来淮河流域降水时空变化特征分析[J]. 南水北调与水利科技, 2012, 10(2): 98-103. (YUAN Z, YANG Z Y, ZHENG X D, et al. Spatial and temporal variations of precipitation in Huaihe River Basin in recent 50 years[J]. South to North Water Diversion and Water Science & Technology, 2012, 10(2): 98-103. (in Chinese)) DOI: 10.3724/SP.J.1201.2012.02098.

[6] 郑泳杰, 张强, 陈晓宏. 1961-2005 年淮河流域降水时空演变特征分析[J]. 武汉大学学报(理学版), 2015, 61(3): 247-254. (ZHENG Y J, ZHANG Q, CHEN X H. Changing properties of precipitation structure during 1961-2005 across the Huaihe Basin[J]. Journal of Wuhan University: Nature Science Edition, 2015, 61(3): 247-254. (in Chinese)) DOI: 10.14188/j.1674-8836.2015.03.010.

[7] 叶金印, 黄勇, 张春莉, 等. 近 50 年淮河流域气候变化时空特征分析[J]. 生态环境学报, 2016, 25(1): 84-91. (YE J Y, HUANG Y, ZHANG C L, et al. Spatial-temporal variations of climate change of the Huaihe river basin during recent 50 years[J]. Ecology and Environment Sciences, 2016, 25(1): 84-91. (in Chinese)) DOI: 10.16258/j.cnki.1674-5906.2016.01.012.

[8] 梁树献, 杨亚群, 徐珉. 淮河流域 6-8 月旱涝分布特征[J]. 水文, 2001, 21(2): 54-56. (LIANG S X, YANG Y Q, XU M. Distribution Characteristics of drought and waterlogging from June to August in the Huaihe River Basin[J]. Journal of China Hydrology, 2001, 21(2): 54-56. (in Chinese)) DOI: 10.3969/j.issn.1000-0852.2001.02.015.

[9] 王胜, 田红, 丁小俊, 等. 淮河流域主汛期降水气候特征及“旱涝急转”现象[J]. 中国农业气象, 2009, 30(1): 31-34. (WANG S, TIAN H, DING X J, et al. Climate characteristics of precipitation and phenomenon of drought flood abrupt alternation dur-

- ing main flood season in Huaihe River Basin [J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2009, 30(1): 3F-34. (in Chinese) DOI: 10.3969/j.issn.1000-6362.2009.01.007.
- [10] 魏凤英, 张婷. 淮河流域夏季降水的振荡特征及其与气候背景的联系[J]. 中国科学: D辑, 2009, 39(10): 1360-1374. (WEI F Y, ZHANG T. Oscillation characteristics of summer precipitation in the Huaihe River valley and relevant climate background [J]. Science in China: Series D, 2009, 39(10): 1360-1374. (in Chinese))
- [11] 辛俞, 张广兴, 张新, 等. 新疆博州地区近46年来的气候变化特征[J]. 干旱区地理, 2006, 29(2): 193-200. (XIN Y, ZHANG G X, ZHANG X, et al. Climate change in Bortala Mongol Autonomous Prefecture, Xinjiang since recent 46 years [J]. Arid Land Geography, 2006, 29(2): 193-200. (in Chinese) DOI: 10.3321/j.issn:1000-6060.2006.02.005.
- [12] 杨莲梅. 新疆极端降水的气候变化[J]. 地理学报, 2003, 58(4): 577-583. (YANG L M. Climate change of extreme precipitation in Xinjiang [J]. Acta Geographica Sinica, 2003, 58(4): 577-583. (in Chinese) DOI: 10.3321/j.issn:0375-5444.2003.04.012.
- [13] 揣新军, 张瑞. 1971-2010年巴彦淖尔市降水变化趋势分析[J]. 安徽农业科学, 2016, 44(11): 212-213, 283. (CHUAI X J, ZHANG R. Analysis on variation trend of precipitation in Bayannaer City from 1971 to 2010 [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2016, 44(11): 212-213, 283. (in Chinese) DOI: 10.3969/j.issn.0517-6611.2016.11.072.
- [14] 马柱国, 魏和林, 符凉斌. 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 Z G, WEI H L, FU C B. Relationship between regional soil moisture variation and climatic variability over east China [J]. Acta Meteorologica Sinica, 2000, 58(3): 278-287. (in Chinese) DOI: 10.3321/j.issn:0577-6619.2000.03.003.
- [15] 贾文雄. 近50年来祁连山及河西走廊降水的时空变化[J]. 地理学报, 2012, 67(5): 63F-644. (JIA W X. Temporal and spatial changes of precipitation in Qilian Mountains and Hexi Corridor during 1960-2009 [J]. Acta Geographica Sinica, 2012, 67(5): 63F-644. (in Chinese))
- [16] 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 J Y, ZHANG S L, WANG J X, et al. Study on runoff trends of the six larger basins in China over the past 50 years [J]. Advances in Water Science, 2007, 18(2): 230-234. (in Chinese) DOI: 10.3321/j.issn:1001-6791.2007.02.013.
- [17] 王绪娟, 门宝辉. 乌云河流域径流变化及其影响因子分析[J]. 南水北调与水利科技, 2013, 11(4): 35-40. (WANG X J, MEN B H. Analysis of runoff variation and its impact factors in the Wuyun River Basin [J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2013, 11(4): 35-40. (in Chinese) DOI: 10.3724/SP.J.1201.2013.04035.
- [18] 段文军, 王金叶, 张立杰, 等. 1960-2010年淮河流域降水变化特征研究[J]. 2014, 34(5): 88-93. (DUAN W J, WANG J Y, ZHANG L J, et al. Characteristics of Precipitation in Li Jiang River Basin during 1960-2010 [J]. Journal of China Hydrology, 2014, 34(5): 88-93. (in Chinese) DOI: 10.3969/j.issn.1000-0852.2014.05.016.
- [19] 沈冰, 黄红虎. 水文学原理[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2008. (SHENG B, HUANG H H. Principles of Hydrology [M]. Beijing: China Water & Power Press, 2008. (in Chinese))
- [20] 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 Y F, WANG Z G, LIU C M. Research progress on the time series analysis methods in hydrology [J]. Progress in Geography, 2013, 32(1): 20-30. (in Chinese) DOI: 10.3724/SP.J.1033.2013.00020.
- [21] 桑燕芳, 王中根, 刘昌明. 小波分析方法在水文学研究中的应用现状及展望[J]. 地理科学进展, 2013, 32(9): 1413-1422. (SANG Y F, WANG Z G, LIU C M. Applications of wavelet analysis to hydrology: Status and prospects [J]. Progress in Geography, 2013, 32(9): 1413-1422. (in Chinese) DOI: 10.11820/dlkxjz.2013.09.011.
- [22] Labat D. Recent advances in wavelet analyses: Part I. A review of concepts [J]. Journal of Hydrology, 2005, 314(1-4): 275-288. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2005.04.003.
- [23] 王文圣, 丁晶, 衡彤, 等. 水文序列周期成分和突变特征识别的小波分析法[J]. 工程勘察, 2003(1): 32-35. (WANG W S, DING J, HENG T, et al. Wavelet analysis for the diagnosis of period and jump in hydrological time series [J]. Geotechnical Investigation & Surveying, 2003(1): 32-35. (in Chinese))
- [24] 石朋, 芮孝芳. 降雨空间插值方法的比较与改进[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2005, 33(4): 361-365. (SHI P, RU I X F. Comparison and improvement of spatial rainfall interpolation methods [J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2005, 33(4): 361-365. (in Chinese) DOI: 10.3321/j.issn:1000-1980.2005.04.002.
- [25] 金小霞, 孙燕, 李超, 等. 淮河流域近50年降水异常及其大尺度环流特征[J]. 长江流域资源与环境, 2014, 23(5): 609-616. (JIN X X, SUN Y, LI C, et al. Precipitation and the features of atmospheric circulation in the Huaihe River Basin in recent 50 years [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2014, 23(5): 609-616. (in Chinese) DOI: 10.11870/cjlyzyhj201405003.