



DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdqk.2017.03.006

吴凯, 王晓琳, 许怡, 等. 中国大陆降水时空格局演变新事实[J]. 南水北调与水利科技, 2017, 15(3): 30-36.
WU Kai, WANG Xiaolin, XU Yi, et al. New facts about evolution of spatial and temporal pattern of precipitation over Chinese mainland[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2017, 15(3): 30-36. (in Chinese)

中国大陆降水时空格局演变新事实

吴凯¹, 王晓琳², 许怡¹, 王高旭¹, 吴永祥¹

(1. 南京水利科学研究院 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 南京 210029;
2. 河海大学 水文水资源学院, 南京 210098)

摘要: 基于1961年-2014年54年的降水格点数据, 利用反距离权重法插值计算分析了中国大陆年降水时空分布, 对年降水量进行分类, 统计出54年的各个降水分区所占面积变化特征。引进降水重心概念, 以年降水量为权重, 计算出中国大陆54年的年降水重心并分析其移动特征。结果表明, 各个降水分区面积变化与重心移动整体上为随机性序列, 波动性明显。其中年降水量在400~600 mm的面积占比最大, 趋势性最明显, 波动幅度最大; 受东北和华北地区的降水变异特征显著的影响, 年降水重心在东北-西南方向的离散度较大, 具有指示局部气候异常的作用。降水重心的纬度与>1400 mm的分类降水面积相关性最大, 经度方向相关性不明显。在54年时间尺度和中国大陆空间尺度下, 气候变化中的整体降水格局未发生重大改变。

关键词: 降水; 景观格局; 重心; 中国大陆; 气候变化

中图分类号: TV211.1 文献标识码: A 文章编号: 1672-1683(2017)03-0030-07

New facts about evolution of spatial and temporal pattern of precipitation over Chinese mainland

WU Kai¹, WANG Xiaolin², XU Yi¹, WANG Gaohu¹, WU Yongxiang¹

(1. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China; 2. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: Based on the 54 year yearly grid precipitation data of Chinese mainland from 1961 to 2014, we used the inverse distance weighted interpolation method to analyze the spatial-temporal distribution of precipitation. We classified the annual precipitation into different quantities and summarized the variation of the area of each precipitation zone in the 54 years. This paper introduced the concept of precipitation barycenter and calculated the annual precipitation barycenter and its movement features. The results showed that the area variation and barycenter movement of each precipitation zone were in a random sequence with obvious fluctuations. The annual precipitation zone of 400~600 mm took up the largest area proportion, and showed the most significant trend and the largest fluctuation. Under the significant effect of precipitation variability in northeast and north China, the precipitation barycenters were highly discrete in the northeast-southwest direction, and can indicate regional climatic anomaly. The latitudinal direction (Y-coordinate) of the annual precipitation barycenter showed the greatest correlation with the area of the >1400 mm precipitation zone. The longitudinal direction (X-coordinate) showed no significant correlation. So thus, at this space-spatial scale (Chinese mainland China) and time scale (54 years from 1961 to 2014) scale, the overall precipitation pattern did not change significantly.

Key words: precipitation; landscape pattern; barycenter; Chinese mainland; climate change

收稿日期: 2016-08-23 修回日期: 2016-12-15 网络出版时间: 2017-05-06

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20170506.1646.020.html>

基金项目: 国家自然科学基金(51479222; 51109138); 水利部公益性行业科研专项经费(201301002; 201501041)

Funds: National Natural Science Foundation of China(51479222; 51109138); Public Welfare Industry Research Special Funds of Ministry of Water Conservancy(201301002; 201501041)

作者简介: 吴凯(1991-), 男, 河南驻马店人, 博士研究生, 主要从事水文水资源方面研究。E-mail: kwu@nhri.cn

通讯作者: 王高旭(1979-), 男, 江苏南京人, 高级工程师, 博士, 主要从事水文水资源、水利信息化方面研究。E-mail: gxwang@nhri.cn

大气降水是气候变化研究中最重要因素,是水循环研究中的关键环节,控制着地表水量的通量大小^[1]。在区域水循环、水资源的研究中,降水时空格局演变是一项基础而又重要的研究工作,多数研究利用的观测资料基于的气象台站数量稀少^[2-5],分布不均,精确度受限。此处采用基于国家气象信息中心基础资料专项最新整编的中国地面 2 472 台站降水资料得到的降水长序列观测分析资料,详细计算和探讨中国大陆域降水时空格局,得出宏观格局演变的新事实。

1 数据来源及计算方法

计算数据采用中国气象数据网 (<http://data.cma.cn/>) 的“中国地面降水月值 0.5° × 0.5° 格点数据集(V2.0)”。该数据集来源于国家气象信息中心基础资料专项收集、整理的 1961 年至最新的全国国家级台站(基本、基准和一般站)的降水月值资料,同时结合 GTOPO30 数据和 DEM 得到的数据。数据集质量状况良好,数据完整,采用了其中的 1961 年 1 月至 2014 年 12 月共 648 个月数据文件,覆盖中国大陆区域的有效数据点共计 4 189 个,在计算降水重心时,均匀分布的格点数据较非均匀的水文气象站点数据得出的结果更具有说服力。坐标系统采用国家基础地理信息系统中所使用的 China Lambert Conformal Conic 投影坐标系统。

年降水量是指相应时段(年)降水的累积深度,单位取 mm。描述年降水特征的空间分布图是基于空间点数据在 ArcGIS 软件平台上采用适合于降水等气候要素的反距离权重法(IDW)插值进行绘制的。为研究要素之间的相关性强弱,采用 Pearson 相关系数方法(Pearson correlation Coefficient, PCC)进行计算分析。相关系数 r 计算公式如下:

$$r = \frac{\sum XY - \frac{\sum X \sum Y}{N}}{\sqrt{\left[\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{N}\right] \left[\sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{N}\right]}} \quad (1)$$

式中: X 、 Y 是进行相关性分析的要素, N 表示 X 或 Y 的元素个数。

1.1 降水“景观格局”

为定量描述不同等级的降水的分布状况,对降水的空间异质性进行分析,引进在景观生态、土地利用中运用较成熟的“斑块、斑块类型和景观”研究方法^[6-8], 对年降水量进行分类,从而产生年降水“斑块”、“斑块类型”和“景观格局”,利用“斑块类型”面积的时间序列统计指标分析宏观格局。

具体操作步骤是,首先对 1961 年 1 月至 2014 年 12 月的中国大陆降水月值格点数据进行加和计算得到 1961 年-2014 年的年降水格点数据,接着在 ArcGIS 中运用反距离权重法对年降水量格点数据进行插值得到面雨量,最后对面雨量进行分类统计。其中,年降水量的分类采用《中国水文地理》中的划分方法,分为 5 个大类别,11 个小类别,分别为^[9]: 丰沛区(强丰沛区($\geq 2\ 000$ mm)、丰沛区(1 600~2 000 mm)), 多雨区(极强多雨区(1 400~1 600 mm)、强多雨区(1 200~1 400 mm)、多雨区(1 000~1 200 mm)、弱多雨区(1 000~800 mm)), 中雨区(强中雨区(600~800 mm)、中雨区(400~600 mm)), 少雨区(200~400 mm), 极少雨区(极少雨区(50~200 mm)、极强少雨区(0~50 mm))。各个类别即对应年降水的“斑块类型”。基于景观格局分析软件 Fragstats4.2 计算得到 54 年的降水“斑块类型”的面积。面积的时间序列分析采用最大值、最小值、均值、标准差、线性倾向率和确定性系数 R^2 等指标进行计算。

1.2 降水重心

重心作为一个物理学概念,来源于经典力学,基本含义是指物体各个部分受到重力作用点。重心位置与该物体形状及质量是否均匀有关,形状规则且质量分布均匀的物体,中心在物体的几何中心;不规则的或者质量分布不均匀的物体,其重心需要采用一定的物理方法来定位。

将重心概念扩展到区域重心,区域重心又称空间均值,是样本平均数在二维空间上的延伸,指在某一特定时间内,研究区域的某种发展要素在空间平面上力矩达到平衡的点。重心分析旨在了解区域内各发展要素在空间上的均衡点,这种发展要素可以是经济、社会、生态环境等。与经济有关的中心按照指标不同可以表现为经济总量重心、产业重心等^[10-11];与社会发展有关的重心按照指标不同表现为人口总量重心、就业重心等;与生态环境有关的重心按照指标不同可以表现为污染重心、土地利用/类型重心、干旱重心等^[12-13];与水文气候有关的重心按照指标不同可以表现为降水重心、降雨侵蚀力重心等^[14-15]。在空间维度上,重心模型反映区域发展指标与形心分析的契合程度,便于分析研究区域要素在空间上的流动性与聚集性。在时间维度上,区域重心动态变化表示区域要素分布的对比和转移,有助于深化研究区域发展历程、状态和趋势。与形状中心即“形心”对比,其偏离方向指示区域发展的“高密度”或优势位置,其动态演变轨迹可以反映空间要

素的布局变化和调整方向^[16]。为分析中国大陆宏观降水差异性和均衡性,引进重心模型,分析降水的聚散、迁移和优势分布状态。具体来说,对 54 年的年降水量重心进行计算,分析其 54 年时间序列的 X、Y 坐标变化;并对移动距离的时间序列进行分析,利用 Morlet 小波进行周期性分析。

重心坐标计算方法见式(2)。

$$(X, Y) = \left(\left[\frac{\sum_{i=1}^n M_i X_i}{\sum_{i=1}^n M_i} \right], \left[\frac{\sum_{i=1}^n M_i Y_i}{\sum_{i=1}^n M_i} \right] \right) \quad (2)$$

式中:(X, Y)为重心坐标;M_i为平面 i 的质量或权重;X_i为平面 i 点的经度;Y_i为平面 i 点的纬度,即(X, Y)是平面 i 点的地理坐标。

两个年降水重心的移动距离为

$$L = \sqrt{[(X_s - X_k)^2 + (Y_s - Y_k)^2]} \quad (3)$$

式中:L为两个年份年降水重心的移动距离;s, k 表示重心对应的年份;X_s, X_k分别表示 s 年和 k 年降水重心的横坐标;Y_s, Y_k分别表示 s 年和 k 年降水重心的纵坐标。

1.3 标准差椭圆

为得到重心分布的趋势方向,采用标准差椭圆(方向分布)进行分析。该方法最早是由美国南加利福尼亚大学社会学教授 D. Welty Lefever 在 1926 年提出,也称为 Lefever's "Standard Deviation Ellipse"(利菲弗方向性分布),即为所有点创建一个新的以平均中心为中心的椭圆面。椭圆的长半轴和短半轴分别表示的是数据分布的方向和范围。长短半轴的值差距越大,数据的方向性越明显。短半轴越短,数据呈现的向心力越明显,否则表示数据的离散程度越大。如果短半轴与长半轴相等,表示数据没有任何的方向或分布特征。

确定该椭圆所需要计算的内容有椭圆的长轴、短轴、圆心和旋转角度。计算步骤如下^[17]:

(1) 确定圆心,利用算术平均中心进行计算:

$$(SDE_x, SDE_y) = \left(\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - X)^2}{n}}, \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - Y)^2}{n}} \right) \quad (4)$$

式中:x_i和 y_i是重心的坐标;X和 Y 是算数平均中心;SDE_x和 SDE_y是椭圆的圆心。

(2) 确定椭圆的旋转角度 θ,以 X 轴为准,正北方(12 点方向)为 0 度,顺时针旋转,计算公式如下

$$\tan\theta = (A + B) / C \quad (5)$$

其中, $A = \sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n}$,

$$B = \frac{(\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n})^2 + 4(\sum_{i=1}^n x_i y_i)^2}{2 \sum_{i=1}^n x_i y_i}, C =$$

$2 \sum_{i=1}^n x_i y_i$, x_i和 y_i是平均中心和 xy 坐标的差(下同)。

(3) 确定 xy 轴的长度,公式如下:

$$\alpha_x = \sqrt{2} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i \cos\theta - y_i \sin\theta)^2}{n}} \quad (6)$$

$$\alpha_y = \sqrt{2} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i \sin\theta + y_i \cos\theta)^2}{n}} \quad (7)$$

α_x和 α_y分别为椭圆的长轴和短轴长度,一般椭圆方程如下:

$$(x/\alpha_x)^2 + (y/\alpha_y)^2 = s \quad (8)$$

其中置信度 s 可根据数据量查询卡方概率表。

由此可以产生第一级、第二级和第三级共三个级别的椭圆:当要素具有空间正态分布时,第一级、第二级和第三级标准差椭圆范围分别包含了 68%、95% 和 99% 的数据。

2 中国大陆年降水概况

中国大陆地处欧亚大陆东部,从太平洋西岸一直延伸到中亚内陆中心的干旱区,东西横跨湿润、半湿润、半干旱、干旱四个水分带。区域内地形复杂多变,地势起伏大,总体呈现西高东低的态势。三大阶梯的地形条件和地处东亚季风区的地理位置决定了中国河流水文时空分异的基本特征。影响降水量的主要因素包括大气环流、地理位置、下垫面条件以及人类活动等。内陆地区降水一般少于沿海地区。地形的抬升作用可以促进凝结降水,因此离海洋近的区域和山脉迎风面的降水量丰沛,而离海洋远的区域和背风面的降水量较少。大气中水汽来源大部分是依靠海洋表面的蒸发,东南季风输送的太平洋水汽和西南季风输送的印度洋水汽是中国中东部降水的两大水汽来源,远离海洋的中国西部地区接受有限的西风带水汽,所以在降水分布上,存在着地区间的不均匀性、时间上的不平衡性和年际间的不稳定性^[9]。

中国年降水深度平均约为 630 多 mm,总趋势是由东南沿海向西北内陆逐渐减少。400 mm 多年平均等雨量线可以作为全国湿润和干旱地区的分界线。整体由东南呈现明显的地带性分布。其中年降水量大于 1 600 mm 的地区主要分布于中国东南部;年降水量达 800~1 600 mm 的多雨区主要包括淮河、汉水以南的长江中下游地区和广西、云南、贵州、四川的大部分地区,此外还包括东北长白山东南部;年降水量在 400~800 mm 之间的地区,是多雨区和少雨区的过渡带,一般分布在淮河、汉水以北,大致包括青藏高原东南部,四川西北部、黄土高原、华北平原、东北平原以及大、小兴安岭山地、内蒙古高原东南部和山东等广大地区;年降水量在 200~400 mm 之间的少雨区,主要分布在青藏高原西北部、内蒙古高原、甘肃中部、宁夏和新疆北部的部分

区域;年降水量少于 200 mm 的极少雨区主要位于西北内陆干旱地区。

年际变化大是中国降水的主要特点之一。中国降水的主要来源是夏季风,而夏季风的早晚、强弱、进退等有明显的年际差异^[18-20]。此外,寒潮、台风、距海远近以及地势地貌等都会影响降水的年际变化。一般的,降水量愈多的地区相对变率比较小,而降水量愈少的地区,相对变率比较大。表征降水年际变化的程度的变差系数(序列标准差与其均值的比值, C_v)存在随纬度变化的趋势,西南、贵州和四川部分地区受西南季风的影响, C_v 值较为稳定,西南其他大部分地区和浙闽部分地区为 0.16 以下。东部季风区在北纬 35° 以南是变率较小的地区,包含东南沿海一代大部分地区,一般为 0.16~ 0.20。北纬 35° 以北,变率逐渐增加,华北平原为最大,可达 0.3,是中国东部季风区降水变率最大的地区,降水不稳定性显著。再往东北又逐渐减少,小兴安岭和长白山会出现了一个较低的变率区。西北地区大陆性气候显著,降水年际变率较大。除新疆北部和伊犁河谷地区变率较小(0.1~ 0.3)以外,西北地区一般年变率都在 0.38 以上,是中国降水年际变化最大的地区,降水的稳定性最差。降水变率大也造成北方洪旱灾害频繁发生^[8-9]。

3 中国大陆年降水分区研究

基于景观格局分析软件 Fragstats 4.2 计算得到 1961 年- 2014 年降水分区的面积变化,并计算该时间序列的最大值、最小值、均值和标准差等统计指标(图 1、表 1)。为分析序列的线性趋势,计算 54 年降水分区面积时间序列的线性倾向率及确定性系数 R^2 (表 1)。

由图 1 和表 1 看出,在绝对数量上,中雨区(400~ 600 mm)的面积占比的均值最大,为 17.90%;强丰沛区(≥ 2000 mm)的降水量面积占比最小,为 1.52%;极少雨区(50~ 200 mm)、少雨区(200~ 400 mm)和中雨区(400~ 600 mm)的面积占比均值都在 17% 以上;降水量大于 600 mm 的分类年降水面积随着降水量的增加整体呈现递减趋势。在时间序列波动性上,11 个分类型年降水所占面积的 54 年时间序列波动性整体上比较明显。少雨区(200~ 400 mm)的面积占比变化最大,最大值 25.42%(2002 年)比最小值 13.00%(1964 年)少了 12.42%。以标准差描述降水分区面积占比的 54 年波动性,波动特征最明显的为中雨区(400~ 600 mm),最不明显的为丰沛区(1600~ 2000 mm)。

在变化趋势上,11 个时间序列的线性回归的确定性系数 R^2 均小于 0.2,未出现明显的线性趋势性,为纯随机性序列。在线性趋势上,降水量在极少雨区(50~ 200 mm)、少雨区(200~ 400 mm)和中雨区(400~ 800 mm)的 54 年时间序列面积占比的线性倾向率均为正的;包含在 800~ 2000 mm 的 5 个降水分类面积趋势均为负的,但所有 11 个降水分类的确定性系数均较小,处在 0.2 以下。需要特别指出,中雨区(400~ 600 mm)面积在所有类别的多年均值(17.90%)最大,标准差(2.01)最高,线性回归的确定性系数 R^2 (0.172) 最高。

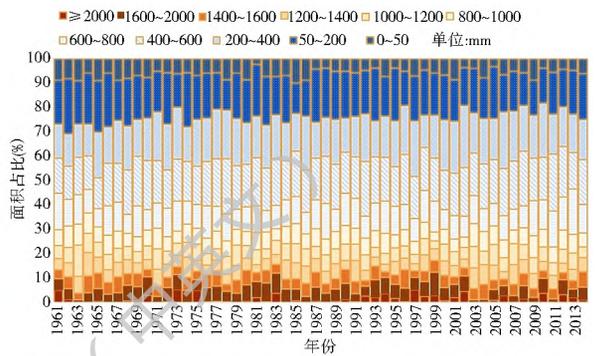


图 1 1961 年- 2014 年不同类型年降水所占面积比例
Fig.1 Area percentage variation of different annual precipitation zones(1961-2014)

表 1 1961 年- 2014 年年降水分区面积占比的统计指标
Tab.1 Statistical indicators for area percentage variation of annual precipitation zones(1961-2014)

降水分类 / mm	最大值 (%)	最小值 (%)	均值 (%)	标准差	线性倾向率	确定性系数 R^2
0~ 50	10.06	2.32	6.27	1.26	- 0.046	0.163
50~ 200	22.52	12.35	17.86	0.33	- 0.050	0.089
200~ 400	25.42	13.00	17.74	1.22	0.052	0.086
400~ 600	23.39	12.61	17.90	2.01	0.059	0.172
600~ 800	18.54	7.61	11.01	1.60	0.024	0.031
800~ 1000	9.40	3.61	6.79	0.38	- 0.005	0.004
1000~ 1200	12.76	3.28	6.11	0.46	- 0.013	0.016
1200~ 1400	9.53	2.93	5.43	0.56	- 0.010	0.011
1400~ 1600	7.46	2.32	4.46	1.29	- 0.015	0.037
1600~ 2000	9.63	1.18	4.88	0.22	- 0.007	0.004
≥ 2000	5.36	0.00	1.52	1.92	0.012	0.014

4 中国大陆年降水重心分布

采用年降水量为权重,利用式(2),计算得到 54 年的中国大陆年降水重心分布,并绘出中国大陆的形心点(图 2)。54 个的年降水重心在地理位置上散布在陕西省汉中市、安康市和商州市内,处在 32°N- 34°N, 107°E- 109°E 之间。形心位于甘

肃省中部兰州市永登县, 处于东经 $102^{\circ}36' - 103^{\circ}45'$, 北纬 $36^{\circ}12' - 37^{\circ}07'$ 之间。整体上, 54 个重心点在形心东偏南方向, 距形心约 600 km。

为定量分析重心的方向趋势和聚集性, 利用式 (4) - 式 (8) 计算得到 54 个年降水重心的第一级标准差椭圆。该椭圆短轴长度为 47 km, 长轴长度为 60 km, 长轴长度约是短轴的 1.3 倍, 表明方向特征比较明显。旋转角度为 27° , 即北偏东 27° , 表明 54 个年降水重心在东北-西南方向分布较西北-东南方

向离散特征更明显, 也即分类降水的东北-西南方向波动特征较西北-东南方向更显著。基于多年平均降水和变异系数分布状况可知, 西北-东南上, 少雨区降水面积虽然波动性非常明显, 但是降水量权重不高; 东北-西南方向上, 华北和东北部分地区变异程度较高, 且降水量处在 600~1 000 mm 之间, 权重相对较高, 加之东北和华北区域离中心区域较远, 杠杆效应明显, 以上导致了年降水重心的标准差椭圆方向为东北-西南向的特征。

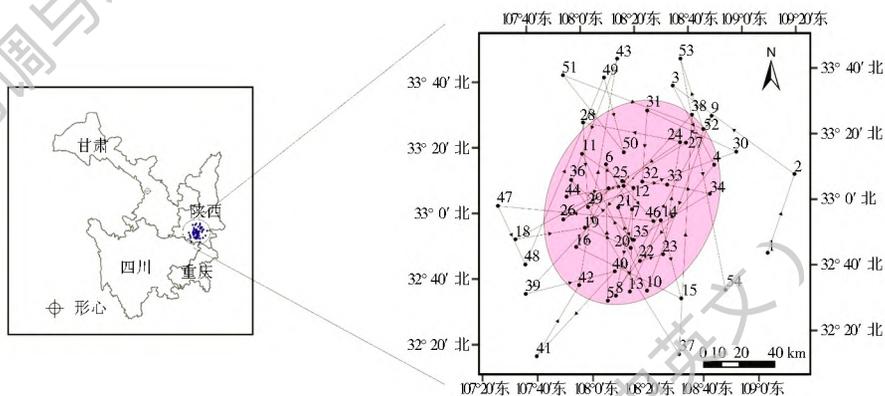


图 2 1961(1) 年-2014(54) 年降水重心位置及移动方向示意图

Fig. 2 Positions and movement directions of annual precipitation barycenters (1961(1)-2014(54))

根据格点数据利用反距离权重法插值得到 1961 年-2014 年的逐年中国大陆降水分布图, 限于篇幅, 不一一列出, 以 54 个年降水重心计算得到的第一标准差椭圆为参考, 观察处在椭圆外的重心对应年份的降水分布图, 发现椭圆外的重心对应年份的降水与多年平均降水分布图相比降水量出现了大面积偏离, 一般为东北区域、华北地区和长江中下游降水异常, 即重心的位置反映了气候的变异性, 对气候异常有一定的指示作用。某一年份的年降水重心若落在椭圆外, 该年份的较大区域降水出现了异常。通过观察可以发现, 地处中国大陆西北的降水量 0~50 mm 和 50~200 mm 区域面积的大幅增加或者减少因其权重过小并不会造成重心的大幅移动。重心坐标主要由降水量 > 800 mm 区域的降水分布决定。

征。利用 Morlet 小波分析存在约 30 a 的周期, 周期性特征不明显。

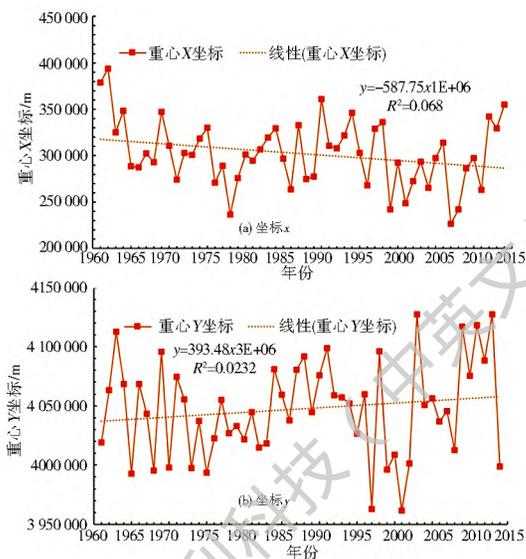


图 3 1961 年-2014 年年降水重心坐标 X、Y 变化

Fig. 3 Variation of X-coordinate (a) and Y-coordinate (b) of annual precipitation barycenters (1961-2014)

目视 54 个重心的分布和移动, 未发现具有周期性或趋势性。为定量分析年降水重心的位置特点和移动规律, 对降水重心 X、Y 坐标和相邻年份重心的移动距离的时间序列图 (图 3、图 4) 进行分析。

1961 年-2014 年降水重心 X 坐标 (图 3(a)) 整体上呈减少趋势, 也即向西移动, 但趋势性不明显 ($R^2 = 0.021$), 主要呈现大幅波动特征。54 年均值为 302 km, 最大值 (394 km) 比最小值 (227 km) 大 167 km。2012 至 2015 年呈现了大幅向东移动的特

1961 年-2014 年降水重心 Y 坐标整体上呈增加趋势, 也即向北移动, 但趋势性不明显 ($R^2 = 0.0232$)。呈现了大幅波动。54 年均值为 405 km, 最大值 (4 128 km) 比最小值 (3 962 km) 大 166 km, 与 X 轴变幅相似。利用 Morlet 小波分析存在约 30 年的周期, 周期性特征不明显。

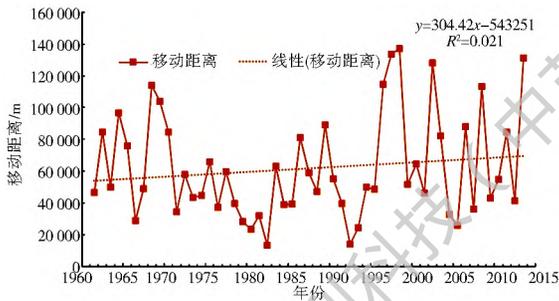


图 4 1961 年- 2014 年降水重心相邻年份移动距离的变化
Fig. 4 Displacement distance of annual precipitation barycenters in adjacent years (1961-2014)

1961 年- 2014 年移动距离整体上呈增加趋势, 但趋势性不明显 ($R^2 = 0.021$)。54 年均值为 62 km, 移动距离最大值为 137 km, 最小值为 14 km, 最大值是最小值的约 10 倍, 呈现多年代尺度波动。1971 年- 1991 年移动距离波动程度最小, 1997 年以来波动程度较大, 平均相邻两年重心移动距离约 80 km。利用 Morlet 小波分析存在约 30 a 的周期, 周期性特征不明显。

5 降水分类面积和重心相关性分析

重心计算方法决定了重心位置偏向于降水量大的区域。年降水较大的区域集中在中国大陆的东南方, 降水重心也位于大陆形心的东南方, 推测重心坐标和分类降水面积相关。利用 Pearson 相关系数分析 1961 年- 2014 年 54 年时间序列的 X、Y 坐标和对应时间序列下降水分类面积相关性(表 2), 其中年降水 800 mm 的区域已接近重心的分布区域, 属于伪相关, 因此小于 800 mm 的降水面积与重心经纬度的相关性不再列出。由表可以得出重心 Y 坐标(纬度)与年降水量 ≥ 1400 mm 区域的面积相关性最高。重心 X 坐标(经度)与年降水量 ≥ 2000 mm 与 ≥ 800 mm 区域的面积相关性最高, 也即与降水量两端值相关性最大, 但无法判定相关性真伪。

表 2 重心坐标和分类降水面积占比的 Pearson 相关系数
Tab. 2 Pearson correlation coefficient between barycentric coordinate and area percentage of annual precipitation zones

项目	≥ 2000	≥ 1600	≥ 1400	≥ 1200	≥ 1000	≥ 800
Y 坐标	-0.425	-0.538	-0.552	-0.441	-0.176	0.172
X 坐标	0.3	0.268	0.262	0.233	0.203	0.351

6 结论

以 1961 年- 2014 年中国大陆降水格局为研究对象, 在细部上对分类降水所占面积变化及统计特征进行了计算, 在整体上利用重心模型对 54 年年降

水重心分布进行了定性和定量的分析, 并对两者进行了相关性分析。不同类型的降水区面积呈现明显波动性, 但 54 年不具有周期性或者线性趋势变化, 为一随机变化过程。其中中雨区(400~ 600 mm)在所有类别中所占面积最大, 趋势性最明显, 波动性最大, 在研究中应予以特别关注。54 个的中国大陆年降水重心分布及移动具有随机性特征, 在东北-西南方向的离散度较大。重心的纬度受年降水量 ≥ 1400 mm 区域的分布影响最大。基于以上重心分布、重心移动变化情况和分类年降水所占面积的变化新事实得出, 在 54 年时间尺度下中国大陆降水格局均衡性未出现重大的变化。对分类后的水文要素引进“斑块、斑块类型和景观”研究方法及重心模型进行研究, 可作为水文大数据挖掘的一个新视角。

参考文献(References):

[1] IPCC. Climate change 2007: Synthesis report[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.

[2] 李维京, 左金清, 宋艳玲, 等. 气候变暖背景下我国南方旱涝灾害时空格局变化[J]. 气象, 2015, 41(3): 261-271. (LI Weijing, ZUO Jinqing, SONG Yairling, et al. Changes in spatio-temporal distribution of drought/flood disaster in Southern China under global climate warming [J]. Meteorological Monthly, 2015, 41(3): 261-271. (in Chinese)) DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2015.03.001

[3] 张耀存, 张录军. 东北气候和生态过渡区近 50 年来降水和温度概率分布特征变化[J]. 地理科学, 2005, 25(5): 561-566. (ZHANG Yaocun, ZHANG Lujun. Precipitation and temperature probability characteristics in climatic and ecological transition zone of Northeast China in recent 50 years[J]. Scientia Geographica Sinica, 2005, 25(5): 561-566. (in Chinese)) DOI: 10.3969/j.issn.1000-0690.2005.05.008

[4] 胡勇, 绪正瑞, 韩冬梅, 等. 基于质心分析的我国降水时空演变特征[J]. 南水北调与水利科技, 2014, 12(3): 10-16. (HU Yong, XU Zhengrui, HAN Dongmei, et al. Spatial and temporal variations of precipitation in China based on centroid principle[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2014, 12(3): 10-16. (in Chinese)) DOI: 10.13476/j.cnki.nsbtdqk.2014.03.003

[5] 贺伟, 布仁仓, 熊在平, 等. 1961-2005 年东北地区气温和降水变化趋势[J]. 生态学报, 2013, 33(2): 519-531. (HE Wei, BU Rencang, XIONG Zaiping, et al. Characteristics of temperature and precipitation in Northeastern China from 1961 to 2005 [J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(2): 519-531. (in Chinese)) DOI: 10.5846/stxb201111241799

[6] 邬建国. 景观生态学-格局、过程、尺度与等级[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000. (WU Jianguo. Landscape Ecology- Pattern, Process, Scale and Hierarchy[M]. Beijing: Higher Education Press, 2000 (in Chinese))

[7] Turner M G, Gardner R H, O' Neill R V. Landscape Ecology in

- Theory and Practice[M]. Springer New York, 2015.
- [8] 于志磊, 秦天玲, 王刚, 等. 川江流域土地利用时空格局动态变化特征[J]. 南水北调与水利科技, 2016, 14(2): 38-43, 61. (YU Zhi lei, QIN Tian ling, WANG Gang, et al. Analysis and evaluations of land use pattern on the temporal and spatial dynamic variations in Chuanjiang Basin[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2016, 14(2): 38-43, 61. (in Chinese)) DOI: 10.13476/j.cnki.nsbddq.2016.02.008
- [9] 刘昌明, 周成虎, 于静洁, 等. 中国水文地理[M]. 北京: 科学出版社, 2014. (LIU Chang ming, ZHOU Chang hu, YU Jing jie, et al. China Hydrography[M]. Beijing: Science Press, 2014 (in Chinese))
- [10] 方叶林, 黄震方, 陈文娣, 等. 2001-2010年安徽省县域经济空间演化[J]. 地理科学进展, 2013, 32(5): 831-839. (FANG Ye lin, HUANG Zhen fang, CHEN Wen di, et al. Spatial evolution of county economy in Anhui Province during 2001-2010[J]. Progress in Geography, 2013, 32(5): 831-839. (in Chinese)) DOI: 10.11820/dlxxjz.2013.05.014
- [11] 建华, 岳文泽. 近20年来中国人口重心与经济重心的演变及其对比分析[J]. 地理科学, 2001, 21(5): 385-389. (XU Jian hua, YU E Wen ze. Evolution and comparative analysis of the population center gravity and the economy gravity center in recent twenty years in China[J]. Scientia Geographica Sinica, 2001, 21(5): 385-389. (in Chinese)) DOI: 10.3969/j.issn.1000-0690.2001.05.001
- [12] 高志强, 刘纪远. 1980-2000年中国LUCC对气候变化的响应[J]. 地理学报, 2006, 61(8): 865-872. (GAO Zhi qiang, LIU Ji yuan. The LUCC responses to climatic changes in China from 1980 to 2000[J]. Scientia Geographica Sinica, 2001, 21(5): 385-389. (in Chinese)) DOI: 10.3321/j.issn:0375-5444.2006.08.009
- [13] 王富强, 王利娇, 彭勃等. 水沙变异对黄河三角洲湿地面积演变的影响[J]. 南水北调与水利科技, 2016, 14(2): 1-5, 25. (WANG Fu qiang, WANG Li jiao, PENG Bo, et al. Effect of flow and sediment variation on the Yellow River Delta wetland area evolution[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2016, 14(2): 1-5, 25. (in Chinese)) DOI: 10.13476/j.cnki.nsbddq.2016.02.001
- [14] 王刚, 严登华, 申丽霞, 等. 近55年以来漳卫河流域干旱演变特征[J]. 南水北调与水利科技, 2014, 12(4): 1-5, 29. (WANG Gang, YAN Deng hua, SHEN Li xia, et al. Drought evolution characteristics in the Zhangwei River basin in recent 55 years[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2014, 12(4): 1-5, 29. (in Chinese)) DOI: 10.13476/j.cnki.nsbddq.2014.04.001
- [15] 刘斌涛, 陶和平, 宋春风, 等. 基于重心模型的西南山区降雨侵蚀力年内变化分析[J]. 农业工程学报, 2012, 28(21): 113-120. (LIU Bin tao, TAO He ping, SONG Chun feng, et al. Study on annual variation of rainfall erosivity in southwest China using gravity center model[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(21): 113-120. (in Chinese)) DOI: 10.3969/j.issn.1002-6819.2012.21.016
- [16] 白雪, 范大良, 尹攀顶, 等. 1979-2014年广东省经济重心演变特征分析[J]. 地域研究与开发, 2015, 34(3): 17-22. (BAI Xue, FAN Da liang, YIN Pan ding, et al. Research on the economic gravity center evolution in Guangdong Province from 1979 to 2014[J]. Areal Research and Development, 2015, 34(3): 17-22. DOI: 10.3969/j.issn.1003-2363.2015.03.004
- [17] Mitchell A. The ESRI Guide to GIS Analysis: Spatial Measurements & Statistics: Vol 2[M]. Esri Press, 2013.
- [18] 杨彦武, 于强, 王靖等. 近40年华北及华东局部主要气候资源要素的时空变异性[J]. 资源科学, 2004, 26(4): 45-50. (YANG Yan wu, Yu Qiang, WANG Jing, et al. Spatio-temporal variations of principal climatic factors in North China and part of East China within past 40 years[J]. Resources Science, 2004, 26(4): 45-50. (in Chinese)) DOI: 10.3321/j.issn:1007-7588.2004.04.007
- [19] 王艳姣, 闫峰. 1960-2010年中国降水区域分异及年代际变化特征[J]. 地理科学进展, 2014, 33(10): 1354-1363. (WANG Yan jiao, YAN Feng. Regional differentiation and decadal change of precipitation in China in 1960-2010[J]. Progress in Geography, 2014, 33(10): 1354-1363. (in Chinese)) DOI: 10.11820/dlxxjz.2014.10.007
- [20] 王遵娅, 丁一汇, 何金海等. 近50年来中国气候变化特征的再分析[J]. 气象学报, 2004, 62(2): 228-236. (WANG Zun ya, DING Yi hui, HE Jin hai, et al. An updating analysis of the climate change in China in recent 50 years[J]. Acta Meteorologica Sinica, 2004, 62(2): 228-236. (in Chinese)) DOI: 10.3321/j.issn:0577-6619.2004.02.009