

6 套格点数据中洞庭湖流域旱涝特征分析

孙葭^{1,2}, 黄一民³, 吴华武⁴

(1.海南师范大学地理与环境科学学院, 海南 海口 571158; 2.湖南省环境教育研究中心, 湖南 衡阳 421002; 3.衡阳师范学院城市与旅游学院, 湖南 衡阳 421002; 4.中国科学院南京地理与湖泊研究所, 江苏 南京 210008)

摘要: 基于 1979—2015 年洞庭湖流域 27 个气象站点的实测降水数据(CMD), 采用降水 Z 指数、小波分析和线性倾向估计等研究方法, 比较了美国环境预报中心的再分析降水数据(CFSR)和融合降水数据(CMAP)、欧洲中期天气预报中心数据(ERA-Interim)、全球降水气候学项目数据(GPCP)、英国 East Anglia 大学气候研究中心降水数据(CRU)和全球陆地降水重建数据(PREC/L) 6 套格点降水数据中洞庭湖流域的旱涝时空变化特征。结果表明: 研究时段内洞庭湖流域的旱涝具有明显的年际变化特征, GPCP 的总体再现能力较强; 洞庭湖流域整体呈变旱趋势, ERA-Interim 中旱涝趋势与 CMD 的较为一致; 流域旱涝具有明显的准 18 年、准 3 年和准 5 年的周期变化, GPCP 中旱涝变化周期与 CMD 的较为接近; 洞庭湖流域旱涝频率和变化趋势的空间分布存在区域差异, 格点数据中, 仅部分区域的旱涝频率和变化趋势与 CMD 的一致。总体上, GPCP 对洞庭湖流域旱涝特征的再现较好。

关键词: 旱涝特征; 格点数据; 降水数据; 洞庭湖流域

中图分类号: P333

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2018)06-0629-09

Characterization of drought/flood of Dongting Lake basin from six gridded precipitation data

SUN Jia^{1,2}, HUANG Yimin³, WU Huawu⁴

(1.College of Geography and Environmental Science, Hainan Normal University, Haikou, Hainan 571158, China; 2.Environmental Education Research Center of Hunan Province, Hengyang, Hunan 421002, China; 3.College of City and Tourism, Hengyang Normal University, Hengyang, Hunan 421002, China; 4.Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing, Jiangsu 210008, China)

Abstract: By use of different precipitation data collected by 27 weather stations from 1979–2015 in Dongting Lake basin, we used precipitation Z-index, wavelet analysis and linear trend analysis to do comparative analysis with a set of worldwide available data. The data included observation precipitation(CMD), and the gridded precipitation data including National Center for Environmental Prediction Climate Forecast System Reanalysis(CFSR), European Center for Medium Range Weather Forecasts ERA-Interim reanalysis data(ERA-Interim), the Climate Prediction Center Merged Analysis of Precipitation(CMAP), the Global Precipitation Climatology Project monthly precipitation analysis(GPCP), University of East Anglia Climatic Research unit time-series of high resolution gridded data of month-by-month variation in climate(CRU), NOAA's Precipitation Reconstruction over Land(PREC/L). It showed that the annual fluctuation in drought and flood was obvious over Dongting Lake basin. In general, the drought and flood grades from GPCP were consistent with that of CMD. There existed a drought trend in Dongting Lake basin, and the trend from ERA-Interim data agreed better with CMD than other gridded data. Quasi-periodic variation of drought/flood were about 18 a, 3 a and 5 a. For all gridded data, variation period of drought/flood from GPCP was close to CMD's. The frequency and trend of drought/flood varied over different regions in Dongting Lake basin. In gridded data, only the frequency and trend of drought/flood in some regions were same with that from CMD's. In conclusion, GPCP revealed the characteristics of drought and flood in the Dongting Lake basin in a better way than other gridded data.

Keywords: drought/flood characteristics; gridded precipitation data; precipitation data; Dongting Lake basin

旱涝灾害作为较大的气象灾害之一,对社会经济和人们生活造成严重影响。洞庭湖流域为中国重要农业生产区,受区域大气环流和地形等因素的影响,旱涝灾害频发^[1]。自20世纪90年代至21世纪初,流域内大洪水达到2年1次的高频率^[2];2003—2011年,流域性严重干旱的出现频率也达到2年1次^[3]。旱涝灾害作为洞庭湖流域影响最大的自然灾害,常表现出前涝后旱、北涝南旱、旱涝交替和多发频发的特点,因此,研究近年来洞庭湖流域旱涝发生、发展规律和演变趋势,对于流域旱涝的预警和监测具有重要意义。

气象工作者多以降水量的多少作为划分旱涝的标准,所用的降水量数据一般来自地面气象台站。基于数值预报模式、卫星反演、站点数据插补以及数据融合等方法,生成了大量的格点降水数据。相对于观测数据来说,格点降水数据时空分辨率较高,能比较细致地反映降水的时空变化,为现代气候变化研究提供了重要的基础数据。格点降水数据自问世以后,研究者评估了其在降水气候态、径流模拟和预报、水资源利用与管理等方面的应用价值。研究^[4]表明,美国环境预报中心的再分析降水数据(CFSR)和欧洲中期天气预报中心数据(ERA-Interim)能有效表征新疆大部分地区年内降水的时空分布特征。全球降水气候学项目数据(GPCP)月降水数据能很好地反映东经100°以东中国大陆降水的气候分布和降水量异常变化^[5],真实地反映长江中下游地区降水的气候变化和时空分布特征^[6]。美国环境预报中心的融合降水数据(CMAP)整体质量较好^[7],结合其他资料,被广泛应用于降水气候态分析^[8]、大气环流变化^[9]方面研究。英国 East Anglia 大学气候研究中心降水数据(CRU)月降水资料所揭示的中国年总降水量在1951—2000年的变化与160站观测结果吻合,中国东部四季降水量和重建资料基本一致^[10]。国外研究者也将CRU降水数据视作基础数据,用于评估国际耦合模式比较计划的大气模式性能^[11]和对区域降水量减少进行成因分析^[12]。全球陆地降水重建数据(PREC/L)能很好地描述长江中下游地区降水变化的时空演变规律^[13]。刘晗^[14]采用CRU降水数据

研究了1901—2009年洞庭湖流域的旱涝演变特征;黄先香等^[15]利用PREC/L月降水资料研究了全球6—8月的旱涝气候变化。国内外少见报道多套格点降水数据对区域旱涝特征的再现能力研究。本研究中,以1979—2015年洞庭湖流域27个气象站点的实测降水数据为基础,评估被广泛应用的6套格点降水数据(CFSR、ERA-Interim、CMAP、GPCP、CRU和PREC/L)对流域旱涝特征的再现能力,筛选能有效再现区域旱涝时空演变特征的格点降水数据,以期对洞庭湖流域旱涝预警和监测提供依据。

1 研究区域

洞庭湖流域位于长江中游以南、南岭以北,地理坐标为107°13'~114°18' E、24°35'~30°27' N,覆盖湖南省大部分地区以及湖北省、广西壮族自治区、贵州省、重庆市的部分地区,总面积为26.28万km²,占长江流域总面积的14.60%。流域内包括洞庭湖区,湘江、资水、沅水和澧水4条大河以及汨罗江、新墙河等中小河流。流域东、南、西三面环山,中部为丘陵和盆地,北部为平原,构成独特的“马蹄形”格局。属典型亚热带季风气候区,冬夏季风交替,降水分布不均且年际变化大,旱涝灾害发生频率高^[16],多年加权平均年降水量约1380mm(1981—2010年平均值)。

2 数据来源和研究方法

2.1 数据来源

降水数据包括气象站点实测数据和格点数据。洞庭湖流域27个气象站点的实测月降水数据,来自中国气象局国家气候中心整理的《中国地面气候资料月值数据集》。该数据集经过极值和时间一致性等检验,质量较好^[17],使用的版本为3.0,简称CMD数据。选用的6套格点数据中,CFSR和ERA-Interim为广泛应用的、最新的第3代模式预报再分析产品;GPCP和CMAP是时间序列最长的卫星反演和地面观测数据的融合产品;CRU和PREC/L数据是基于站点插值的格点数据,时间序列较长、数据质量较好。6套格点降水数据的具体信息见表1^[18-24],其中CFSR、GPCP、CMAP和

CRU 数据的版本分别为 CFsv2、GPCP(V2.3)、CMAP (standard monthly)、CRU(TSV.3.24.01)。鉴于多数格点数据的起始年份为 1979 年，故选取 1979—2015 年作为研究时段。将不同分辨率的格点数据用双线

性插值法插值到洞庭湖流域的 27 个站点，统计得到各站点的年降水量。采用泰森多边形法计算得到流域的面降水量。

表1 6套格点降水数据的基本信息

Table 1 The information of six gridded precipitation data

格点数据	时间分辨率	空间分辨率	起始年月	下载网址
CFSR	6 h	0.5°×0.5°	1979-01	http://rda.ucar.edu/datasets
ERA-Interim	日以下	0.75°×0.75°	1979-01	http://data-portal.ecmwf.int/data/d/interim_full_mnth
GPCP	月平均	2.5°×2.5°	1979-01	http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.gpcp.html
CMAP	月平均	2.5°×2.5°	1979-01	http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.cmap.html
CRU	月	0.5°×0.5°	1901-01	http://badc.nerc.ac.uk/browse/badc/cru/data/cru_ts/cru_ts_3.24.01/data/
PREC/L	月平均	1°×1°	1948-01	http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.prcel.html

2.2 研究方法

研究^[25-26]表明，Z 指数作为确定单站旱涝的指标比较合理。参照文献^[25]的方法，计算 Z 指数，并根据表 2 中 Z 值确定单站旱涝等级，在此基础上计算区域雨涝指标(I)和干旱指标(L)，再根据式(1)计算区域旱涝指数(HL)^[27]，区域旱涝等级由表 2 中 HL 值来确定。

$$HL = (I - L) \times 100 \quad (1)$$

此外，采用线性倾向估计分析旱涝等级的演变趋势，用 Morlet 小波分析法研究区域旱涝等级的周期变化。

表2 单站和区域旱涝等级

Table 2 The drought-flood gradation of a single station and region

等级	Z 值	HL 值	类型
1	Z > 1.645	HL > 75	重涝
2	1.037 < Z < 1.645	50 < HL < 75	大涝
3	0.842 < Z < 1.037	25 < HL < 50	偏涝
4	-0.842 < Z < 0.842	-25 < HL < 25	正常
5	-1.037 < Z < -0.842	-50 < HL < -25	偏旱
6	-1.645 < Z < -1.037	-75 < HL < -50	大旱
7	Z < -1.645	HL < -75	重旱

3 结果与分析

3.1 旱涝时间特征

3.1.1 旱涝年际变化

如表 3 所示，洞庭湖流域旱涝年际变化明显。在 1979—2015 年，流域共出现涝年 12 年，其中重涝 2 年(1980 和 2002 年)，大涝 2 年(1982 和 1994

年)，偏涝 8 年(1983、1993、1998、1999、2010、2012、2014 和 2015 年)。这些典型涝年和偏涝年份在不同资料中均有提及^[26-31]。流域共出现旱年 12 年，其中重旱 1 年，为 2011 年；大旱 2 年，为 1985、2003 年；偏旱 9 年，为 1979、1984、1986、1988、1992、2001、2005、2007 和 2009 年。这些典型旱年和偏旱年份在文献^[3,32-35]也均有提及。这表明，采用 Z 指数作为划分单站旱涝指标比较合理，由区域旱涝指数确定的旱涝等级与洞庭湖流域实际情况基本一致，能客观地反映区域的旱涝状态。此外，洞庭湖流域旱涝具有明显的年代际变化，表现为 1980—1989 年旱年稍多，占 40%；1990—1999 年涝年稍多，占 40%；2000—2009 年以旱年为主，比例为 50%；2010 以来偏涝年份占 2/3。1980—1989 年 CRU 和 PREC/L 数据中旱年为 50%，CFSR 数据中涝年占 50%，其他格点数据中正常年份较多；1990—1999 年 CFSR 和 ERA-Interim 数据中涝年比例分别为 60%和 80%，PREC/L 数据中旱涝年比例与 CMD 中相同，CRU 数据中涝年占 40%，其他均为正常年份，CMAP 和 GPCP 数据中涝年比例较 CMD 中小；2000—2009 年，CFSR 中旱年比例为 60%，ERA-Interim 和 GPCP 数据中旱年比例与 CMD 中的相同，其他格点数据中旱年比例较 CMD 中的小；2010—2015 年，CMAP 中旱涝年比例与 CMD 中的相同，ERA-Interim 和 PREC/L 数据中涝年为 50%，其他格点数据中涝年比例与 CMD 中的差异较大。

表3 由不同格点降水数据确定的区域旱涝等级

Table 3 The regional drought-flood gradation from different gridded precipitation data

年份	旱涝等级						
	CMD	CFSR	ERA-Interim	CMAP	GPCP	CRU	PREC/L
1979	5	6	6	5	4	7	5
1980	1	3	4	1	1	5	1
1981	4	4	5	4	4	3	5
1982	2	1	4	4	1	5	3
1983	3	2	4	1	1	3	3
1984	5	4	5	7	4	3	5
1985	6	5	4	7	5	5	7
1986	5	4	4	7	5	7	7
1987	4	1	4	4	4	5	4
1988	5	4	5	4	5	4	5
1989	4	3	4	2	4	4	4
1990	4	2	3	4	4	3	4
1991	4	4	3	4	4	4	4
1992	5	5	5	6	5	4	5
1993	3	2	3	4	3	4	4
1994	2	2	2	3	2	3	3
1995	4	4	4	4	4	2	4
1996	4	3	2	4	4	4	4
1997	4	3	2	4	4	3	1
1998	3	1	1	2	1	4	3
1999	3	4	1	4	4	4	2
2000	4	4	4	4	4	4	4
2001	5	7	4	6	7	3	6
2002	1	2	1	1	1	4	1
2003	6	7	4	5	7	2	7
2004	4	6	4	4	4	5	4
2005	5	7	5	4	5	4	4
2006	4	7	6	4	4	5	3
2007	5	7	7	6	5	4	6
2008	4	4	6	4	4	5	4
2009	5	4	7	7	7	4	6
2010	3	3	3	2	4	4	3
2011	7	7	7	7	7	4	7
2012	3	4	4	1	4	7	2
2013	4	5	5	4	4	3	4
2014	3	4	2	3	4	4	4
2015	3	3	3	1	2	4	1

将格点数据与 CMD 数据中相应年份的旱涝等级进行比较,统计出旱涝等级一致年份的个数,结果发现,CMAP、GPCP 和 PREC/L 数据中有 2 个重涝年,CFSR、ERA-Interim 和 GPCP 中有 1 个大涝年,ERA-Interim 和 PREC/L 中有 3 个偏涝年,与 CMD 中相应旱涝等级一致,对相应等级的再现较好,再现比例分别为 2/2、1/2 和 3/8;GPCP 中有 13 个正常年份与 CMD 中一致,再现比例为 100%,CMAP 对正常年份的再现能力仅次于 GPCP,其他数据对正常年份的再现能力存在差异;GPCP 中有

5 个偏旱年份,CFSR、ERA-Interim、CMAP、GPCP 和 PREC/L 中有 1 个重旱年份,与 CMD 中相应旱涝等级一致,对相应等级的再现较好,再现比例分别为 5/9 和 1/1。所有格点数据中大旱年份与 CMD 中均不一致。由此可知,格点降水数据对旱涝不同等级的再现能力存在差异:大体上对重旱、重涝和正常年份的再现能力较好,偏旱和偏涝次之,对大旱的再现能力最差。在格点数据中,GPCP 数据中旱涝等级与 CMD 中相应旱涝等级出现时间一致的次数较多,对旱涝的总体再现能力好于其他格点数据

据, PREC/L 次之。

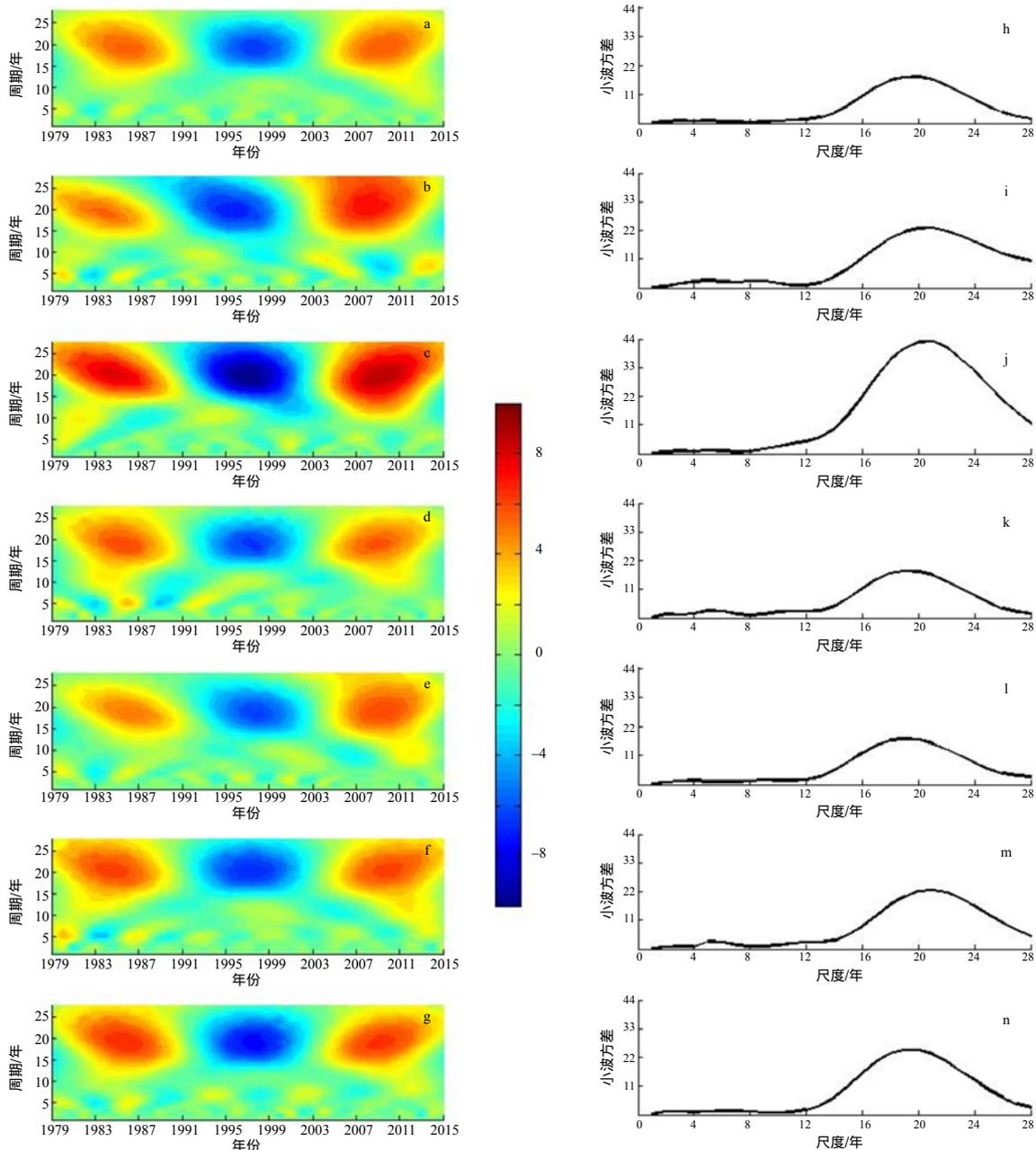
3.1.2 旱涝变化趋势

基于洞庭湖流域的历年旱涝等级, 计算线性倾向估计值, 得出区域旱涝整体变化趋势。正线性倾向估计值表明旱涝等级增大, 区域呈变旱趋势, 负值则相反。CMD 数据中线性倾向值为 0.076/(10 a), 表明洞庭湖流域整体表现出变旱趋势。CFSR、ERA-Interim、GPCP 数据中, 线性倾向值分别为 0.576/(10 a)、0.069/(10 a)、0.434/(10 a), 旱涝变化

趋势与 CMD 的一致, 其中 ERA-Interim 的趋势变化与 CMD 最为接近; CMAP、CRU、PREC/L 数据中, 线性倾向值分别为 -0.168/(10 a)、-0.104/(10 a)、-0.145/(10 a), 流域整体呈变涝趋势, 与 CMD 的变化趋势完全相反。

3.1.3 旱涝变化周期

为比较研究洞庭湖流域旱涝事件的周期变化特征, 对 CMD 和格点数据中历年旱涝等级进行 Morlet 小波分析, 结果见图 1。由图 1-a 可见, 洞



a ~ g 分别为 CMD、CFSR、ERA-Interim、CMAP、GPCP、CRU、PREC/L 数据的小波系数实部; h ~ n 为相应的小波方差。

图1 不同格点降水数据中历年旱涝等级的小波变换系数和方差

Fig.1 The wavelet transformation coefficient and variance of annual drought/flood gradation from different gridded precipitation data

洞庭湖流域旱涝具有明显的 15~26 年的周期振荡, 历经旱-涝-旱阶段变化; 在 2~6 年尺度上的周期振荡也很明显, 存在较多旱涝的循环交替, 自 20 世纪 90 年代末起, 振荡周期有缩短趋势。可以看出, 洞庭湖流域旱涝变化具有复杂的嵌套结构, 较大尺度的变化中嵌套着小尺度变化。小波方差图反映了波动能量随尺度的分布情况, 用来确定旱涝变化的主要周期。在图 1-h 中, 小波方差存在 3 个较为明显的峰值, 依次为准 3 年、准 5 年、准 18 年, 其中最大峰值对应 18 年的时间尺度, 说明准 18 年的周期振荡最强, 为旱涝变化的第 1 主周期; 第 2 和第 3 峰值分别对应着准 3 年和准 5 年的时间尺度, 依次为旱涝变化的第 2 和第 3 主周期。

从图 1 可以看出, 所有格点数据中大尺度周期性振荡明显, 振荡周期与 CMD 的较为接近, 其中 ERA-Interim 数据中的周期振荡较 CMD 中强, CMAP 和 GPCP 数据中大尺度的周期振荡与 CMD 中较为相似。格点数据中也存在明显小尺度的振荡, 大部分尺度为 10 年以下。小波方差图表明, CFSR、ERA-Interim 和 CRU 数据中旱涝变化的第 1 主周期为准 21 年, CMAP 和 GPCP 数据中为准 19 年, PREC/L 数据中为准 20 年; GPCP 和 PREC/L 数据中第 2 主周期分别为准 9 年和准 7 年, 其他格点数据中为准 5 年; CFSR、ERA-Interim、CMAP、GPCP、PREC/L 数据中第 3 主周期分别为准 9 年、

准 3 年、准 2 年、准 4 年、准 2 年。所有格点数据中旱涝变化的第 1 和第 2 主周期较 CMD 的长, 第 3 主周期与 CMD 的差异较大, 其中 CMAP 和 GPCP 数据中第 1 主周期、GPCP 数据中第 3 主周期与 CMD 的较为接近。总体上, GPCP 数据与洞庭湖流域的旱涝变化周期较为接近。

3.2 旱涝空间特征

3.2.1 干旱频率空间分布

CMD 数据中(图 2-a), 洞庭湖流域的年干旱频率为 6%~31%, 其中大部分区域的干旱频率为 15%~20%, 流域西北部为高值区域, 中南部的衡邵丘陵区为次高值区。干旱频率极值中心出现在吉首站, 位于沅水上中游山间盆地的降水低值区, 干旱频率为 31%, 其中偏旱、大旱、重旱的发生频率分别为 14%、11%、6%。与著名的衡邵干旱走廊相比, 两者大旱和重旱的发生频率相差不大, 但吉首站的偏旱年份较多, 使其成为干旱发生频率最高的区域。沅水上中游山间盆地干旱的形成与大气环流场和地形有关: 夏季受西太平洋副热带高压的控制, 易出现较长时间的晴热干燥天气, 且位于山地背风坡, 焚风效应不利于降水形成^[36-37]。衡邵丘陵区受地形性下沉气流的影响, 也是一个降水低值区。流域东北和东南山地为干旱频率低值区, 两者均为降水高值区域。

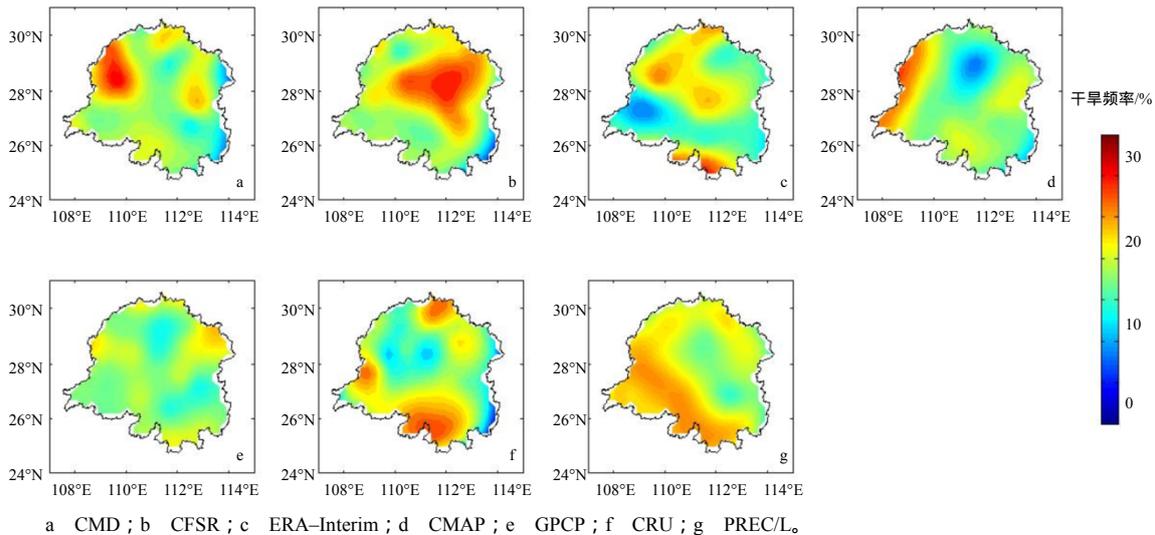


图2 不同格点降水数据中历年干旱频率的空间分布

Fig.2 Spatial distribution of annual drought frequency from different gridded precipitation data

CFSR 数据(图 2-b)中干旱发生频率为 5%~29%, 高值区域自洞庭湖平原向西、向南延伸, 在

流域中部成片分布, 高值区域明显较 CMD 的大, 流域西部、北部、西南和东南部山地的干旱频率与

CMD 中较为接近。ERA-Interim 数据(图 2-c)中干旱频率为 9%~30%，流域西北部、中部和西南山地边缘为高值区域，大部分高值区域的干旱频率明显较 CMD 中小，流域南部山地的干旱频率较 CMD 中大；低值区域出现在流域西部，较 CMD 中明显不同。CMAP 数据(图 2-d)中干旱发生频率为 8%~30%，高值区域自流域西北向西南延伸至西部，洞庭湖平原为低值区，流域西部的干旱频率值较 CMD 大，洞庭湖平原和衡邵丘陵区的干旱频率值明显较 CMD 小。GPCP 数据中(图 2-e)干旱发生频率为 13%~25%，流域东部、北部、西北和南部为干旱频率高值区域，南部频率较 CMD 中大，其他区域较 CMD 中小；洞庭湖平原西部和衡阳盆地为低值区，干旱频率较 CMD 中小。CRU 数据(图 2-f)中干旱发生频率为 5%~28%，高值区域出现在流域西南、西部和北部局部地区，其中流域西南和西部频率数值较 CMD 中大，北部高值范围较 CMD 中小；流域东南山地边缘的低值分布与 CMD 中相同。PREC/L 数据(图 2-g)中干旱发生频率为 14%~26%，洞庭湖平原西部和衡阳盆地的干旱频率较小，其他大部分区域的干旱频率在 20%以上，其中流域西北的干旱频率较 CMD 中小，其他高值区域的干旱频率明显较 CMD 大。CFSR 数据中流域西南与西部和北部边缘、ERA-Interim 数据中流域西南、CMAP 数据中流域西南和北部边缘、GPCP 数据中流域南部与西部和西北大部分区域、CRU 数据中流域西北局部、PREC/L 数据中流域西北局部等干旱频率的空间分布与 CMD 中较为一致。CFSR、ERA-Interim、CMAP、GPCP、CRU、PREC/L 数据中干旱频率与 CMD 数据中相同的站点数分别为 8、4、9、12、2、5 个。

3.2.2 洪涝频率空间分布

CMD 数据中历年的洪涝频率变化范围 8%~25%，雪峰山北端、洞庭湖平原西北和北部、流域东部山地的洪涝频率在 20%以上，多为流域多雨区，最大值出现在武陵山东南麓与雪峰山东北尾端交汇处，最小值出现在流域东南部山地边缘。

除 CMAP 外的格点数据中，流域大部分区域的历年洪涝频率在 20%以上。CFSR 数据中洪涝频率为 7%~27%，流域北部和南部丘陵盆地为高值区域，高值范围和程度较 CMD 的大，流域南部山地局部

的频率较小。ERA-Interim 数据中洪涝频率为 14%~27%，高值区域自雪峰山北端向西部山间盆地、东部山地和北部武陵山区呈带状分布，流域南部山地为另一高值区域，最小值出现在流域西南山地边缘。CMAP 数据中洪涝频率为 0%~19%，洞庭湖平原和流域南部山地为高值区域，低值区域在流域西北、西部和西南部成片出现，高、低值区域的程度较 CMD 中小。GPCP 数据中洪涝频率 14%~29%，流域西部和东部为高值区域，其中流域西部的高值区域范围和程度较 CMD 中大，东部的高值区域较 CMD 中偏北，流域西北部为低值区域，流域南部的频率普遍较 CMD 中大。CRU 数据中洪涝频率 8%~29%，高值区域出现在流域中南和西南，未能体现 CMD 中高值区域分布，低值区域出现在流域东南山地边缘，与 CMD 中一致。PREC/L 数据中洪涝频率为 9%~26%，流域西部山间盆地和东北部山地边缘为低值区域，其中流域西部山间盆地的低值区域与 CMD 中较为一致，高值区域主要分布在流域南部、中部和北部的局部地区，其中南部的高值区域范围和程度较 CMD 大，其他高值区域与 CMD 中有较大差异。多数格点降水数据中流域西部、西南部和北部的洪涝频率与 CMD 中较为一致，CRU 和 PREC/L 数据中流域西部山间盆地的频率与 CMD 中较为一致。CFSR、ERA-Interim、CMAP、GPCP、CRU、PREC/L 数据中历年洪涝频率与 CMD 相同的站点数分别为 6、8、1、11、7、8 个。

3.2.3 旱涝变化趋势的空间分布

为了分析洞庭湖流域旱涝变化趋势的区域差异，对洞庭湖流域各站点旱涝等级的线性倾向进行估计。在 CMD 数据中，流域中南部、西部山地和北部的倾向值为正，表明呈变旱趋势；流域西部沅水上游山间盆地、洞庭湖平原北部和流域南部山地的倾向值为负，呈变涝趋势。在 27 个气象站点中，倾向值为正的站点为 18 个，占站点总数的 2/3，其中衡阳盆地为极值区，变旱趋势达到 0.05 的显著性水平，倾向值为负的站点为 9 个，占站点总数的 1/3，流域南部山地为极值区。

格点数据中旱涝变化趋势与 CMD 的差异较大。CFSR 数据中，流域西北局部和东南山地边缘的线性倾向值为负，其他区域为正值，正值范围和程度较 CMD 中大。ERA-Interim 数据中，正值区

出现在流域北部,范围和程度较CMD中大,其他大部分区域为负值区,流域南部的线性倾向与CMD中明显不同。CMAP数据中,除流域北部外,其他区域的线性倾向均值为负,流域东部为负极大值区,与CMD中差异较大。GPCP数据中,流域东部和东南的局部为负值,其他区域的线性倾向值为正,负值范围和程度较CMD中小,正高值区域和程度较大。CRU数据中,流域北部和流域中南局部为较小的正值,其他大部分区域的线性倾向值为负,负值的区域差异较小。PREC/L数据中,流域西北和中南部为正值,其他区域为负值,负值范围较CMD中大。总体上,CMAP、CRU和PREC/L数据中流域西南,CFSR和GPCP数据中流域中南部,CMAP、CRU和PREC/L数据中流域西部山间盆地的旱涝变化趋势与CMD中较为一致。在27个站点中,CFSR有12个站点、CMAP有1个站点的变化趋势达到0.05的显著性水平,其中CFSR中衡阳站的显著变化趋势与CMD的相同,但变化幅度较大,其他格点数据中各站点变化趋势均不显著。

4 结论

采用降水Z指数作为旱涝划分指标,利用实测降水数据(CMD)和广泛使用的格点降水数据(CFSR、ERA-Interim、CMAP、GPCP、CRU和PREC/L),研究和比较了1979—2015年洞庭湖流域旱涝演变特征的差异,得到以下主要结论。

1) 洞庭湖流域共出现旱涝各12年,其中重涝2年、大涝2年、偏涝8年,重旱1年、大旱2年、偏旱9年。CMAP、GPCP和PREC/L数据再现了全部的重涝年份,CFSR、ERA-Interim和GPCP中再现了1/2的大涝年,ERA-Interim和PREC/L数据再现了3/8的偏涝年,GPCP再现了100%的正常年份和5/9的偏旱年,除CRU外的格点数据对重旱年的再现比例为100%。GPCP数据对旱涝的总体再现能力强于其他格点数据。

2) 洞庭湖流域整体呈变旱趋势,ERA-Interim数据中旱涝趋势与CMD最为接近。流域旱涝具有明显的准18年、准3年和准5年周期变化。格点数据中第1主周期为准19~21年,与CMD的较为接近;第2、第3主周期分别为准5~9年、准2~11年,部分格点数据的第2、第3主周期与CMD的

接近。总体上,GPCP数据中旱涝变化周期与CMD的较为接近。

3) 洞庭湖流域大部分区域的干旱频率为15%~20%,流域西北为高值区域,流域东北和东南山地为低值区。CFSR数据中流域西南与西部和北部边缘、ERA-Interim数据中流域西南、CMAP数据中流域西南和北部边缘、GPCP数据中流域南部与西部和西北大部分区域、CRU数据中流域西北局部、PREC/L数据中流域西北局部等干旱频率的空间分布与CMD中较为一致。CMD数据中雨涝频率为8%~25%,雪峰山北端、洞庭湖平原西北与北部和流域东部山地为高值区,流域东南部山地为低值区。多数格点数据中流域西部、西南部和北部的雨涝频率与CMD中较为一致,CRU和PREC/L数据中流域西部山间盆地的频率与CMD中较为一致。GPCP数据中干旱和雨涝频率与CMD数据中相同的站点数分别为12和11个,较其他格点数据中多。

4) 洞庭湖流域旱涝变化趋势存在区域差异,流域中南部、西部和北部呈变旱趋势,其他区域呈变涝趋势。格点数据中部分区域的旱涝变化趋势与CMD中一致。

参考文献:

- [1] 王国杰,姜彤,王艳君,等.洞庭湖流域气候变化特征(1961—2003年)[J].湖泊科学,2006,18(5):470-475.
- [2] 李景保,杨燕,许树辉.洞庭湖区1991—2000年大洪涝灾害特点与成因分析[J].湖南师范大学自然科学学报,2001,24(4):90-94.
- [3] 柳德新.“丰水湖南”为何干旱频发[N].湖南日报,2013-07-25(6).
- [4] 范彬彬,罗格平,张弛,等.新疆夏季降水时空分布的适用性评估[J].地理研究,2013,32(9):1602-1612.
- [5] 自勇,许吟隆,傅云飞.GPCP与中国台站观测降水的气候特征比较[J].气象学报,2007,65(1):63-74.
- [6] 白建锋,赵红莉,蒋云钟.全球共享GPCP数据在长江中下游地区的适用性分析[J].南水北调与水利科技,2012,9(6):33-38.
- [7] XIE P, ARKIN P A. Global precipitation: a 17-year monthly analysis based on gauge observations, satellite estimates, and numerical model outputs[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 1997, 78(11): 2539-2558.
- [8] 任珂,何金海,祁莉.东亚副热带季风雨带建立特征及其降水水质分析[J].气象学报,2010,68(4):550-558.
- [9] 何金海,祁莉,刘丹妮,等.东亚大气环流由冬向夏

- 的转变时间及其特征[J]. 气象科学, 2010, 30(5): 591–596.
- [10] 闻新宇, 王绍武, 朱锦红, 等. 英国 CRU 高分辨率格点资料揭示的 20 世纪中国气候变化[J]. 大气科学, 2006, 30(5): 894–904.
- [11] CHEN L, FRAUENFELD O W. A comprehensive evaluation of precipitation simulations over China based on CMIP5 multimodel ensemble projections[J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2014, 119(10): 5767–5786.
- [12] DELWORTH T L, ZENG F. Regional rainfall decline in Australia attributed to anthropogenic greenhouse gases and ozone levels[J]. Nature Geoscience, 2014, 7(8): 583–587.
- [13] 王红丽, 刘健, 况雪源. 四种再分析资料与长江中下游地区降水观测资料的对比研究[J]. 长江流域资源与环境, 2008, 17(5): 703–711.
- [14] 刘晗. 基于地理格网的洞庭湖流域降水变化分析[D]. 湘潭: 湖南科技大学, 2012.
- [15] 黄先香, 夏冬冬, 张立波, 等. 1948—2001 年全球陆地及大尺度区域 6—8 月旱涝气候变化[J]. 气候与环境研究, 2004, 9(3): 540–550.
- [16] 黄一民. 洞庭湖流域水循环中稳定同位素的变化特征及其影响机制研究[D]. 长沙: 湖南师范大学, 2013.
- [17] 中国气象科学数据共享服务网. 中国地面气候资料月值数据集[DB/OL]. [2008–04–01]. <http://cdc.nmic.cn/html>.
- [18] DEE D, FASULLO J, SHEA D, et al. The climate data guide: atmospheric reanalysis: overview & comparison tables[EB/OL]. [2016–12–12]. <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/atmospheric-reanalysis-overview-comparison-tables>.html.
- [19] SAHA S, MOORTHI S, WU X, et al. NCEP climate forecast system version 2 (CFSv2) selected hourly time-series products[DB/OL]. [2017–07–08]. <https://rda.ucar.edu/datasets>.html.
- [20] DEE D P, UPPALA S M, SIMMONS A J, et al. The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system[J]. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 2011, 137: 553–597.
- [21] ADLER R F, HUFFMAN G J, CHANG A, et al. The version-2 Global Precipitation Climatology Project (GPCP) monthly precipitation analysis (1979–present)[J]. Journal of Hydrometeorology, 2003, 4(6): 1147–1167.
- [22] NOAA, OAR, ESRL, et al. CMAP Precipitation data[DB/OL]. [2017–05–10]. <https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.cmap.html>.html.
- [23] HARRIS I, JONES P D, OSBORN T J, et al. Updated high-resolution grids of monthly climatic observations—the CRU TS3.10 dataset[J]. International Journal of Climatology, 2014, 34(3): 623–642.
- [24] CHEN M, XIE P, JANOWIAK J E, et al. Global land precipitation: a 50-yr monthly analysis based on gauge observations[J]. Journal of Hydrometeorology, 2002, 3(3): 249–266.
- [25] 鞠笑生, 杨贤为, 陈丽娟, 等. 我国单站旱涝指标确定和区域旱涝级别划分的研究[J]. 应用气象学报, 1997, 8(1): 26–33.
- [26] 刘志雄, 肖莺. 长江上游旱涝指标及其变化特征分析[J]. 长江流域资源与环境, 2012, 21(3): 310–314.
- [27] 唐亚平, 张凯, 李忠娴, 等. 1964—2008 年辽宁省旱涝时空分布特征及演变趋势[J]. 气象与环境学报, 2011, 27(2): 50–55.
- [28] 毛德华, 夏军. 洞庭湖区洪涝灾害的形成机制分析[J]. 武汉大学学报(理学版), 2005, 51(2): 199–203.
- [29] 新华社. 湘江干流发生 2012 年以来最大洪水 湖南全力防范[EB/OL]. [2012–06–13]. http://www.gov.cn/jrzq/2012-06/13/content_2159801.htm.html.
- [30] 历史上的今天. 桂粤湘赣四省区发生特大洪水[EB/OL]. [2018–06–20]. <http://www.lssdjt.com/d/19940620.htm>.html.
- [31] 中国新闻网. 湖南 169 万人遭洪灾 13 人因灾死亡或失踪[EB/OL]. [2010–05–08]. <https://news.qq.com/a/20100508/000577.htm>.html.
- [32] 刘兰芳. 干旱灾害对湖南省农业发展的影响及对策[J]. 安徽农业科学, 2007, 1(35): 271–273.
- [33] 新华网. 湖南长沙出现 50 年一遇特大干旱[EB/OL]. [2007–08–03]. <http://news.163.com/07/0807/01/3L8OMNQ10001124J.html>.html.
- [34] 中国天气网. 1949—1990 年中国干旱灾害事件[EB/OL]. [2009–02–03]. <http://www.weather.com.cn/static/html/article/20090203/23478.shtml>.html.
- [35] 中国天气网. 2001 年特大旱年[EB/OL]. [2009–02–18]. <http://www.weather.com.cn/static/html/article/20090218/24730.shtml>.html.
- [36] 刘兰芳, 肖志成, 陈涛, 等. 近 33 年衡阳盆地的气候变化与干旱发展趋势[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2014, 40(6): 637–642.
- [37] 胡德勇, 姚帮松, 孙松林, 等. 澧水流域降水量的时空分布特征[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2011, 37(5): 558–561.

责任编辑: 邹慧玲
英文编辑: 柳正