DOI:10.13878/j.cnki.jnuist.2016.02.005

王涛[1]　郭媛[2]　罗艳[1]　周迎平[1]

1800年以来海河流域夏季降水量的定量重建及分析

摘要

根据现代降水量实测资料和历史旱涝等级资料,通过相关统计分析方法重建了海河流域1800—2012年间的夏季(6—9月)降水量序列.介绍了定量重建历史降水量的方法及其可行性、合理性,并对重建的时间序列进行了分析.研究表明:1800—2012年海河流域平均夏季降水量始终处于波动变化之中,且经历了13次降水量的转变;20世纪夏季降水量总体上较19世纪呈现出减少趋势,近100年和近60年期间夏季降水量的减少趋势更加明显;19世纪80年代至19世纪90年代是1800年以来最湿润的阶段,而20世纪90年代至21世纪10年代是整个时期夏季降水量的最低值;近200多年,海河流域夏季降水量变化存在2~8、10~15、22、25~30、35和55 a左右的准周期,但20世纪长周期波动具有逐渐变短的趋势.

关键词

旱涝等级;夏季降水量;定量重建;海河流域

中图分类号 P467;P468

文献标志码 A

收稿日期 2014-10-14

资助项目 公益性行业(气象)科研专项(GYHY 201206012)

作者简介

王涛,男,博士,主要从事气候系统与全球变化的研究.4341250@qq.com.

1 安徽省公共气象服务中心,合肥,230031

3 广西壮族自治区气象局防雷中心,南宁,530000

0 引言

许多学者对不同地区历史时期的降水量进行了重建,这些工作主要利用树轮等代用记录进行降水量的定量恢复[1-4].我国是一个历史悠久的文明古国,拥有丰富翔实的历史文献资料.国内外学者采用多种方法,利用文献资料记载进行的较长时间序列降水量重建研究,也取得了很多的成果[5-8].

华北地区海河流域是我国的政治文化中心,也是全国人口最为集中的地区,地理上属于暖温带半湿润大陆性气候,受东亚夏季风的影响,降水年际变率大、旱涝灾害频繁发生.自20世纪60年代以来,海河流域年均和夏季降水量呈现出明显的减少趋势,1999—2002年降水量连续多年异常偏少,引起严重干旱,对当地的农业生产、人民生活和社会经济发展造成深远影响[9-11].因此,研究海河流域现代和历史时期降水量变化和变异规律,了解最近几十年海河流域降水的历史地位,可以为深入理解区域气候变化的原因和机理,预测未来年代尺度降水变化趋势奠定基础,为流域水资源管理和防灾减灾工作提供科技信息.

对海河流域内的现代和历史时期降水量及其旱涝灾害演化特征,已开展了若干研究[12-20].历史降水和旱涝演化研究主要采用《中国近五百年旱涝分布图集》(简称《图集》)资料[21-25].这套资料后来由张德二等[26-27]和张先恭等[28]、魏凤英等[29]进行了续补,使得序列长度得到延伸.在根据旱涝等级资料开展的研究中,一般采用旱涝等级法、旱涝比值法、旱涝县次法以及旱涝标准差定级法等分析过去不同时期旱涝灾害的时间演化规律[30].但是,针对海河流域的研究多直接使用旱涝等级资料,鲜有尝试重建过去实际降水量的工作,因此无法给出过去几个世纪海河流域平均年或夏季降水量时间序列.

本文拟以现代降水实测资料及《图集》为基础,采用统计方法,尝试定量重建1800—2012年海河流域平均的夏季降水量变化序列,在对重建结果进行评估的基础上,利用重建序列分析海河流域夏季降水量时间演化规律.

1 资料数据

本文选择海河流域内的大同、唐山、北京、保定、天津、沧州、石家庄、德州、邯郸及安阳10个站点作为代表站(图1).《图集》中这10个

站点具有 1800 年以来完整的旱涝等级序列,不存在资料缺失的现象.《图集》中对于有观测资料以来的旱涝等级资料,根据降水量来确定旱涝级别,为了和历史资料所得到的旱涝等级频率分配一致,其等级划分方法如下:

1 级(涝):$R_i > \bar{R} + 1.17\sigma$

2 级(偏涝):$(\bar{R} + 0.33\sigma) < R_i \leqslant (\bar{R} + 1.17\sigma)$

3 级(正常):$(\bar{R} - 0.33\sigma) < R_i \leqslant (\bar{R} + 0.33\sigma)$

4 级(偏旱):$(\bar{R} - 1.17\sigma) < R_i \leqslant (\bar{R} - 0.33\sigma)$

5 级(旱):$R_i < \bar{R} - 1.17\sigma$

式中 $\bar{R}$ 为 5—9 月多年平均降水量,R_i 为逐年 5—9 月降雨量,σ 为标准差.其中东北、华北站点采用其主要降水季节 6—9 月的降水量和标准差.鉴于海河流域位于华北地区,年降水主要集中于夏季,本文也统计和重建 6—9 月降水量.1950 年以来的降水实测资料由国家气象信息中心提供,经过质量控制,但没有经历均一化处理.对降水量周期性波动采用功率谱分析[31]和 Morlet 小波分析方法[32-33].

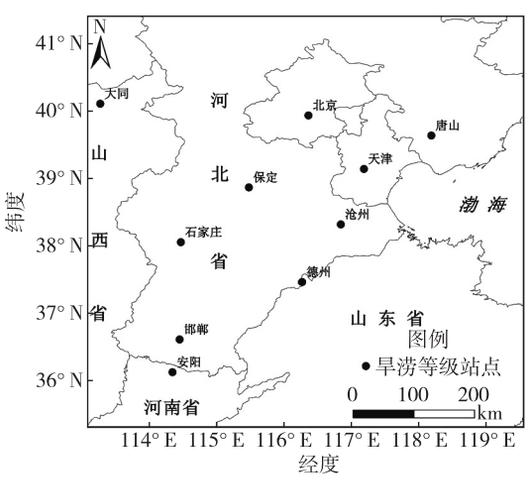


图 1 旱涝等级站点分布

Fig. 1 Distributionof stations with full dryness/wetness-index records

2 重建方法

本文目的是通过重建 1800 年以来各站点的降水量,进一步分析整个海河流域的夏季降水量时间变化规律.为此,关键在于将旱涝等级数据转换成降水量序列.

首先应确定各站点的旱涝等级所对应的降水量,才能在旱涝等级与降水量之间建立一种转换关系,从而实现降水量的重建.本文采用对旱涝等级赋值的方法,进行降水量的重建.

下面以安阳站的降水量序列重建为例说明此方法.

首先,列出 1951—2012 年安阳的实际降水量序列.其中 1951—2000 年是降水量实测记录与《图集》和续补资料中旱涝等级的重叠时间.鉴于《图集》编写及续补时采用的实测降水量记录的时间长度及其平均值、标准差会有所差别,本文使用 1951—2012 年间降水量序列按照《图集》中等级划分方法重新计算安阳的旱涝等级,即用更长时间的降水量记录对旱涝等级进行一定的修正和补充.其结果表明新旧旱涝等级之间大多相同或者相差一个等级,两个序列之间的相关系数达到 0.912(表 1),说明新的旱涝等级序列是合理的且能反映降水量的变化.

表 1 安阳降水量与旱涝等级及其相关分析

Table 1 Correlation coefficient between precipitation and two DWI series at Anyang station

相关性分析	降水量	原旱涝等级	新旱涝等级
降水量	1	-0.914**	-0.929**
原旱涝等级	-0.914**	1	0.912**
新旱涝等级	-0.929**	0.912**	1

注:** 表示通过显著性水平为 0.01 的显著性检验

最后,根据新的 1951—2012 年间安阳旱涝等级序列,统计各个旱涝等级的次数,然后将各级所有年实测降水量的平均值作为新等级中每级所对应的降水量值,这样便可以得到 1951—2012 年间的一个新的降水量序列.相关性计算结果表明所得到的新降水量序列与实测降水量序列之间的相关系数为 0.937,通过了显著性水平为 0.01 的显著性检验.这在一定程度上表明新的降水量序列可以用来代替安阳的实测降水量序列.

根据以上方法,结合《图集》中安阳的旱涝等级序列,便可重建 1800—2012 年间旱涝等级所对应的降水量序列(图 2).采用同样的方法可以得到邯郸、石家庄、德州、沧州等其余 9 个站点的 1800—2012 年间的降水量序列(图略).根据重建的 10 个站降水量序列资料,采用简单算术平均方法,可以得到 1800—2012 年整个海河流域平均的夏季降水量序列(图 3).

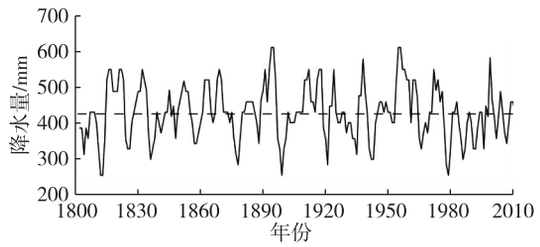


图 2　1800—2012 安阳夏季降水量序列(虚线为均值线)

Fig. 2　Summer rainfall series of Anyang during 1800—2012 (dotted line is for average value)

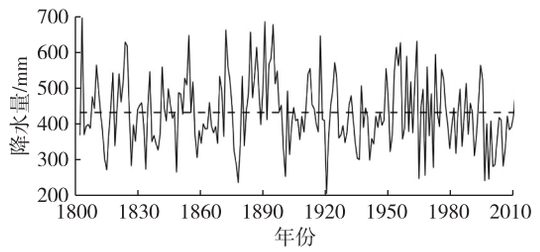


图 3　1800—2012 年间海河流域平均夏季降水量序列

Fig. 3　Summer rainfall series of Haihe River basin during 1800—2012 (dotted line is for average value)

3　重建结果合理性分析

3.1　与历史旱涝的对比

沙万英等[34]选择了记录年代较长、系统性较好、分布均匀的海河流域站点,对近 500 年来每个世纪、各年代大旱大涝的时刻特征进行了统计分析.1800 年以来旱涝出现的年份如表 2 所示.

表 2　1800—2012 年海河流域旱涝年表[34]

Table 2　Dry and wet years in Haihe River basin during 1800—2012

	大旱年	大涝年
19 世纪	1847、1877	1801、1822、1823、1840、1853、1871、1872、1873、1890、1894
20 世纪	1900、1920、1965、1968、1972、1983	1917、1954、1956、1963

本文对这些旱涝年中降水量变化情况(以降水距平表示)的站点数进行统计(表 3、表 4),检验重建降水序列与旱涝年的对应情况.

从表 3 和 4 看出:在干旱年份中 10 个站点少有出现正距平的站点,正距平站点平均出现次数为 0.625 个/a,负距平站点次数为 5.875 个/a,而洪涝年份中 10 个站点几乎没有出现负距平的站点,正距平站点平均出现次数为 7.43 个/a.旱涝出现的年份与站点重建降水量多少变化的情况具有较好的对应关系.

表 3　海河流域旱年及正负距平站点数统计

Table 3　Station numbers of precipitation anomaly during dry yearsin Haihe River basin

年份	正距平站点数	负距平站点数	平均值站点数
1847	1	5	4
1877	0	10	0
1900	0	7	3
1920	0	8	2
1965	2	1	7
1968	1	4	5
1972	1	7	2
1983	0	5	5

表 4　海河流域涝年及正负距平站点数统计

Table 4　Station numbers of precipitation anomaly during wet yearsin Haihe River basin

年份	正距平站点数	负距平站点数	平均值站点数
1801	7	0	3
1822	9	0	1
1823	9	0	1
1840	5	1	4
1853	8	0	2
1871	9	0	1
1872	8	0	2
1873	8	0	2
1890	7	0	3
1894	8	0	2
1917	7	0	3
1954	8	0	2
1956	5	0	5
1963	6	0	4

3.2　与其他重建结果的对比

郑景云等[35]基于清代雨雪分寸档案记载、现代器测气象记录等定量复原了黄河中下游地区过去 300 年的降水量变化(如图 4a);张德二等[36]根据清代宫廷档案的北京“晴雨录”记录,复原了 1724—2000 年北京的年降水量变化(如图 4b).经过对比 3 个重建的序列可以看出(图 4),1800—2000 年间 3 个曲线之间具有较好的可比性,曲线的峰谷值的波动变化基本一致,新建序列中 1801、1822、1834、1840、1853、1872、1883、1886、1890、1894、1917、1924 等年的波峰值在另 2 个序列中也有出现,波谷值出

现的时间也基本吻合.计算显示,本文重建结果与郑景云等[35]和张德二[36]的结果相关系数分别为0.607、0.645,通过了显著性水平为0.01的显著性检验.总的来说,新建的序列与其他的重建结果对比取得较好的效果,一定程度上验证了重建方法的可行性及合理性,以及重建结果的可靠性.

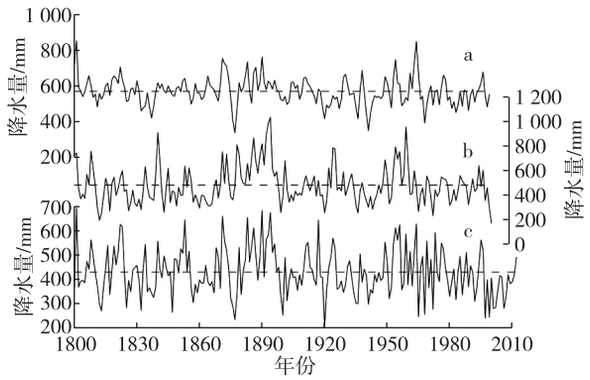


图4 黄河中下游(a)[35]、北京(b)[36]及海河流域(c)降水量重建对比

Fig. 4 Comparison of precipitations reconstructedin the middle and low Yellow River(a),Beijing(b), and Haihe River basin(c)

4 重建序列分析

4.1 降水量变化趋势分析

将重建的海河流域降水序列做9年滑动平均处理.从图5中可以看出,1800年以来海河流域的降水呈现波动减少趋势.1800—1900年间出现9次降水量转变,总的以正距平为主,其时间长度及幅度都比较大,负距平的时间长度及幅度则较小,其中19世纪后20年是一个夏季降水异常偏多时期,19世纪80年代后期和19世纪90年代早期滑动平均距平值达到100 mm以上,成为整个研究期最湿润的阶段;1900至今只出现了4次降水量转变,其正距平的时间长度及幅度明显减小,负距平的幅度变化不大,2次降水量减少时段内变化速率缓慢,但持续时间变长,尤其是近60年来,流域内降水量处于明显减少趋势中.从线性变化趋势(图5)及倾向率(表5)看:较之19世纪,海河流域在20世纪呈现干旱化趋势,20世纪后半叶干旱化又比近100年时期加剧,特别是20世纪90年代初至21世纪前10年,降水异常偏少,成为整个研究期内降水距平的最低值.这也是造成海河流域水资源紧张状况不断加剧及干旱连年发生的主要原因.但最近几年海河流域夏季降水量开始有所增加.

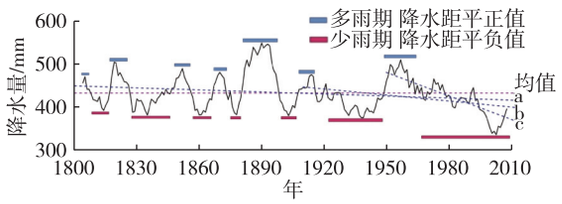


图5 1800—2012年间海河流域的降水量序列的9年滑动平均曲线
(蓝色为线性趋势线,a为1800年以来,b为1910年以来,c为1950年以来)

Fig. 5 The 9-year moving average curve of summer rainfall series in Haihe River basin during 1800-2012 (dotted line for linear trend,with a since 1800, b since 1910,andc since 1950)

表5 不同时段降水量线性变化倾向率变化

Table 5 The precipitation linear trend in different periods

时段	降水量线性变化倾向率/(mm/(10 a))
1800—2012年	-1.57
1910—2012年	-4.65
1950—2012年	-18.1

4.2 降水变化周期分析

对重建序列的功率谱周期分析结果(图6)表明:1800—2012年海河流域夏季降水通过95%检验的有34.5、21.7、10.3和2.3~3.5 a周期;通过90%检验的有7.3、6.4和3.5 a周期.Morlet小波分析结果(图7)表明:该序列还存在55 a左右、25~30a左右及10~15 a左右长短不等的周期.其中55 a左右的周期信号在1850—1950年时段较好,此后有不断缩短趋势;35 a的周期信号在19世纪较强,20世纪后开始减弱;25~30 a左右的周期也有类似20世纪后减弱变化的趋势,而10~15 a左右的周期信号在整个时段内都比较好.重建序列中2~8、10~15、22、25~30、35及55 a左右的变化周期,在前人的研究[37-41]中均有近似发现,但60 a以上的变化周期在此次重建序列中没有呈现.

4.3 降水周期性变化的可能原因

海河流域降水量2.3~7.8 a周期可能与海气相互作用、ENSO周期(2~8 a)有联系[42],表明海河流域降水量的变化可能受到ENSO信号的调节.本文统计了1800—1998年间El Nino事件与海河流域平均降水量异常的关系.这个时期共有76 a发生El Nino

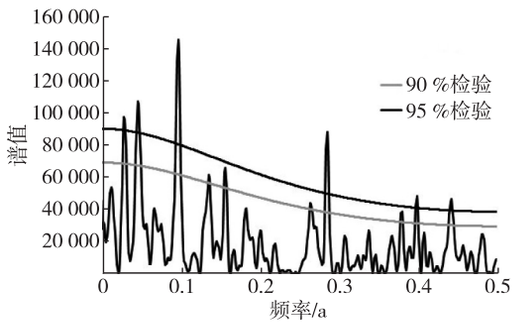


图 6　海河流域夏季降水量重建的功率谱分析

Fig. 6　Spectrum analysis result of reconstructed series since 1800

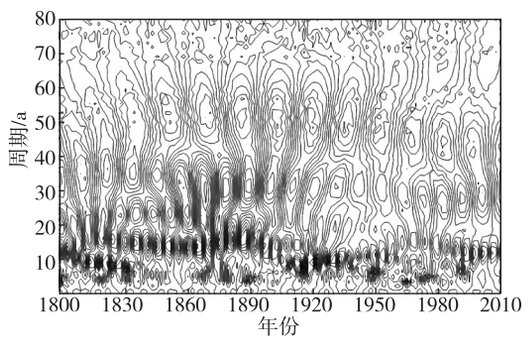


图 7　海河流域夏季降水量重建的 Morlet 小波分析

Fig. 7　Morlet wavelet transforms of reconstructed series since 1800

事件,其中包括 30 个较强的 El Nino 年.在 El Nino 发生的当年或次年,海河降水距平值为负的有 53 a,发生频率为 71%,而在 30 个较强的 El Nino 年份中,有 23 a 海河降水距平出现负值,发生频率为 76.7%(El Nino 数据来源于 http://jiasao.washington.edu/data_sets/quinn/).

10.3 和 21.7 a 周期可能与太阳黑子活动周期相关[43];34.5 a 周期可能与布吕克纳周期有关,该周期在许多研究中被发现,如阿尔卑斯冰川进退、太平洋高压、印度洋低压、赤道低压位置的多年变化等均含有明显的 35 a 周期,我国长江下游 5—8 月(1885—1972 年)降水多年变化也含有明显的 35 a 周期[44],王绍武等[45]曾对此时间长度周期有过研究;其余检测出的周期应与太平洋年际振荡(PDO)有关[46],而 60 a 以上的变化周期[40-42]可能因本文重建序列长度仅有 200 a 而未显现.由此可见海河流域降水的影响因素是多方面的,除了气候系统内部反馈之外,还会受到其他自然强迫因子的影响.

5　结论

利用现代降水量实测资料,结合《中国近五百年旱涝分布图集》中大同、唐山、北京、保定、天津、沧州、石家庄、德州、邯郸及安阳 10 个站点 1800—2012 年间的旱涝等级资料,探讨了利用旱涝等级资料结合实测降水资料定量恢复历史时期降水量的方法,重建了海河流域 1800—2012 年间的夏季(6—9 月)降水量序列,并对该序列作了合理性验证及初步分析.

研究表明,本文重建的海河流域夏季降水量序列是合理的,说明重建方法是可行的.从重建序列可以看出,1800—2012 年间海河流域夏季平均降水量始终处于波动变化中,并且经历了 13 次降水量的转变.总体上,20 世纪夏季降水量较 19 世纪呈现出减少趋势,近 100 a 和近 60 a 期间夏季降水量的减少趋势更加明显;19 世纪 80 年代至 19 世纪 90 年代是 1800 年以来最湿润的阶段,而 20 世纪 90 年代至 21 世纪 10 年代是整个时期夏季降水量的最低值,降水量的减少是整个流域干旱化加剧的重要原因.近 200 多年来,海河流域夏季降水量变化存在 2~8、10~15、22、25~30、35 和 55 a 左右的准周期,这些周期波动可能与 ENSO 事件、太平洋年际振荡(PDO)、太阳黑子活动等众多影响因子有关,值得深入探讨.

参考文献

References

[1] 刘禹,马利民.树轮宽度对近 376 年呼和浩特季节降水的重建[J].科学通报,1999,44(18):1986-1992
LIU Yu, MA Limin. Seasonal precipitation reconstruction from tree ring widths for the last 376 years in Hohhot region[J]. Chinese Science Bulletin, 1999, 44 (18): 1986-1991

[2] 邵雪梅,黄磊,刘洪滨,等.树轮记录的青海德令哈地区千年降水变化[J].中国科学(地球科学),2004,34(2):145-153
SHAO Xuemei, HUANG Lei, LIU Hongbin et al. Millennial precipitation variations recorded by tree-ring in Delingha region, Qinghai[J]. Science in China Ser (Earth Sciences),2004,34(2):145-153

[3] Hughes M K, Wu X D, Shao X M, et al. A preliminary reconstruction of rainfall in north-central China since A D 1600 from tree-ring density and width[J]. Quaternary Research, 1994, 42(1): 88-99

[4] Garfin G, Hughes M K, Yu L, et al. Exploratory temperature and precipitation reconstructions from the Qinling Mountains, north-central China[J]. Tree-Ring Research, 2005, 61(2): 59-72

[5] 张德二,刘月巍,梁有叶,等.18 世纪南京、苏州和杭州

年、季降水量序列的复原研究[J].第四季研究,2005,25(2):121-128
ZHANG De'er,LIU Yuewei,LIANG Youye,et al.Reconstruction of annual and seasonal precipitation series of Nanjing,Suzhou and Hangzhou during the 18th century [J].Quaternary Sciences,2005,25(2):121-128

[6] 郑景云,郝志新,葛全胜.重建清代逐季降水的方法与可靠性:以石家庄为例[J].自然科学进展,2004,14(4):475-480
ZHENG Jingyun,HAO Zhixin,GE Quansheng. Method and reliability for seasonal precipitation reconstruct-ion derived from snow and rainfall archives in Qing dynasty: A case study in Shijiazhuang[J].Progress in Natural Science,2004,14 (4):475-480

[7] 伍国凤,郝志新,郑景云.1736年以来南京逐季降水量的重建及变化特征[J].地理科学,2010,30(6):936-942
WU Guofeng, HAO Zhixin, ZHENG Jingyun. Reconstruction and analysis of seasonal precipitation in Nanjing since 1736[J]. Scientia Geographica Sinica, 2010,30(6):936-942

[8] 王绍武,龚道溢,叶瑾琳,等.1880年以来中国东部四季降水量序列及其变率[J].地理学报,2000,55(3):281-293
WANG Shaowu,GONG Daoyi,YE Jinlin,et al.Seasonal precipitation series of eastern China since 1880 and the variability[J].Acta Geographica Sinica,2000,55(3):281-293

[9] 刘春蓁,刘志雨,谢正辉.近50年海河流域径流的变化趋势研究[J].应用气象学报,2004,15(4):385-393
LIU Chunzhen,LIU Zhiyu,XIE Zhenghui.Study of trends in runoff for the Haihe river basin in recent 50 years[J]. Journal of Applied Meteorological Science,2004,15(4):385-393

[10] 任国玉,郭军,徐铭志,等.近50年中国地面气候变化基本特征[J].气象学报,2005,63(6):942-956
REN Guoyu, GUO Jun, XU Mingzhi, et al. Climate changes of China's mainland over the past half century [J].Acta Meteorologica Sinica,2005,63(6):942-956

[11] 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[J].Advances in Earth Science,2011,26(1):1-12

[12] 张德二,刘传志,江剑民.中国东部6区域近1000年干湿序列的重建和气候跃变分析[J].第四纪研究,1997,17(1):1-11
ZHANG De'er, LIU Chuanzhi, JIANG Jianmin. Reconstruction of six regional dry/wet series and their abrupt changes during the last 1 000 years in east China[J]. Quaternary Sciences,1997,17(1):1-11

[13] 陈峪,高歌,任国玉,等.中国十大流域近40多年降水量时空变化特征[J].自然资源学报,2005,20(5):637-643
CHEN Yu,GAO Ge,REN Guoyu,et al.Spatial and temporal variation of precipitation over ten major basins in China between 1956 and 2000[J].Journal of Natural Resources,2005,20(5):637-643

[14] 袁飞,谢正辉,任立良,等.气候变化对海河流域水文特性的影响[J].水利学报,2005,36(3):274-279
YUAN Fei, XIE Zhenghui, REN Liliang, et al. Hydrological variation in Haihe river basin due to climate change[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2005, 36 (3):274-279

[15] 王洁,徐宗学.白洋淀流域气温与降水量长期变化趋势及其持续性分析[J].资源科学,2009,31(9):1498-1505
WANG Jie, XU Zongxue. Long-term trend and the sustainability of air temperature and precipitation in the Baiyangdian basin[J].Resources Science,2009,31(9):1498-1505

[16] 丁相毅,贾仰文,王浩,等.气候变化对海河流域水资源的影响及其对策[J].自然资源学报,2010,25(4):604-613
DING Xiangyi,JIA Yangwen,WANG Hao,et al.Impacts of climate change on water resources in the Haihe river basin and corresponding countermeasures[J].Journal of Natural Resources,2010,25(4):604-613

[17] 汤仲鑫,赖叔彦,李敬芬,等.海河流域旱涝冷暖史料分析[M].北京:气象出版社,1990:113-128
TANG Zhongxin,LAI Shuyan,LI Jingfen,et al.Historical documents analysis on drought/flood and cold/warm in Haihe Basin[M]. Beijing: China Meteorological Press, 1990:113-128

[18] 苏桂武.华北地区500年来旱涝区域分异演变的研究[J].第四纪研究,1999,19(5):430-440
SU Guiwu. Research on the dry-wet regional differentiation changes during the past 500 years of north China[J].Quaternary Sciences,1999,19(5):430-440

[19] 褚健婷,夏军,许崇育,等.海河流域气象和水文降水资料对比分析及时空变异[J].地理学报,2009,64(9):1083-1092
CHU Jianting,XIA Jun,XU Chongyu,et al.Comparison and spatial-temporal variability of daily precipitation data of weather stations and rain gauges in Haihe river basin [J].Acta Geographica Sinica,2009,64 (9):1083-1092

[20] 刘学峰,任国玉,范增禄,等.海河流域近47年极端强降水时空变化趋势分析[J].干旱区资源与环境,2010,24(8):85-90
LIU Xuefeng,REN Guoyu,FAN Zenglu,et al.Trends of precipitation extremes in the Haihe river basin during 1961-2007[J].Journal of Arid Land Resources and Environment,2010,24(8):85-90

[21] 中央气象局气象科学研究院.中国近五百年旱涝分布图集[M].北京:地图出版社,1981
Chinese Academy of Meteorological Science.Yearly charts of dryness/wetness in China for the last 500-year period [M].Beijing:China Map Press,1981

[22] 王绍武,赵宗慈,陈振华.公元950—1991年的旱涝型[M]//王绍武,黄朝迎.长江黄河旱涝灾害发生规律及其经济影响的诊断研究.北京:气象出版社,1993:55-66
WANG Shaowu, ZHAO Zongci, CHEN Zhenghua. Dryness/wetness pattern during 950-1991[M]//WANG

Shaowu,HUANG Chaoying.Study on occurrence and economic impact of drought/flood disaster in the Yangtze River and Yellow River. Beijing: China Meteorological Press,1993:55-66

[23] 张丕远,王铮,刘啸雷,等.中国近 2000 年来气候演变的阶段性[J].中国科学 化学,1994,24(9):998-1008
ZHANG Piyuan, WANG Zheng, LIU Xiaolei, et al. The stages of climate change in recent 2000 years [J]. Scientia Sinica Chimica,1994,24(9):998-1008

[24] 张德二,王丽华,孙霞.由历史文献记载反演逐年网格点降水量距平场:气候史料客观定量研究的新探讨[J].第四纪研究,2003,23(2):177-184
ZHANG De'er,WANG Lihua,SUN Xia.Reconstruction of grid precipitation anomaly in eastern China from historical documents:new study on Chinese historical climate records [J]. Quaternary Sciences, 2003, 23 (2): 177-184

[25] Qian W H, Chen D, Zhu Y, et al. Temporal and spatial variability of dryness/wetness in China during the last 530 years [J]. Theoretical and Applied Climatology, 2003,76(1/2):13-29

[26] 张德二,刘传志.《中国近五百年旱涝分布图集》续补(1980—1992)[J].气象,1993,19(11):41-46
ZHANG De'er,LIU Chuanzhi.Supplement of yearly charts of dryness/wetness in China for the last 500-year period (1980-1992) [J]. Meteorological Monthly, 1993, 19 (11):41-46

[27] 张德二,李小泉,梁有叶.《中国近五百年旱涝分布图集》的再续补(1993—2000)[J].应用气象学报,2003,14(3):379-388
ZHANG De'er, LI Xiaoquan, LIANG Youye. Supplement of yearly charts of dryness/wetness in China for the last 500-year period (1993-2000) [J]. Journal of Applied Meteorological Science,2003,14(3):379-388

[28] 张先恭,魏凤英.1980—1991 年旱涝分布图[J].气象,1993,19(4):33-38
ZHANG Xiangong, WEI Fengying. Dryness and wetness grades series during 1980-1991 in China[J].Meteorological Monthly,1993,19(4):33-38

[29] 魏凤英,张先恭.1991—2000 年中国旱涝等级资料[J].气象,2001,27(3):46-50
WEI Fengying, ZHANG Xiangong. Dryness and wetness grades series during 1991-2000 in China[J]. Meteorological Monthly,2001,27(3):46-50

[30] 郑景云,郝志新,葛全胜.山东 1736 年来逐季降水重建及其初步分析[J].气候与环境研究,2004,9(4):551-566
ZHENG Jingyun, HAO Zhixin, GE Quansheng. Seasonal precipitation reconstruction and analysis in Shandong Province derived from the archives in the Qing dynasty since 1736 [J]. Climatic and Environmental Research, 2004,9(4):551-566

[31] Schulz M, Mudelsee M. Estimating red-noise spectra directly from unevenly spaced paleoclimatic time series [J].Computers & Geosciences,2002,28(3):421-426

[32] 杨建国.小波分析及其工程应用[M].北京:机械工业出版社,2005
YANG Jianguo.Wavelet analysis and its engineering applications[M].Beijing:China Machine Press,2005

[33] 王文圣,丁晶,李跃清.水文小波分析[M].北京:化学工业出版社,2005:115-141
WANG Wensheng, DING Jing, LI Yueqing. Hydrology wavelet analysis [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005:115-141

[34] 沙万英,郭其蕴.海河流域近 500 年大旱大涝时空特征及趋势预测[J].自然灾害学报,1996,5(4):104-114
SHA Wanying,GUO Qiyun.Temporal and spatial characteristics of severe droughts and floods in Haihe drainage basin in the last 500 years and forecast on tendency[J]. Journal of Natural Disasters,1996,5(4):104-114

[35] 郑景云,郝志新,葛全胜.黄河中下游地区过去 300 年降水变化[J].中国科学(地球科学),2005,35(8):765-774
ZHENG Jingyun, HAO Zhixin, GE Quansheng. Variation of precipitation for the last 300 years over the middle and lower reaches of the Yellow River[J].Science in China Series(Earth Sciences),2005,35(8):765-774

[36] 张德二,刘月巍.北京清代"晴雨录"降水记录的再研究:应用多因子回归方法重建北京(1724—1904 年)降水量序列[J].第四季研究,2002,22(3):199-208
ZHANG De'er,LIU Yuewei.A new approach to the reconstruction of temporal rainfall sequences from 1724-1904 Qing-Dynasty weather records for Beijing[J].Quaternary Sciences,2002,22(3):199-208

[37] 张利平,朱存稳,夏军.华北地区降水变化的多时间尺度分析[J].干旱区地理,2004,27(4):548-552
ZHANG Liping,ZHU Cunwen,XIA Jun.Analysis on the change of precipitation in multiple temporal scales in north China [J]. Arid Land Geography, 2004, 27 (4): 548-552

[38] 李淼,夏军,陈社明,等.北京地区近 300 年降水变化的小波分析[J].自然资源学报,2011,26(6):1001-1011
LI Miao,XIA Jun,CHEN Sheming,et al.Wavelet analysis on annual precipitation around 300 years in Beijing area [J]. Journal of Natural Resources, 2011, 26 (6): 1001-1011

[39] Ren G Y, Liu H B, Chu Z Y, et al. Multi-time-scale climate variations over eastern china and implications for the south-north water diversion project [J]. Journal of Hydrometeorology,2011,12(4):600-617

[40] 郝志新,郑景云,葛全胜.黄河中下游地区降水变化的周期分析[J].地理学报,2007,62(5):537-544
HAO Zhixin, ZHENG Jingyun, GE Quansheng. Precipitation cycles in the middle and lower Yellow River [J].Acta Geographica Sinica,2007,62(5):537-544

[41] Qian W H,Zhu Y F,Tang S Q.Reconstructed index of summer monsoon dry-wet modes in East Asia for the last millennium[J].Chinese Science Bulletin,2011,56(28):3019-3027

[42] Allan R J.ENSO and climatic variability in the past 150 years[M]//Diaz H F,Markgraf V.El Nino and southern oscillation:Multiscale variability and global and regional impacts. New York: Cambridge University Press, 2003: 3-55

[43] 刘广深,米家榕,戚长谋,等.东北地区降水周期与太阳活动的关系[J].长春地质学院学报,1996,26(4):422-427
LIU Guangshen,MI Jiangrong,QI Changmou,et al.Relationship between the solar forcing and periodic variations of meteoric water in the northeastern China[J].Journal of Changchun University of Earth Sciences,1996,26(4):422-427
[44] 张家诚.气候变迁及其原因[M].北京:科学出版社,1976
ZHANG Jiacheng. Climate change and its causes[M]. Beijing:Science Press,1976
[45] 王绍武,赵宗慈.我国旱涝36年周期及其产生的机制[J].气象学报,1979,37(1):64-73
WANG Shaowu,ZHAO Zongci.The 36 years.wetness oscillation in China and its' mechanism[J].Acta Meteorologica Sinica,1979,37(1):64-73
[46] 马柱国,邵丽娟.中国北方近百年干湿变化与太平洋年代际振荡的关系[J].大气科学,2006,30(3):464-474
MA Zhuguo,SHAO Lijuan.Relationship between dry/wet variation and the Pacific Decade Oscillation(PDO) in northern China during the last 100 years[J].Chinese Journal of Atmospheric Sciences,2006,30(3):464-474

Precipitation reconstruction and analysis in Haihe River basin since 1800

WANG Tao[1] GUO Yuan[2] LUO Yan[1] ZHOU Yinping[1]
1 Anhui Public Meteorological Service Center,Hefei 230031
2 Lightning Protection Center ofGuangxiMeteorological Bureau,Nanning 530000

Abstract The summer rainfall series (June to September) in the Haihe River basin from 1800 A.D.to 2012 A.D. are reconstructed by statistic method,using data of the observed precipitation and the dryness and wetness grades in modern times.The quantified reconstruction of historical precipitation,with its feasibility and reliability areintroduced,and the time series of the reconstructed data are analyzed in this paper.The results show that the summer rainfall is always fluctuating and there are 13 shift terms in the basin during 1800-2012.Summer rainfall is generally less in the 20th century compared with that inthe 19th century,and the decreasing trend is most obvious in the last 100 years and the last 60 years.The 1880s-1890s is the moistest period,while the 1990s-2010s is the driest period. Power spectrum and wavelet analysis also show that the summer rainfall during 1800-2012 is characterized by inter-annual and inter-decadal oscillations with 2-8 a,10-15 a,22 a,25-30 a,quasi-35 a,and quasi-55 a period,and the long period oscillations are shortened in the 20 century.

Key words dryness and wetness index;summer precipitation;quantified reconstruction;Haihe River basin