

长江流域及三峡库区近 542 年旱涝演变特征

马德栗¹ 刘敏¹ 鞠英芹²

(1 武汉区域气候中心, 武汉 430074; 2 中国气象局气象干部培训学院湖北分院, 武汉 430074)

摘要 选取长江流域沿线及三峡库区 12 个代表站, 根据中国 500 年旱涝图集等级和各站建站以来 5—9 月降水量资料, 按照旱涝等级标准, 分别得到长江全流域、上游流域、中游流域、下游流域及其三峡库区 1470—2011 年旱涝等级序列。结果表明: 长江各流域及其三峡库区均呈现较为明显的旱涝交替阶段, 20 世纪偏旱频率强烈增加, 19 世纪和 20 世纪偏涝频率明显增加。长江流域和三峡库区偏旱以上等级具有准 160 年周期震荡, 全流域偏涝以上存在准 140 年的周期震荡, 但 20 世纪后有所减弱, 三峡库区偏涝以上等级存在准百年的周期震荡。三峡建坝蓄水前后库区降水 EOF 时空分布呈一致减少趋势, 与此同时长江上游降水呈下降趋势, 反映了长江上游流域及三峡库区气候趋旱; M-K 突变检验显示水库蓄水前后流域上游和库区降水均未发生显著变化。在全球气候变化的背景下, 三峡库区旱涝演变并不是孤立事件, 而是与长江上游乃至整个长江流域旱涝背景密不可分。

关键词 旱涝等级序列; 演变特征; 长江流域

引言

长江流域横跨西南、华中、华东三大经济区, 在我国经济生活中占有重要地位^[1]。同时该区又是我国气象灾害频繁发生的地区之一, 尤其是旱涝灾害、低温冷害^[2-3]。因此, 研究长江流域旱涝变化特征不仅对流域经济开发具有重要的现实意义, 而且可对长江流域长远发展提供重要的科学依据。

长期以来, 我国学者一直关注长江流域旱涝及其冷暖变化, 并取得许多重大进展。王绍武等^[4]对近两千年长江大旱大涝的研究发现, 长江流域自公元 100 年到 1991 年间共出现大旱 113 次, 大涝 176 次, 涝多于旱, 旱涝总频率在 15% 左右, 即每 6~7 年出现一次大旱或大涝。何丽^[5]分析了全球气候变暖背景下长江流域气温、降水及其旱涝灾害的变化特点, 认为暖期洪灾几率加大, 非暖期旱灾几率大。黄朝迎^[6]统计了 1951—1990 年间旱灾发生规律及其影响, 得出长江流域旱涝灾害加剧的结论。黄荣辉^[7]研究了近 500 年长江中游和下游旱涝关系, 中游旱涝变化主要有 20 年左右及 5~6 年周期, 且中

下游旱涝有良好的一致性。叶愈源^[8-9]揭示近 500 年长江中游旱涝经历前旱后涝的世纪变化过程, 且 20 世纪后期旱涝频次加剧。本文在上述研究的基础上, 选取长江上、中、下游及三峡库区代表站点, 增补 1990 年后长江流域代表站点旱涝等级资料, 建立 1470—2011 年长江流域旱涝序列, 进一步分析长江流域及三峡库区近 542 年旱涝演变特征, 试图揭示三峡库区旱涝与长江流域旱涝关系, 为发挥三峡工程的经济和社会效应, 提供参考依据。

1 旱涝等级序列建立

根据长江流域各站分布及历史资料情况, 在长江流域选取上游(重庆、成都、万县、宜昌)、中游(荆州、武汉、岳阳、九江)、下游(安庆、南京、扬州、上海) 12 个代表站, 其中三峡库区(重庆、万县、宜昌) 3 个代表站, 见图 1。首先利用中国 500 年旱涝等级图集^[9], 得到上述 12 个代表站 1470—1979 年的旱涝等级。为保证旱涝序列的前后一致性, 参考文献^[10]序列建立方法, 利用各站历年降水观测记录中 5—9 月累积降水量计算 1980—2011 年的旱涝等级,

<http://www.qxkj.net.cn> 气象科技

公益性(气象)行业科研行业专项“三峡水库气候效应分析评价关键技术及系统研制”(GYHY201306053)、中国长江三峡集团公司项目“三峡工程气候效应分析和评估”资助

作者简介: 马德栗, 男, 1985 年生, 硕士, 工程师, 主要从事应用气象、气候变化研究, Email: ma_deli@126.com

收稿日期: 2015 年 6 月 25 日; 定稿日期: 2016 年 2 月 25 日

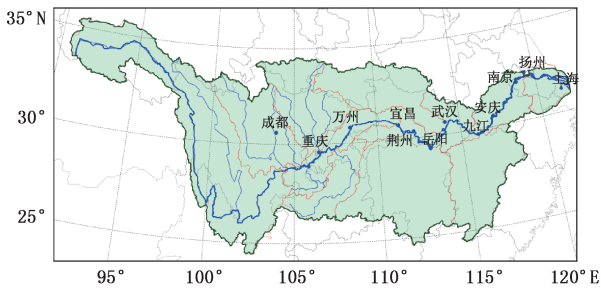


图 1 长江流域及代表站点

并按旱涝图集的标准进行划分,具体划分标准见表 1,得到长江流域 12 站 1470—2011 年 542 年的旱涝等级序列。全流域、上游、中游、下游流域及三峡库区旱涝序列,为流域内各站旱涝等级的算术平均值^[10]。

2 长江流域及三峡库区旱涝演变特征

2.1 旱涝变化

1470—2011 年长江流域及三峡库区旱涝变化趋势基本一致,历经多次旱涝转换,尤其 20 世纪后

表 1 1980—2011 年的旱涝等级划分标准

等级	1 级(涝)	2 级(偏涝)	3 级(正常)	4 级(偏旱)	5 级(旱)
判别式	$R_i > (\bar{R} + 1.17\delta)$	$(\bar{R} + 0.33\delta) < R_i \leq (\bar{R} + 1.17\delta)$	$(\bar{R} - 0.33\delta) < R_i \leq (\bar{R} + 0.33\delta)$	$(\bar{R} - 1.17\delta) < R_i \leq (\bar{R} - 0.33\delta)$	$R_i \leq (\bar{R} - 1.17\delta)$

注: R_i 为逐年各站 5—9 月累积降水量; \bar{R} 为 5—9 月多年(1971—2000 年)平均降水量; δ 为各降水序列的标准差。

期旱涝出现频率有所加剧,旱涝转换频繁。利用傅里叶滤波得到年代际变化,长江流域及三峡库区旱涝年代际变化具有阶段性特征,20 世纪以后长江流域及其三峡库区出现旱(5 级)、涝(1 级)次数远远超过 20 世纪以前,且各流域以偏旱及早为主。1470—2011 年三峡库区旱涝变化与长江上游变化较为一致,相关性达 0.83,这主要是因为三峡库区是上游流域的一部分,两者旱涝紧密相连不可分割(图 2,

彩页)。

1470—2011 年长江流域正常级(3 级)出现 346 次,约占总次数 64%;偏涝以下(≤ 2 级)和偏旱以上(≥ 4 级)级别分别出现 104 次、98 次,约占 21%、17%;与全流域相同,上、中、下游流域和三峡库区流域正常年份所占比重较大;全流域及各个流域和三峡库区旱(5 级)涝(1 级)出现次约占总年份约 3%~5%,这符合正常年份占多数的气候规律^[11](表 2)。

表 2 1470—2011 年长江流域及其上、中、下游旱涝发生频率和次数

旱涝等级	全流域		上游		中游		下游		三峡	
	次数	频率/%	次数	频率/%	次数	频率/%	次数	频率/%	次数	频率/%
1 涝	13	3	14	3	25	5	17	3	16	3
2 偏涝	91	18	92	17	104	19	114	21	104	19
3 正常	346	64	310	57	284	52	272	50	299	55
4 偏旱	75	13	101	19	103	19	113	21	103	19
5 旱	23	4	25	5	26	5	26	5	19	4

2.2 旱涝频率年代际变化

统计 1470 年以来各个年代干旱频率(偏旱以上频次/10a)和洪涝频率(偏涝以下频次/10a),并对频率进行傅里叶滤波变换。长江流域及三峡库区旱涝呈现明显的年代际变化特征,旱涝频率在波动中呈上升趋势,20 世纪后期干旱频率急剧上升。分析旱涝频率变化趋势看出,长江全流域、上中下游及三峡水库干旱上升趋势大于洪涝,其中三峡水库干旱趋势最高、上游次之、中游最低(表 3,图 3,彩页)。

表 3 1470—2011 年长江流域及三峡库区旱涝频率变化趋势率

	长江流域	上游	中游	下游	三峡
偏旱及早涝频率趋势率 次/100a	0.025	0.036	0.004	0.028	0.038
偏涝及涝频率趋势率 次/100a	0.010	0.015	0.003	0.001*	0.013

注: * 表示没有通过 95%置信度检验。

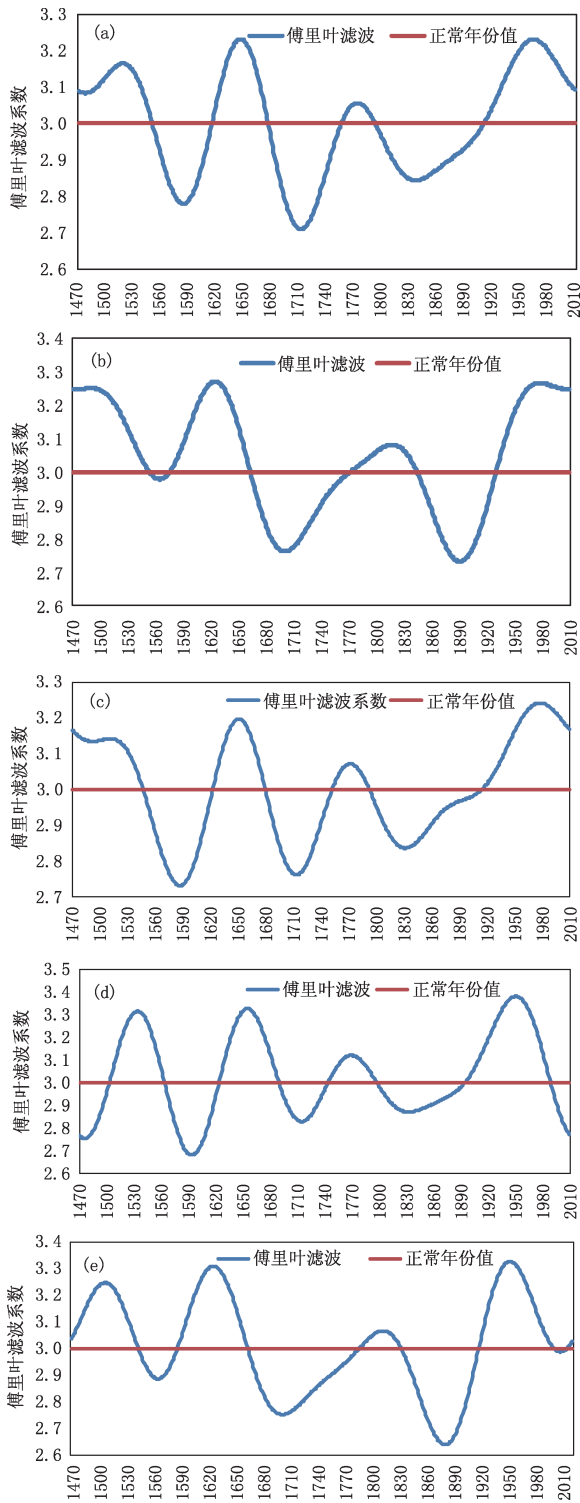


图2 1470—2011年长江流域及三峡库区旱涝等级变化:(a)长江流域,(b)上游,(c)中游,(d)下游,(e)三峡

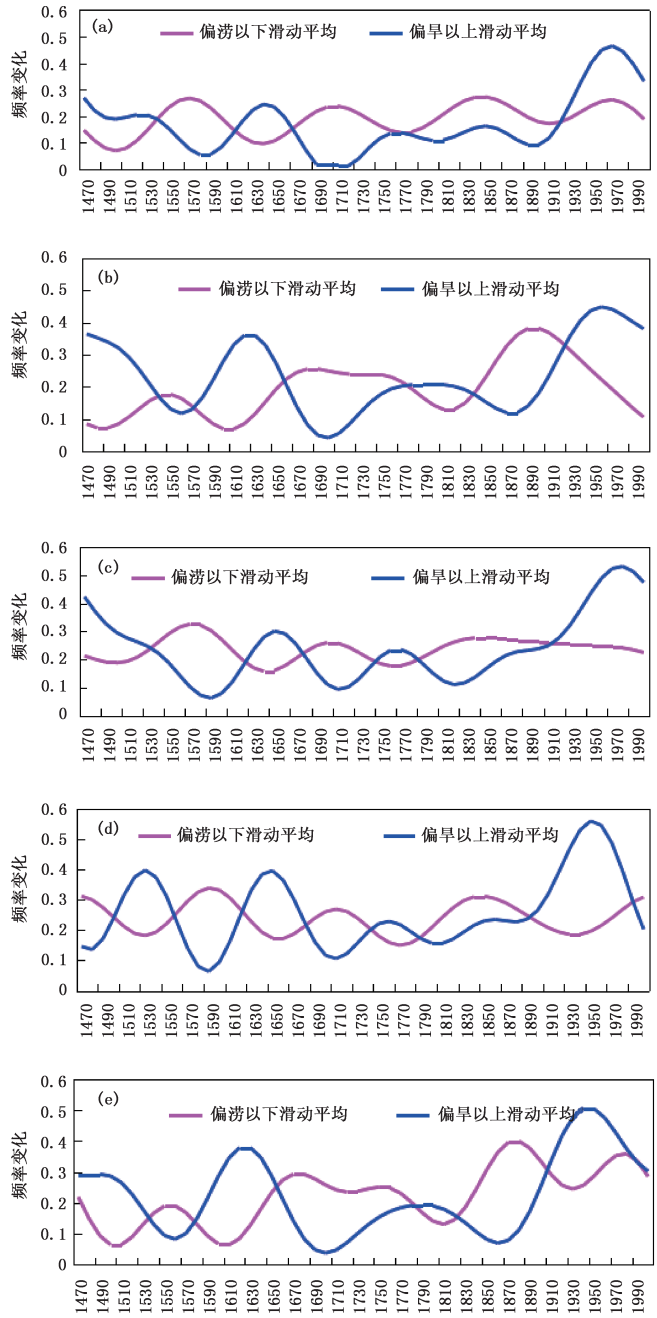


图3 1470—2011年长江流域及三峡库区旱涝频率滑动平均变化(次/10a):(a)长江流域,(b)上游,(c)中游,(d)下游,(e)三峡
(注:1470代表15世纪70年代,1510代表16世纪10年代,以此类推,下同)

15 世纪 70 年代至 21 世纪 10 年代长江流域及三峡库区主旱阶段和主涝阶段交替出现,20 世纪以来前涝后旱,旱涝频次明显上升。长江流域在 1470s—1530s、1620s—1670s、1930s—2000s 为多旱期;多涝期为 1540s—1620s、1670s—1780s、1830s—1870s、1910s—1930s。上游、中游、下游流域及三峡库区也存在阶段性旱涝特点。上游流域在 1470s—1540s、1580s—1660s、1930s—2000s 为多旱期;多涝期为 1670s—1770s、1840s—1920s。中游流域多旱期 1470s—1530s、1620s—1680s、1750s—1800s、1920s—2000s;多涝期 1540s—1620s、1680s—1730s、1800s—1920s。下游流域多旱期 1490s—1560s、1630s—1690s、1900s—1990s;多涝期 1560s—1620s、1690s—1740s、1800s—1900s。三峡库区多旱期 1470 s—1530s、1580s—1660s、1910s—

1990s;多涝期 1530s—1570s、1660s—1780s、1830s—1910s(注:1470s 表示 15 世纪 70 年代,1510s 表示 16 世纪 10 年代,以此类推,下同)。这与赵文兰^[3]得出长江中游 20 世纪前涝后旱和旱涝频次加大的趋势结论基本一致。

2.3 旱涝次数百年变化

1470—2011 年三峡库区旱涝次数世纪分布特点为库区偏旱以上、偏涝以下发生次数呈上升趋势(表 4)。18 世纪之前三峡库区偏旱以上次数多于偏涝以下次数,以偏旱以上为主;20 世纪偏旱、偏涝频次均有明显上升。三峡库区涝年次数由 16~18 世纪的 1~2 次,至 19~20 世纪 6 次;而旱年次数在 20 世纪大幅增长,由 19 世纪 3 次增至 20 世纪 10 次。这可能与全球变暖的背景下,极端降水、持续干旱等极端天气气候事件灾害加剧有关^[12]。

表 4 1470—2011 年三峡库区流域旱涝次数

年代	1 级(涝)	2 级(偏涝)	3 级(正常)	4 级(偏旱)	5 级(旱)	涝至偏涝合计	偏旱至旱合计
1470—1500*	0	4	17	9	0	4	9
1501—1600	1	12	70	15	2	13	17
1601—1700	2	17	57	22	2	19	24
1701—1800	1	23	63	11	2	24	13
1801—1900	6	20	61	10	3	26	13
1901—2000	6	26	38	20	10	32	30
2001—2011*	0	2	6	4	0	2	4

注:表中由于资料所限 1470—1500、2001—2011 不够 100 年,下同。

1470—2011 年长江全流域及上、中、下游旱涝次数世纪分布特点为偏旱以上、偏涝以下发生次数呈上升趋势,尤其进入 20 世纪全流域的旱涝显著增加(表 5、6、7、8)。全流域的涝年共出现 13 次,20 世纪出现 7 次,其中 1954、1998 年长江全流域发生了大洪水。上游涝年次数共出现 14 次,且呈显著增长趋势,15、16 世纪上游均没出现涝年,18 世纪上游出现一次涝年,1788 年长江上游及全流域出现洪水,据调查^[13]推算宜昌站最高水位 57.14 m,洪峰流量大 86000 m²/s。而上游旱年也随年代推移而增多,

17 世纪仅发生 1 次大旱,而 20 世纪上游发生 8 次大旱。与早年强烈增长不同,涝年次数的增长较为缓慢,19 世纪到 20 世纪涝年的增长幅度远小于早年,仅中游流域涝年次数由 4 次增加到 11 次,旱年次数由 4 次增加至 9 次;下游流域涝年次数增幅程度不及中游流域,由 4 次增加至 7 次,早年由 3 次增至 6 次。整体上看,长江流域及其上、中、下流域旱年出现的概率大于涝年出现的概率;中游出现涝年的概率大于全流域及下游流域,全流域出现涝年的几率较低。

表 5 1470—2011 年长江全流域旱涝次数

年代	1 级(涝)	2 级(偏涝)	3 级(正常)	4 级(偏旱)	5 级(旱)	涝至偏涝合计	偏旱至旱合计
1470—1500*	0	3	21	6	0	3	6
1501—1600	0	19	64	12	4	19	16
1601—1700	2	14	72	11	3	15	14
1701—1800	1	18	74	4	3	19	7
1801—1900	3	18	66	11	2	21	13
1901—2000	7	19	42	25	6	26	33
2001—2011*	0	1	9	2	0	1	2

表6 1470—2011年长江上游流域旱涝次数

年代	1级(涝)	2级(偏涝)	3级(正常)	4级(偏旱)	5级(旱)	涝至偏涝合计	偏旱至旱合计
1470—1500*	0	4	16	10	0	4	10
1501—1600	0	13	67	10	5	13	15
1601—1700	2	15	60	15	8	17	23
1701—1800	1	22	63	12	2	23	14
1801—1900	3	19	61	15	2	22	17
1901—2000	8	19	35	30	8	27	38
2001—2011*	0	1	8	4	0	1	1

表7 1470—2011年长江中游流域旱涝次数

年代	1级(涝)	2级(偏涝)	3级(正常)	4级(偏旱)	5级(旱)	涝至偏涝合计	偏旱至旱合计
1470—1500*	0	4	15	11	0	4	11
1501—1600	2	24	54	14	6	26	20
1601—1700	3	18	59	16	4	21	20
1701—1800	5	18	62	13	2	23	15
1801—1900	4	19	58	15	4	23	19
1901—2000	11	18	38	24	9	29	33
2001—2011*	0	3	3	5	1	3	1

表8 1470—2011年长江下游流域旱涝次数

年代	1级(涝)	2级(偏涝)	3级(正常)	4级(偏旱)	5级(旱)	涝至偏涝合计	偏旱至旱合计
1470—1500*	0	8	18	4	0	8	4
1501—1600	4	23	47	18	8	27	26
1601—1700	1	20	54	20	5	21	25
1701—1800	1	20	60	15	4	21	19
1801—1900	4	22	53	18	3	26	21
1901—2000	7	18	43	26	6	25	32
2001—2011*	0	3	7	2	0	3	2

2.4 周期变化

1470—2011年三峡库区偏旱以上、偏涝以上等级具有明显周期性。库区偏旱以上等级具有准160年周期震荡;19世纪之前,偏旱以上等级呈现准60年周期震荡。库区偏涝以上等级存在准百年的周期震荡;18世纪以来偏涝以上等级存在准40年周期震荡(图4,彩页)。

1470—2011年长江全流域、上游、中游及其下游偏旱以上均具有准160年周期震荡。19世纪之

前,上中游偏旱以上准60年周期震荡信号比较强烈;19世纪以后中游准30年周期信号有所加强(图5,彩页)。

全流域偏涝以上的周期信号存在准140年的周期震荡,但周期信号在20世纪后有所减弱。17~19世纪以来偏涝以上存在准百年周期震荡。上、中、下流域存在准百年周期震荡,准30年周期震荡信号较为强烈,特别20世纪旱涝频率加快。

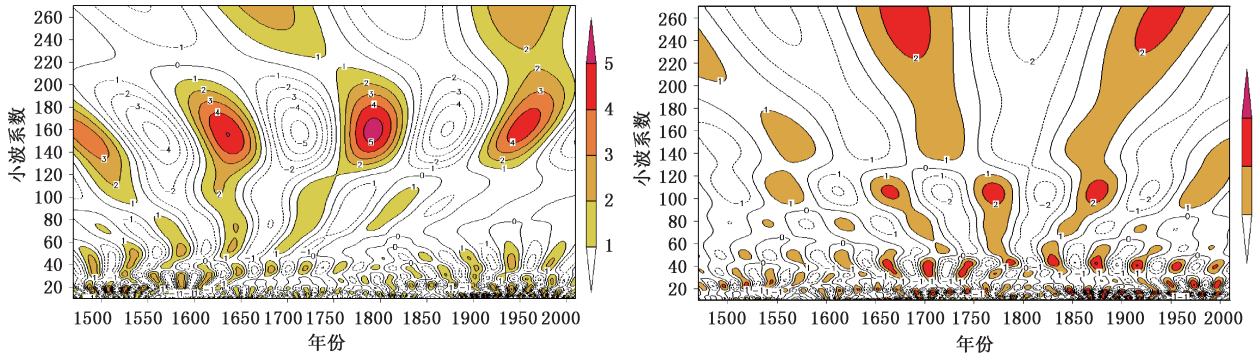


图 4 三峡库区流域偏旱以上(左)和偏涝以上(右)小波系数

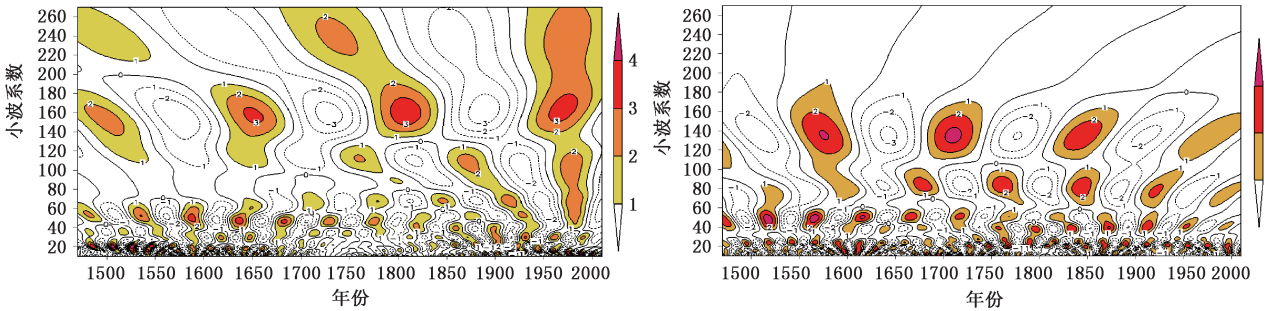


图 5 长江流域偏旱以上(左)和偏涝以上(右)小波系数

2.5 长江全流域与上、中、下游流域旱涝变化关系

长江全流域的旱涝与上游、中游流域和下游流域具有良好的正相关关系,相关系数通过 95%置信度检验。长江全流域旱涝变化与上游、中游、下游流域具有良好的一致性特征,23 年长江全流域与上游、中游、下游呈同偏涝关系,这直接导致长江全流域出现洪水,如 20 世纪以来典型的 1954 年、1998 年大洪水^[14]。同时出现 43 年全流域及其上游、中游、下游呈同偏旱的局面,如新中国以来 1978 年、1959 年的长江全流域大旱。另一方面长江全流域旱涝与中游流域旱涝相关系数最大,表明这两个流域协同变化程度较其他流域高。据文献^[15]研究表明,20 世纪 90 年代年降水距平长江中下游呈正距平,而上游则与中下游相反,呈负距平;姜彤^[16]分析长江流域夏季降水空间分布,发现中下游大部距平为正,而上游大部为负;苏布达^[17]研究发现长江流域强降水事件的强度和概率最大的地区大多位于中下游地区,而干旱事件强度和概率最大的地区位于上游金沙江流域中下游和嘉陵江流域。这些研究从另一方面印证了长江上游与中下游旱涝协同变化相关性不大(表 9)。

表 9 长江全流域与上、中、下游流域旱涝相关关系

	全流域	上游流域	中游流域	下游流域
全流域	1	0.745	0.854	0.756
上游流域	0.745	1	0.002	0.003
中游流域	0.854	0.002	1	0.539
下游流域	0.756	0.003	0.539	1

2.6 近百年三峡库区和长江流域旱涝演变特征

20 世纪以来,三峡库区流域旱涝均呈增加趋势,偏涝以上、偏旱以上次数增加至 34 次,旱涝次数显著增加,且旱年出现次数大于涝年,反映三峡库区气候趋旱趋势。与此同时,长江流域偏旱以上、偏涝以上发生次数分别增至 26 次和 35 次,尤其偏旱以上年份比 19 世纪之前增加 10 次。三峡库区旱涝变化与长江流域及其上游相关关系显著,两者相关系数分别达到 0.73、0.83;1900 年以来,三峡库区与长江上游出现 8 次同旱年、5 次同涝年。由此可见,三峡库区旱涝演变并不是孤立事件,而是与长江上游乃至整个长江流域旱涝背景密布可分^[18];在气候变暖、大气环流调整变化的大背景下,三峡库区和整个长江流域旱涝频次明显加重。

2.7 三峡水库建库蓄水前后库区旱涝演变特征

2.7.1 三峡库区降水特征

2003年6月三峡首次蓄水至135 m,分析对比蓄水前后长江流域及库区旱涝变化。对三峡库区55个台站1981—2014年年降水资料进行EOF时空分解,第1特征向量解释50%方差,是三峡库区降水主要形态。从三峡库区EOF第1特征向量空间分布图,可以看到库区55站点特征向量同为正值,说明近35年来三峡库区降水特征一致。与第1特征向量对应的时间系数序列表明三峡库区90年代后期降水较多,21世纪以来库区降水减少趋早(图6)。

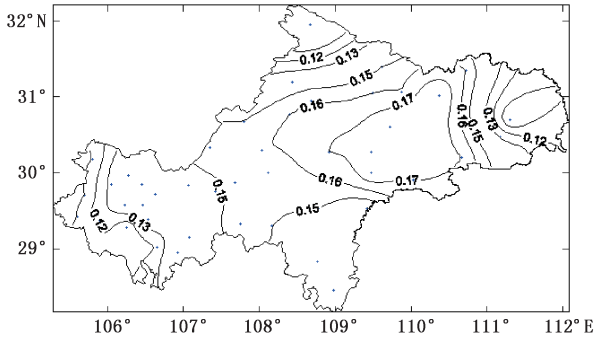


图6 三峡库区 EOF 分解第1特征向量

近55年来三峡库区年平均降水量1167.51 mm,年降水量呈显著下降趋势,每10年减少12.9 mm,特别是2009年至2013年连续5年降水偏少。三峡库区降水量呈现明显年代际变化,60、70、80年代库区降水偏多达到1200 mm,90年代以后降水偏少,2010年以后库区降水量仅1106.31 mm。1990—2003年库区年平均降水量1164.61 mm,2004—2014年库区年平均降水量1135.36 mm,利用M-K突变检验库区年降水量,20世纪90年代以后库区降水量没有发生显著突变,蓄水前后库区降水量并无明显区别(图7、8)。

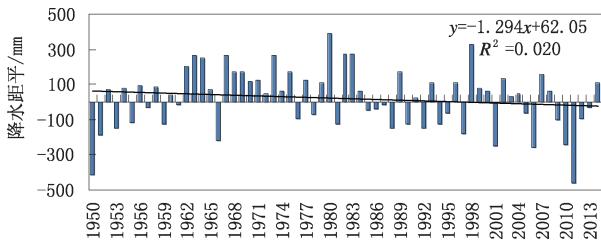


图7 1961—2014年三峡库区年降水量变化

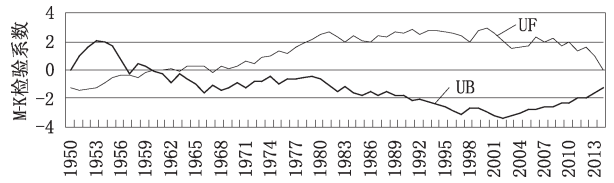


图8 三峡库区年降水量 M-K 检验

2.7.2 三峡库区与上游流域降水对比

选取长江上游金沙江至重庆段74个站点1961—2014年年降水量,建立长江流域上游降水量序列,上游平均降水量906.37 mm,且呈下降趋势,每10年下降6.77 mm,特别是2009—2012年连续4年降水量偏少;就年代际变化而言,上游流域年降水量呈现明显年代际变化,20世纪70、80年代上游降水偏多,20世纪90年代后上游降水量逐渐偏少,特别是2000年以后降水量下降至885.14 mm。1990—2003年上游年平均降水量905.46 mm,2004—2014年上游年平均降水量881.76 mm,相差23.7 mm;利用M-K突变检验长江上游流域年降水量,20世纪90年代以后上游降水量没有发生显著突变,蓄水前后上游降水量并无明显区别(图9、10)。

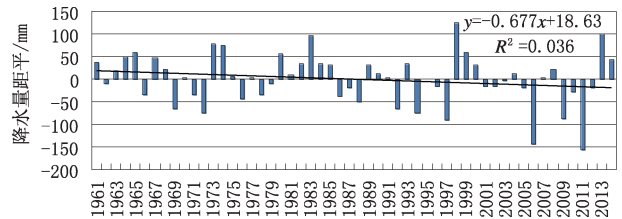


图9 1961—2014年长江上游年降水量变化

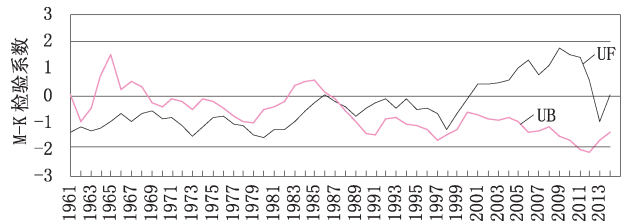


图10 长江上游年降水量 M-K 检验

与三峡库区降水相比,54年来上游流域平均降水量减少161.07 mm,由三峡库区与长江流域上游年降水量差值序列可以看出,1961—2014年三峡库区逐年降水量均大于长江上游流域年降水量,且呈显著下降趋势,每10年下降37.9 mm,这主要是由于三峡库区降水减少趋势大于上游降水减少趋势。对比库区和上游年降水量,1982—1983、1998—1999年两个

流域降水量均偏多,正是长江流域洪水年(图 11)。

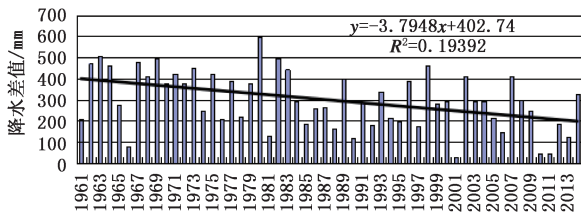


图 11 三峡库区与长江流域上游年降水量差值

3 结论与讨论

基于长江流域及其三峡库区重建旱涝等级序列,分析其旱涝演变特征及长江流域与三峡库区旱涝间的关系。

(1)长江各流域及其三峡库区均呈现较为明显的旱涝交替阶段,20 世纪后期旱涝交替频率均有所加剧。20 世纪偏旱频率强烈增加,19 世纪和 20 世纪偏涝频率明显增加。长江全流域及上、中、下流域和三峡库区流域正常年份所占比重较大,旱(5 级)涝(1 级)出现次约占总年份约 3%~5%。542 年间全流域的涝出现了 13 次,而全流域的旱出现了 23 次,与全流域相似,上游、下游旱次数多于涝 10 次左右,早年远高于涝年。分析发现,长江全流域的旱涝与上游、中游流域和下游流域具有良好的正相关关系,全流域一直的偏旱或偏涝直接导致长江全流域大旱或者大涝。近百年长江上游流域旱涝变化与三峡库区旱涝变化趋势基本一致,上游偏旱以上年份达 39 次比偏涝以上多 10 次左右,库区偏涝以上、偏旱以上次数增加至 34 次,旱涝次数均比 19 世纪之前显著增加。

(2)542 年来长江流域和三峡库区偏旱以上等级具有准 160 年周期震荡,19 世纪前准 60 年周期较为明显;19 世纪以后中准 30 年周期信号有所加强。全流域偏涝以上的周期信号存在准 140 年的周期震荡,但周期信号在 20 世纪后有所减弱,而三峡库区偏涝以上等级存在准百年的周期震荡。

(3)20 世纪以来,三峡库区流域旱涝均呈增加趋势,旱涝次数显著增加,且早年出现次数大于涝年,反映三峡库区气候趋旱趋势^[19];三峡大坝建前后库区降水 EOF 时空分布特征一致,且呈现显著下降趋势,表明了库区降水一致减少;与三峡库区相似,近 54 年长江流域上游降水呈下降趋势;对比两

者年平均降水量发现,库区平均降水量大于流域上游,但降水差值呈下降趋势,水库蓄水前后流域上游和库区降水没有发生显著变化。

本文重建的长江流域旱涝序列所选取站点,均在长江干流区,缺少考虑长江重要支流的旱涝情况,故本文中长江流域大涝年数小于文献^[15]中的年数,但与文献^[6,8,20]得出的 20 世纪以来长江流域旱涝频次增加且干旱增加趋势更显著的结论相一致。今后分析长江流域旱涝,不仅考虑长江干流区,还应该考虑各个支流旱涝及水资源^[21-24]情况综合分析。

参考文献

- [1] 水利部长江水利委员会. 长江流域水旱灾害[M]. 北京:中国水利水电出版社,2002:3-4.
- [2] 将兴文,李跃清. 长江流域地区水汽输送及其对旱涝影响研究综述[J]. 气象科学,2009,29(1):138-142.
- [3] 赵文兰,叶愈源. 近 500 年长江中游气候变化的初步研究[J]. 水文,1996(5):19-23.
- [4] 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[M]. 北京:气象出版,1993:55-56,67-75.
- [5] 何丽,吴宜进,但长军,等. 近百年全球气温变化对长江流域旱涝灾害的影响[J]. 中国农业气象,2007,28(4):364-366.
- [6] 黄朝迎. 长江流域旱涝灾害的某些统计特征[J]. 灾害学,1992,7(3):67-72.
- [7] 黄荣辉. 中国气候灾害的分布和变化[M]. 北京:气象出版社,1996:251-259,261-269.
- [8] 叶愈源,赵文兰. 近 500 年长江中游气候变化的若干特征[J]. 成都气象学院学报,1994,9(2):54-56.
- [9] 中国气象科学院. 中国近 500 年旱涝分布图集[M]. 北京:地图出版社,1981.
- [10] 叶愈源,赵文兰. 近百年来长江中游旱涝的变化[J]. 热带气象学报,1995,11(2):181-186.
- [11] 周月华,高贤来. 1470—2000 年湖北省旱涝变化分析[J]. 气象,2003,29(12):18-21.
- [12] 张可慧. 全球气候变暖对京津冀地区极端天气气候事件的影响及防灾减灾对策[J]. 干旱区资源与环境,2011,25(10):122-125.
- [13] 水利部长江水利委员会. 长江流域水旱灾害[M]. 北京:中国水利水电出版社,2002:83-89.
- [14] 温克刚. 中国气象灾害大典(湖北卷)[M]. 北京:气象出版社,2007:180-185.
- [15] 施雅风,姜彤,苏布达,等. 1840 年以来长江大洪水演变与气候变化关系初探[J]. 湖泊科学,2004,16(4):289-297.
- [16] 姜彤,苏布达,王艳君,等. 40 年来长江流域气温、降水与径流变化趋势[J]. 气候变化研究进展,2005,1(2):65-68.
- [17] 苏布达, Gemmer M, 姜彤,等. 1960—2005 年长江流域降水极值概率分布特征[J]. 气候变化研究进展,2007,3(4):208-212.
- [18] 马占山,张强,秦琰琰. 三峡水库对区域气候影响的数值模拟

- 分析[J]. 长江流域资源与环境, 2010(9): 1044-1052.
- [19] 严华生, 万云霞, 严小冬, 等. 近 500 年中国旱涝时空分布特征的研究[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2004, 26(2): 139-143.
- [20] 周月华, 王海军, 高贤来. 近 531 年长江上中游与汉江流域水资源变化的初步研究[J]. 高原气象, 2006, 25(4): 744-749.
- [21] 李凤霞, 郭建平. 水资源脆弱性的研究进展[J]. 气象科技, 2006, 34(6): 731-733.
- [22] 林志强, 乔钰, 唐叔乙. 西藏高原汛期旱涝年水汽输送差异特征[J]. 气象科技, 2014, 34(6): 731-734.
- [23] 尤焕苓, 任国玉, 吴方, 等. 北京“7. 21”特大暴雨过程时空特征解析[J]. 气象科技, 2014, 42(5): 856-864.
- [24] 刘金平, 向亮, 韩军彩, 等. 京津冀 1961—2012 年暴雨日数时空演变特征[J]. 气象科技, 2015, 43(3): 497-502.

Evolution Characteristics of Droughts and Floods in Yangtze River and Three Gorges Reservoir Area in Recent 542 Years

Ma Deli¹ Liu Min¹ Ju Yingqin²

(1 Wuhan Regional Climate Center, Wuhan 430074; 2 Hubei Branch of China Meteorological Administration Training Center, Wuhan 430074)

Abstract: Based on the data from 12 representative stations on the Yangtze River Basin and Three Gorges Reservoir Area, according to the 500-year sequence of drought/flood grades and the precipitation data from May to September since the establishment of the stations, on the basis of drought/flood grade standards, the sequence of drought/flood grades is obtained for the Yangtze River Basin, the upper reaches, the middle reaches, the lower reaches of the Basin, and the Three Gorges Reservoir Area from 1470 to 2011. The results show that the reaches of Yangtze River and the Three Gorges reservoir area displayed the more significant alternating of droughts and floods, but the drought frequency accelerated in the 20th century and flood frequency increased from the 19th century. The frequencies of drought over years in the Yangtze River Basin and Three Gorges reservoir area had 160-year periodic oscillation. The frequencies of flood and over in the Yangtze River Basin showed 140 years periodic oscillation, but after the 20th century the trend weakened, and that in three Gorges reservoir area had 100-years periodic oscillation. The spatial and temporal distribution characteristics of precipitation were consistent with the decreasing trend, by using EOF. At the same time, the precipitation of the upper reaches of the Yangtze River had a downward trend, reflecting the drought trend of the upper reaches of the Yangtze River basin and three Gorges reservoir area. By using M-K mutation test, there was no significant change in precipitation before and after the reservoir water storage in the upper reaches of the Yangtze River Basin and the Three Gorges reservoir area. In the context of global climate change, the drought evolution of the Three Gorges reservoir area is not an isolated event. It is inseparable with the background of the upper reaches of the Yangtze River and the whole basin.

Keywords: drought/flood grade sequence; evolution characteristic; Yangtze River basin