

长江流域旱涝灾害特征研究^{*}

于文金, 周鸿渐, 占达颖, 邵明阳, 李北群, 江志红

(南京信息工程大学 海洋科学学院, 江苏 南京 210044)

摘要: 利用长江流域地区(1956–2007年)148个站点全年的逐日降水资料, 采用 Z 指数作为旱涝指标, 对长江流域地区旱涝的转化规律及其时空变化特征进行了探讨, 结果表明: 长江流域降水量具有明显的年际变化, 夏季和年降水量的变化趋势一致; 春季的降水周期较夏季具有明显的周期性, 从研究的时段内看, 春季降水周期为17~21年为主, 夏季以10~15年为主周期; 旱涝灾害发生的频率与降水量、暴雨出现的频数呈现正相关, 旱涝空间分布上存在一定的结构性, 干旱大都发生在长江上游地区(四川和云南的一部分地区)以及湖北部分地区, 洪涝主要发生于长江中下游地区, 特别是在湖南、安徽、湖北等地。

关键词: 长江流域; 旱涝灾害; 降水; 旱涝转化; 时空特性

中图分类号: X43; P18 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2013)03-0042-06

在全球气候变暖的背景下, 极端气候事件的发生频率增加, 极端天气灾害的研究已经成为国际研究的热点问题^[1-6]。由于我国降水时空分布不均, 旱、涝成为我国最重要的气象灾害, “旱涝并存、旱涝急转”现象在长江中下游地区表现明显, 对长江流域的旱涝进行研究具有非常重要的意义, 对此我国科学工作者也做了大量的研究并取得了一定的成果^[5-15], 现有的研究主要在旱涝的特征、类型、频率的研究, 而对长江流域旱涝急转的内在机理和震荡规律研究较少, 气候变暖与区域极端天气灾害之间的内在关系尚不清晰。本文以我国长江流域为研究区域, 重点分析春季和夏季的降水特征, 在前人研究基础上分析我国长江流域春夏旱涝时空分布特征, 探讨区域极端气候变化对气候变化的响应规律。

1 资料和方法

1.1 资料

选用国家气候中心整理的1956–2007年我国754站中的长江流域148个测站全年逐日降水量为基本资料。对资料进行距平化和标准化处理, 在确定旱涝等级时, 利用单站 Z 指数判别法划分旱涝等级。

1.2 方法

1.2.1 旱涝指标类别

(1) 降水距平百分率, 反映的是某时段降水量

相对于同期平均状态的偏离程度, 不同地区不同时期有不同的平均降水量, 因此它是一个具有时空对比性的相对指标。降水距平百分率计算公式为:

$$M_i = (R_i - R) \times 100\% \quad (1)$$

式中: M_i 为降水距平百分率; R_i 为某时段降水量; R 为同期降水量的多年平均值。

(2) Z 指数

$$Z_i = \frac{6}{C_s} \left[\frac{C_s}{2} \psi_i + 1 \right]^{1/3} - \frac{6}{C_s} + \frac{C_s}{6} \quad (2)$$

式中: $C_s = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3}{n\sigma^3}$ 为偏态系数; $\psi_i = \frac{X_i - \bar{X}}{\sigma}$

为标准化距平序列或称旱涝指数; $\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2$ 为方差; $\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$ 为平均值; i 为站点; X_i 为

站点某一时段的降水量; n 为资料年数, 均可由降水资料序列计算求得。

1.2.2 旱涝等级划分方法

由于修正后的降水量 Z 指数旱涝等级划分标准更符合实际情况, 区域旱涝灾害的研究, 常以单站 Z 指数值作为旱涝指标。因此, 我们先把各站降水量换算成标准化距平值, 然后进行 Z 变换, 逐站逐年求出单站 Z 指数值, 得到长江流域148个站春季(3–5月)和夏季(6–8月)的 Z 指数, 从而确定相应的旱涝等级。根据 Z 变量的正态分布曲线, 划分为7个等级并确定其相应的 Z 界限值, 作为各级旱涝指标(表1)。根据旱涝指标 Z 指数方法, 绘出 Z 指数旱涝

^{*} 收稿日期: 2012-12-17

修回日期: 2013-01-05

基金项目: 国家重大科学研究计划项目(2012CB955900); 江苏高校优势学科建设工程资助项目(PAPD)

作者简介: 于文金(1967–), 男, 山东淄博人, 博士, 教授, 研究方向为区域经济开发与可持续发展. E-mail: yuwj@nuist.edu.cn

等级直方演变旱涝等级变化图。

表 1 Z 指数旱涝等级

等级	Z 值	类型
1	$Z > 1.645$	极涝
2	$1.037 < Z \leq 1.645$	大涝
3	$0.842 < Z \leq 1.037$	偏涝
4	$-0.842 < Z \leq 0.842$	接近正常
5	$-1.037 \leq Z \leq -0.842$	偏旱
6	$-1.645 \leq Z < -1.037$	大旱
7	$Z \leq -1.645$	极旱

2 长江流域地区旱涝特征分析

2.1 长江流域降水量的年代变化

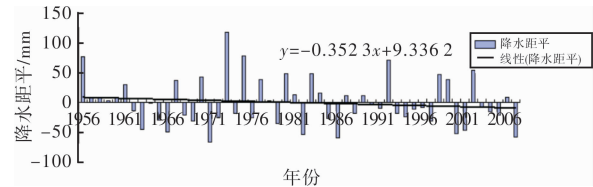
长江流域降水年内分配很不均,一般年份,4月即进入雨季,6月中旬至7月上旬长江中下游为梅雨季节,雨带徘徊于干流两岸,成东西向分布;7月中旬到8月,雨带移至四川和汉江流域,成东北西南向分布,长江中下游和川东出现伏旱;9月,雨带又南旋回至长江中下游,多雨区从川西移到川东北至汉江上游,俗称华西秋雨;10月,全流域雨季先后结束。年内的降水量分配不均,年代的降水量也会随着变化。根据原始降水量绘出1956–2007年年总降水量、春夏季降水距平及其趋势图,明显看出其变化的总体趋势。

长江流域地区春夏季降水具有正负距平振荡,

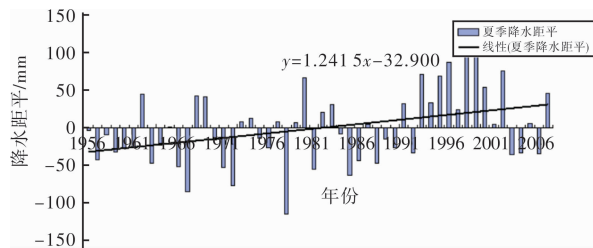
①在春季,在1970年代中期之前,以正值为主,降水普遍偏多,其中1973年达到极大值,其次是1956年和1975年,1962年到1966年间都是负距平;1972–1986年间正负距平交替出现,相当于过渡时期。1980年代中期以后,以负值为主,该时段内降水偏少,从1993年到1997年连续5年出现负距平,且在2000年和2001年连续两年降水距平达到负50 mm以上。总体来说,春季降水量呈递减的趋势,但这种趋势不明显,年际变化较明显。②在夏季,在1980年代之前,以负值为主,降水普遍偏少,其中1978年达到负距平极大值,其次是1967年和1972年,且1956–1961连续6年负距平;1980年代以后,以正值为主,说明该时段降水偏多,1993–2000年连续8年出现正距平,且在1998年和1999年降水正距平达到100 mm以上。总体来说,夏季降水量呈增加的趋势,且这种趋势很明显,年代际变化也较明显。

年降水量也有着明显的年代际尺度振荡,1966年,1971年和1978年为降水最明显的3个低谷,降水的高峰出现在1983年。从1961年到1971年,

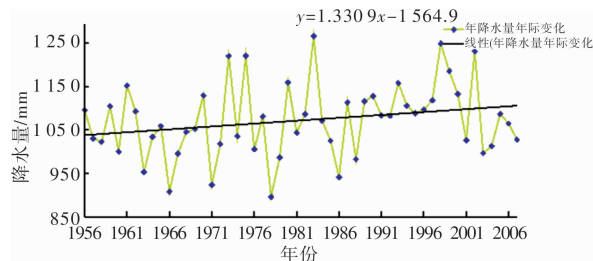
虽然降水量时高时低,相对1961年年降水量(1150 mm)来说,年降水量还是处于减少的阶段;1978、1983年的年降水量之差达到了370 mm。1980年代以前,年降水量的差距很大,1980年代后期以后相对较小些,如1989~1997年间。但降水未出现显著的突变,年际变化与夏季降水量的变化趋势基本一致(图1)。



(a) 春季降水距平



(b) 夏季降水距平



(c) 年降水量

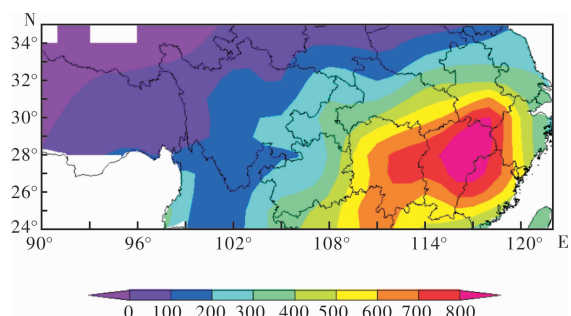
图1 降水年际分布图及趋势线

综上所述,长江流域的春季降水量呈减少趋势,夏季降水量呈增加趋势,年降水量也呈增加趋势;且两者的增加趋势一致,没有明显的突变现象。在1980年代以前,春季降水量偏多,而夏季偏少;1980年代后则相反。出现旱涝灾害的可能性与降水量的多少有关,预计春季发生干旱灾害趋势性大,夏季发生洪涝的趋势性大。

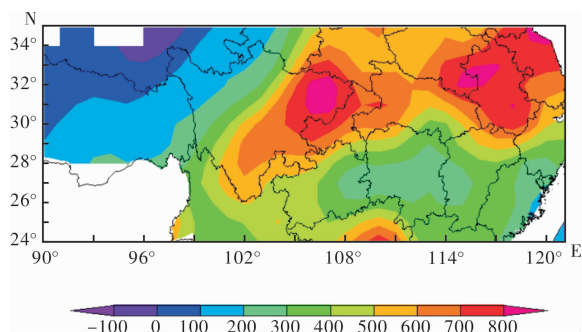
2.2 长江流域春夏季降水量的空间分布

长江流域春季降水量自东向西递减,呈阶梯状,有一极大值中心,中心位置大致位于浙江与江西的交界处,主要还是位于江西的东部地区,且其降水量达到800 mm。自中心向周围递减,其次是在安徽,湖南,福建等省份。从等值线来看,在中下游流域降水等值线比较密集,变率最大,等值线自东向西逐渐稀疏,这样也说明春季的降水量主要分布在长江中下游地区,在长江上游地

区,降水量普遍少,就只有 100 mm 左右,甚至在青海的南部和西藏的中部的部分地区存在零降水量的情况,降水量呈东南多,西北少的趋势。夏季降水量也存在着明显的区域性差异,大致说就是东部大于西部,存在两个高值中心,形状呈哑铃状,以湖北省的襄樊、荆门、荆州一带为中心线,高值中心位于此线的两边,大致分别位于江苏和安徽,四川的东部地区,自中心向周围递减,在广西中部地也是高值区,从等值线密集度来看,在安徽到江西一带,四川的西部部分地区,变率比较大,表现为等值线较密集。在湖南、湖北一带,降水量也可达到 500 mm 左右(图 2)。



(a) 春季



(b) 夏季

图 2 长江流域春夏季降水分布

综上所述,我国长江流域春季降水的高值区主要集中在东南沿海、江西、湖南,这与我国春季降水的分布特征相吻合。夏季降水的高值区主要集中在安徽与江苏交界地区、四川东部、广西中部地区。长江中下游地区春夏季降水量比上游地区明显多,且该地区大面积降水,加重该地区洪涝发生的机率,从而影响旱涝的频率分布。

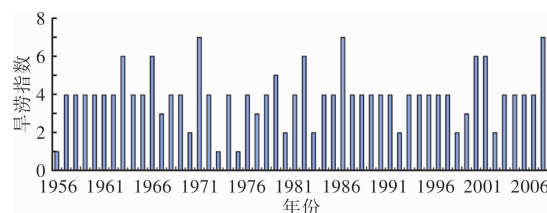
2.3 旱涝的特性分析

2.3.1 旱涝的年代变化

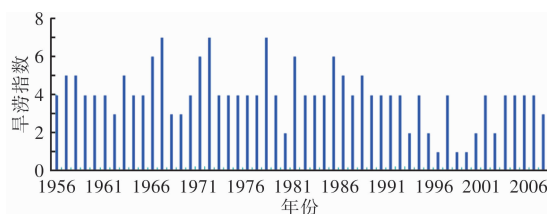
根据计算得出 1956 - 2007 年长江中下游流域具有代表性的站点春季和夏季 Z 的值,根据 Z 指数的旱涝等级表(表 1),求出每年的旱涝等级,绘制 Z 指数旱涝等级直方演变旱涝等级变化图。

长江流域大部分年份都有不同程度的灾害发生,旱涝灾害呈现出阶段性特点。在春季,52 年

中正常年 31 年,而非正常年达到 21 年,占总数的 40.4%。大的洪涝灾害出现在 1956 年、1973 年、1975 年。较大的旱灾出现在 1971 年、1986 年、2007 年。在夏季,52 年中正常年 28 年,而非正常年达到 24 年,相对春季减少。1980 年代以前,春季发生雨涝的机率相对较高,夏季发生干旱的机率较高;1980 年代后,夏季发生雨涝的机率较高。但总的来说,正常年份还是占重要地位(图 3)。



(a) 春季



(b) 夏季

图 3 Z 指数旱涝等级直方演变旱涝等级变化图

研究发现,时段内旱涝灾害和降水量基本呈现正相关关系,几乎年年都有旱或涝。1980 年代前,春季降水量较多,属于相对的多雨期;夏季降水量较少,属于相对的干旱期,1980 年代后则相反。春季,1979 - 1983 年期间旱涝情况较为缓和,旱涝交替明显,1998 - 1999 年连续雨涝,2000 - 2001 年连旱,1971 年、1986 年、2007 年为降水量最少的年份,是重旱年;降水量的趋势是逐渐减少的,预计以后春季发生干旱的机率会上升。夏季,在 1957 - 1958, 1966 - 1967, 1971 - 1972, 1986 - 1987 四个阶段连旱,1957 - 1958 相对较弱些;1994 - 2002 年雨涝情况较为严重,且还连续两年发生重涝,1996, 1998, 1999 年为重涝年。1980 年代前期旱涝交替明显;1990 年代是近年来降水最多的 10 年,并且多雨期持续出现,1990 年代涝灾增加趋势明显(图 3)。

2.3.2 旱涝的空间分布

长江流域存在一定的地区性差异:在春季,干旱分布趋势是北部高于南部、西部高于东部。总的来说,干旱频率分布呈马鞍状,有两个高值中心,以大致分别位于湖北、湖南和四川的西南部,发生的频率达到了 44%。洪涝分布趋势是南部重于北部、东部重于西部,形状同干旱的分布相似,有两个低中心,位置大致与干旱的高值中心一致。干旱频率等值线在云南和四川交界处变

率最大,表现为等值线的间隔密集,在湖南、江西一带等值线次之。洪涝频率等值线密集分布和干旱的类似,但从发生的频率来看,春季发生干旱的机率比洪涝的要大些。夏季干旱的分布比较复杂,存在多个中心,其中在云南的西部和湖北的武汉、鄂州、黄冈一带发生干旱的机率最大,达到了44%,在江苏发生干旱的机率最小,其次是湖南等地区,中下游地区的分布较上游复杂;洪涝的分布也具有复杂性,其中在江苏、安徽、湖南三个省份发生的频率最大,在湖北的东部地区发生洪涝的频率相对小,在长江中游发生的机率也可达到10.5%左右。从等值线方面来看,干旱和洪涝频率等值线在江苏、安徽、湖南一带密集。变率大,向西逐渐稀疏(图4)。

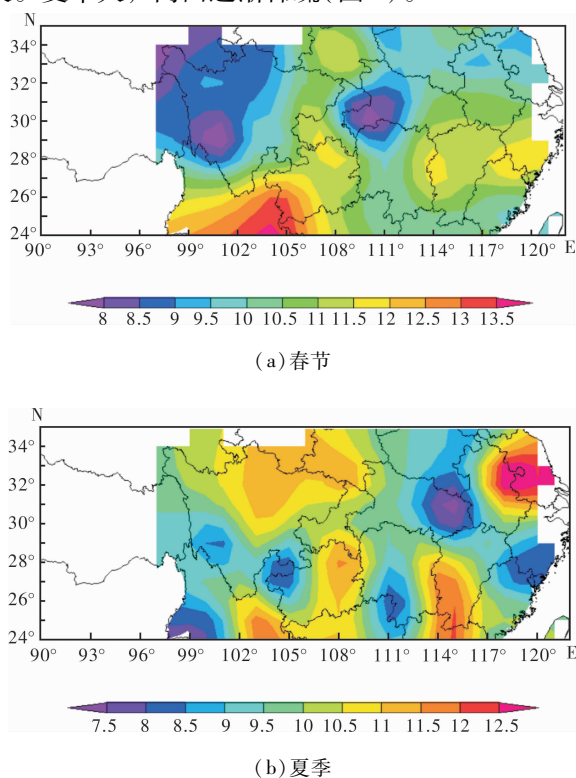


图4 长江流域旱涝频率分布图

综上所述,我国长江流域春、夏季发生旱涝的地区多。每个季节发生旱涝的地区又各不相同。春季发生干旱的频率大值区主要集中在华中地区和四川的西南部,其中华中地区以湖南、湖北为干旱高发区;春季以华南沿海、云南为洪涝高发区。夏季,四川、重庆、云南、两广与湖南的交界处,湖北为干旱的高发区;贵州、安徽、江苏、广东湖南江西的交界处出现洪涝灾害的频率较高,达到了11%以上。

2.4 长江流域春夏季降水量异常的小波分析

对长江流域1956–2007年52年的春季和夏季降水时间序列,运用Morlet小波分析不同时间尺度的变化特征。研究结果表明,长江流域春季降水

量存在5~10年、10~15年、15~20年的振荡周期,其中15~20年的年代际周期振荡表现较稳定,近52年来始终存在;5~10年的振荡周期明显主要发生在1960–1990年代,在1970–1980年代还存在10~15年的振荡周期,但不明显。从周期的小波方差曲线来看,也存在明显的两个峰值,分别位于5~9年和15~21年,这也和由图5a得出的结论相符合,说明春季降水周期主要以5~10年和15~20年为主。同时夏季降水量存在5~10年、10~15年、15~20年的振荡周期,其中10~15年振荡周期稳定些,发生在1970年代后。其中5~10年的振荡周期明显主要发生在1960年代–1970年代,在1980年代–1990年代也存在,但不明显。15~20年的振荡周期发生在1970年代后期到1990年代。从周期的小波方差曲线来看,存在明显的两个峰值,分别位于5~9年和10~15年,但后者明显些,说明夏季降水周期主要以10~15年为主。总的来说,春季降水较夏季具有明显的周期性(图5)。

2.5 长江流域暴雨成因及频度

暴雨是我国夏季风盛行期的一种常见的天气现象,它带来充沛的降水,可以缓解干旱灾害和满足人类对水资源的需求;但同时又是山洪、滑坡、泥石流、洪水涝渍等灾害的主要原因,尤其是大范围持续性暴雨是产生长江流域特大洪水灾害的重要因素。长江流域暴雨具有季节性变化。4月份以后江南最早进入雨季并形成多雨区。5月暴雨区主要在湘赣水系。6月中旬长江中下游的梅雨季节开始,7月上旬后期多雨区北移到四川盆地及黄淮地区,长江上游暴雨明显增加。8月中旬川北、陕西一带,汉江上游形成暴雨区。

由于长江流域地势由西北向东南倾斜,夏季,东南季风可以长驱直下,暖湿气流在山地丘陵的迎风坡受阻碍,产生抬升作用,使一些地区的暴雨日数增多或暴雨量增加,甚至出现暴雨极值,这些地区的海拔高程普遍较高。

暴雨的产生不仅需要大气本身水汽含量高,同时还要求有源源不断的水气供应。水汽输送的季节变化:进入春季,中低空盛行偏南风,从海洋来的水汽随气流源源不断地输向陆地,随着水汽输送的加强,大气水汽含量不断增加,降水量逐渐增加;到夏季,水汽辐合达到最强盛,输入量为最盛,大气水汽含量、降水量约为全年最大;立秋后,中低空盛行偏北风。来自蒙古、西伯利亚的冷空气入侵长江流域,大气的水汽含量相对减少,降水相对减少;冬季输入量达最少,降水量也最小。长江流域的水汽来源不同,低空急流是水汽输送的主要机制。在郴县、长沙、安庆、

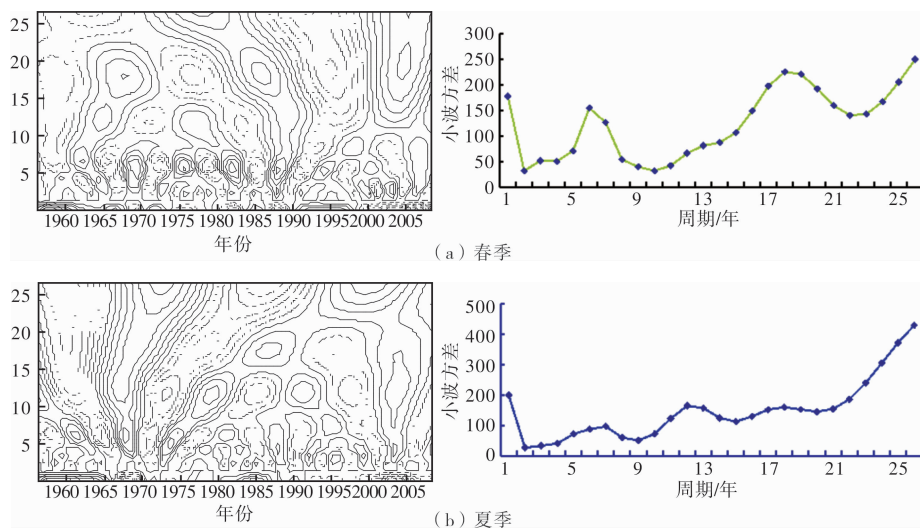


图5 春夏季降水周期的小波分析图

南京一线存在一条西南风的强水汽输送带,其通道与西南风的低空急流位置一致,使西南偏南的水汽直接输向长江中下游;四川盆地受地形的影响,水汽由东南风输送。因此,夏季长江中下游的水汽来源是来自南海北部湾,其次是孟加拉湾和西太平洋,沿途也有华南上空的水汽输入;长江上游的水汽主要来自孟加拉湾,其次是南海。冬季的水汽以西风输送为主,主要来自印度洋和孟加拉湾。

长江流域春季出现暴雨频度具有区域性,自东向西呈阶梯状递减,存在一个中心,大致位置在我国东部沿海一带,等值线自中心向西稀疏,在长江下游等值线密集,变率大,在这52年间,中心处出现暴雨的次数达到500左右,但在上游地区还有没出现暴雨,如在四川和青海的交界处。夏季暴雨出现的频率在区域上相对来说,具有南部多于北部,东部多于西部。等值线自南向北稀疏,自东向西稀疏。在长江中下游地区大部分地区,出现暴雨频数为在400~500之间的占大部分,在广东和福建的交界处也可达800左右。春夏季长江中下游地区大部分区域出现暴雨,上游地区几乎没有,这会加剧旱涝的空间分布和程度。春季降水量的空间分布和暴雨频数分布基本一致,再结合春季旱涝频率分布图可以看出,降水量和暴雨的空间分布影响着地区旱涝的空间分布,两者紧密相关(图6)。

综上所述,夏季出现暴雨的频数远远多于春季,且发生暴雨的区域覆盖面积也较大,这也有可能是夏季比春季更容易发生洪涝的原因之一。无论在春季还是夏季,东部沿海地区发生的频数较多,这可能与其地理位置有关,该地区是典型的季风气候区,夏季盛行偏南风,水汽比较充足。长江流域的旱涝灾害主要发生在夏季,由于每年6

-7月份,在长江中下游、淮河流域至日本南部这一近似东西带状地区,都会出现出现一段降雨非常集中的特殊连阴雨天气,降雨范围广、强度大和持续时间长,经常出现暴雨天气。能否发生洪涝主要取决于梅雨期的长短和梅雨期降水的强度,历次长江流域出现大涝的主要原因是大气环流异常引起的梅雨期偏长以及集中性的暴雨所致。

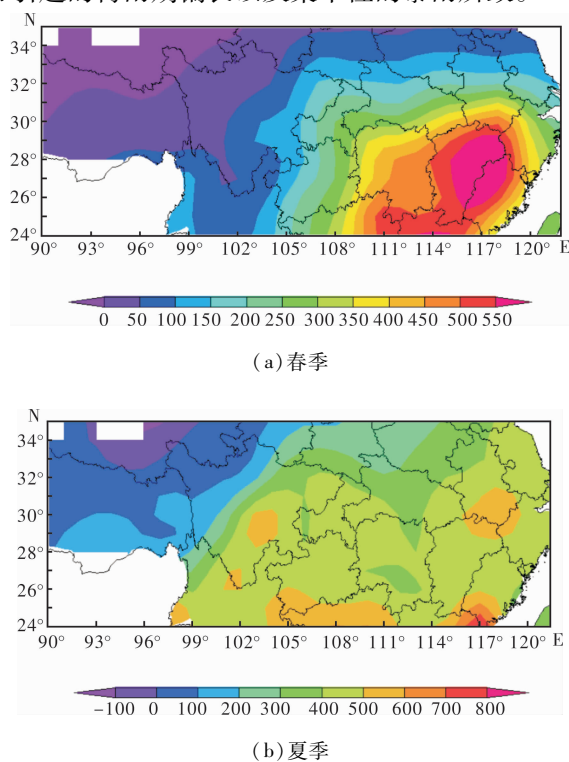


图6 长江流域春夏季暴雨频数图

3 结论与讨论

(1) 长江流域夏季降水量年际变率大,春季和年降水量变率相对不明显,但夏季和年降水量的

变化趋势一致;春季的降水周期较夏季具有明显的周期性,周期为 17~21 年。

(2) 旱涝灾害发生的频率和降水量、暴雨呈现正相关,春季容易发生干旱,夏季发生洪涝;长江流域旱涝更多地取决于流域下游,特别是涝年,造成长江流域洪涝的强降水集中在夏季。

(3) 旱涝分布存在一定的结构性。我国长江流域春、夏季发生旱涝的地区多。然而,每个季节发生旱涝的地区又各不相同。春季发生干旱的频率大值区主要集中在华中地区和四川的西南部,其中华中地区以湖南、湖北为干旱高发区;春季以华南沿海、云南为洪涝高发区。夏季,四川、重庆、云南、两广与湖南的交界处,湖北为干旱的高发区;贵州、安徽、江苏、广东湖南江西的交界处出现洪涝灾害的频率较高。无论春夏季,中下游出现暴雨频率高,但长江流域出现旱涝是多方面原因共同导致的结果。

长江流域旱涝急转的原因是多方面的,具体分析原因要从海温、高度场、大尺度环流场、降水时空变化、旱涝频率、暴雨量及日数的变化等方面来分析,综合以上因素研究长江流域旱涝的归因是今后研究的方向。

参考文献:

- [1] 马柱国,符淙斌. 中国北方干旱区地表湿润状况的趋势分析[J]. 气象学报, 2001, 59(6): 737-746.
- [2] 左洪超,吕世华,胡隐樵. 中国近 50 年气温及降水的变化

- 趋势[J]. 气象科学, 2005, 28(4): 377-383.
- [3] 龚志强,封国林. 中国近 1000 年旱涝的持续性特征研究[J]. 物理学报, 2008, 57(6): 3920-3921.
- [4] 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.
- [5] 史印山,姚学祥,杨晓亮,等. 华北夏季旱涝的特征分析[J]. 气象科学, 2008, 28(4): 377-383.
- [6] 黄嘉佑. 准两年周期振荡在我国月降水量中的表现[J]. 大气科学, 1988, 12(2): 267-273.
- [7] 朱乾根,智协飞. 中国降水准两年周期变化[J]. 南京气象学院学报, 1991, 14(2): 261-267.
- [8] 王冀,江志红,严明良,等. 1960-2005 年长江中下游极端降水指数变化特征分析[J]. 气象科学, 2008, 28(4): 384-388.
- [9] 胡娟,王谦谦. 我国江淮地区 5~7 月降水异常的区域特征[J]. 南京气象学院学报, 2004, 27(4): 495-501.
- [10] 毛文书,王谦谦,李国平,等. 近 50 年江淮梅雨的区域特征[J]. 气象科学, 2008, 28(1): 68-73.
- [11] 张天宇,孙照渤,倪东鸿,等. 近 45 a 长江中下游地区夏季降水的区域特征[J]. 南京气象学院学报, 2007, 30(4): 530-537.
- [12] 李月洪,施能. 我国东部夏季大尺度南北旱涝的气候特征及环流异常[J]. 大气科学研究与应用, 1995, (9): 10-18.
- [13] 张立波,封国林,郭利娜,等. 我国东部 4-9 月大尺度南北旱涝的特征及变化[J]. 南京气象学院学报, 2006, 29(1): 1-8.
- [14] 吴志伟,江志红,何金海. 近 50 年华南前汛期降水、江淮梅雨和华北雨季旱涝特征对比分析[J]. 大气科学, 2006, 30(3): 391-401.
- [15] 王志伟,唐红玉,李芬. 近 50 年中国华南雨涝变化特征分析[J]. 热带气象学报, 2005, 21(1): 87-92.

Characteristic Research on Drought and Flood Disasters in the Yangtze River Basin

Yu Wenjin, Zhou Hongjian, Zhan Daying, Shao Mingyang, LI Beiqun and Jiang Zhihong
(School of Marine science, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China)

Abstract: By using daily precipitation data for 148 sites throughout the year from 1956 to 2007 in the Yangtze River region, the transforming rule of droughts and floods and the spatial and temporal variation characteristics in the region are discussed with Z index as the indicator. Results show that: precipitation in the Yangtze River valley is of significant inter-annual changes. Summer and annual precipitation have the same trend. Cycle of precipitation in the spring is more obvious than in summer, and from the aspect of time period, spring precipitation cycle is 17~21 years mainly, and 10~15 years in summer. Frequency of occurrence of droughts and floods is positively correlated to that of precipitation and heavy rain. Spatial distribution of droughts and floods is of certain structural, that is droughts occurring mostly in the upper reaches of the Yangtze River region (part of Sichuan and Yunnan area) and in some areas of Hubei, while floods occurred in the middle and lower reaches of the Yangtze River, especially in Hunan, Anhui, Hubei and some other places.

Key words: the Yangtze River Basin; drought and flood disasters; precipitation; drought and flood conversion; spatial and temporal characteristic