

李强, 李永华, 周锁铨, 等. 2011. 三峡地区旱涝多时间尺度变化特征及早涝年大气环流异常 [J]. 气候与环境研究, 16 (2): 243-254. Li Qiang, Li Yonghua, Zhou Suoquan, et al. 2011. Variation characteristics of multiple time scales of drought/flood and atmospheric circulation anomaly in drought/flood years in the Three Gorges area [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 16 (2): 243-254.

三峡地区旱涝多时间尺度变化特征 及早涝年大气环流异常

李强^{1,2} 李永华^{2,3} 周锁铨² 王中¹

1 重庆市气象台, 重庆 401147

2 南京信息工程大学气象灾害省部共建教育部重点实验室, 南京 210044

3 重庆市气象科学研究所, 重庆 401147

摘要 根据 Z 指数指标体系, 构建了三峡地区旱涝指数时间序列, 且利用 Morlet 小波分析方法研究了指数序列的多时间尺度演变特征和典型夏季旱涝年大气环流特征, 结果表明: 三峡地区干旱、雨涝有明显不同的年际、年代际特征, 年、四季的干旱指数与雨涝指数基本呈反位相特征。三峡地区旱涝指数 Morlet 小波分析表明, 在不同时间和频率域中, 有显著的周期振荡, 具有较强的局部特征; 年旱涝指数主要有准 5 年、准 9 年、准 15 年的周期振荡; 旱涝特征周期振荡也具有明显的季节性差异。三峡地区雨涝年的环流背景为乌拉尔山地区、西伯利亚、巴尔喀什湖地区上空位势高度偏高, 我国河套地区、华北平原至日本海上空的位势高度偏低; 干旱年的环流形式与之相反。

关键词 三峡地区 旱涝 Z 指数 Morlet 小波

文章编号 1006-9585 (2011) 02-0243-12 **中图分类号** P461 **文献标识码** A

Variation Characteristics of Multiple Time Scales of Drought/Flood and Atmospheric Circulation Anomaly in Drought/Flood Years in the Three Gorges Area

LI Qiang^{1,2}, LI Yonghua^{2,3}, ZHOU Suoquan², and WANG Zhong¹

1 *Chongqing Meteorological office, Chongqing* 401147

2 *Key Laboratory of Meteorological Disaster of Ministry of Education, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing* 210044

3 *Chongqing Research Institute of Meteorological Science, Chongqing* 401147

Abstract The time series of drought and flood indices in the Three Gorges area are constructed according to Z-index system and the multiple time scales variation characteristics of the index series are analyzed by using Morlet wavelet transform method. The atmospheric circulation characteristics in the typical summer drought/flood years are investigated. It is found that the drought/flood variation is characterized by obvious interannual and interdecadal changes in the Three Gorges area. The drought index and the flood index time series have almost anti-phase variations on the annual and seasonal time scales. The Morlet wavelet analyses show that the drought and flood indices in

收稿日期 2009-07-14 收到, 2011-01-07 收到修定稿

资助项目 重庆市自然科学基金计划重点项目 CSTC2008BA0022, 中国气象局成都高原气象研究所开放基金项目 LPM200814, 中国气象局武汉暴雨研究所暴雨基金项目 IHR2007G03

作者简介 李强, 男, 硕士, 工程师, 主要从事天气预报、数值模拟等研究。E-mail: nuistlq@163.com

the Three Gorges Reservoir area have remarkable periodic oscillation and obvious local features in different time and frequency distributions. There are quasi-5-year, quasi-9-year, and quasi-15-year interdecadal periodical oscillations. The periodical oscillations of the drought and flood features have significant seasonal differences. In flood years, the atmospheric circulation background in the Three Gorges Reservoir area shows that the anomaly of 500-hPa geopotential height field is positive in the Ural Mountains, Siberia, and Lake Balkash, and negative in the Loop area and North China Plain as far as the Sea of Japan. The atmospheric circulation anomaly is opposite in drought years.

Key words Three Gorges area, drought and flood, Z-index, Morlet wavelet

1 引言

三峡地区地处西南地区东部,特殊的地理位置以及复杂的局地下垫面,使得该地区天气、气候复杂,异常气候发生率较高,灾害较为频繁。许多研究者已对三峡地区干旱、洪涝、高温等灾害性天气发生频率、程度、分布特征进行了研究(宋文玲和杨义文,2003;王梅华等,2005;张强等,2005;叶殿秀等,2008),这些研究对于提高认识局地性气候特征具有重要的科学意义。

Z 指数被广泛地应用于旱涝研究中,能较好地反应旱涝情况,同时在全国气候影响评价日常业务中作为一种旱涝评价方法在使用。张存杰等(1998)根据旱涝实际分布对 Z 指数界限值进行了修正,研究了我国西北地区的旱涝变化;邵晓梅等(2001)对 Z 指数进行了调整,利用这一指标对河北省旱涝的时空分布特征进行了研究;魏凤英(2004)指出干旱标准不仅与降水量有关,还应与蒸发量有关,以此定义了华北干旱强度指标并进行了分析;谭桂容等(2002)依据旱涝等级概率提出了区域旱涝指标,在对华北旱涝的实际分析中比较发现该方法较客观;李永华等(2006)考虑局地的气候特征,利用 Z 指标研究了重庆地区旱涝的时间演变特征。小波分析方法能够详细而准确地揭示时间序列中瞬时频率结构随时间的变化,是分析气候资料中所包含的周期性及其不均匀性的一种有效工具,在研究气候变化的多时间尺度结构和突变特征等方面已取得了明显的效果,并为客观地研究气候变化的多层次规律和特征提供了新的途径。王庆等(2004)利用 Z 指数对山东单站旱涝等级进行了评定,构造了新的区域旱涝指标,利用 Morlet 和 Mexican hat 小波变换对山东地区夏季旱涝指数的振荡规律进行对比

分析;高建芸等(2006)采用经验正交函数(Empirical Orthogonal Function, EOF)、快速富里叶变换(Fast Fourier Transform, FFT),连续小波变换(Continuous Wavelet Transform, CWT)和正交小波变换(Orthogonal Wavelet Transform, OWT),分析了福建省不同雨季旱涝指数(Z 指数)序列;史印山等(2008)采用单站旱涝 Z 指数变换和区域旱涝指数对华北区域旱涝时空分布特征进行了分析,并分析了华北夏季降水异常的大气环流特征。由于三峡地区范围主要以重庆地区为主,且该范围湖北段为峡谷地形,以及气温、降水气候特征和重庆地区基本相同(孙士型等,2002;杨荆安和陈正洪,2002),属于我国西南亚热带地区气候特征,本研究应用李永华等(2006)旱涝指标体系。干旱、雨涝的发生,必定有与之相对应的大气环流异常,例如2006年川渝地区出现的大范围干旱,该年副热带高压异常以及台风活动频繁(陈红等,2007;陈洪滨和范学花,2007;刘舸等,2007;卫捷等,2007;于玉斌等,2008;王磊等,2009)。

以上研究工作对本研究具有重要的指导意义,由于三峡地区下垫面较为复杂,以及大尺度环流特征的不确定性,导致了区域旱涝具有差异性,而整个区域不同时段干旱、洪涝程度如何?旱涝发生时的大气环流特征是什么?本文根据 Z 指数计算得到的三峡地区旱涝指数序列,利用 Morlet 小波分析旱涝的时间演变特征,进一步分析夏季典型旱涝年大气环流特征。

2 资料和方法

本研究中主要应用三峡地区经过资料控制后 34 个气象站 1961~2007 年逐日降水、温度观测资料,以及 1961~2007 年 NECP/NCAR 逐月的再

分析数据, 空间分辨率为 2.5° (纬度) $\times 2.5^\circ$ (经度)。

本文主要应用 Z 指数的定义确定三峡地区年、四季旱涝指数序列, 影响旱涝程度的因素比较复杂, 因此定义旱涝指标需要考虑较多的因素。考虑到该地区的气候特点, 采用高桥浩一郎公式作为计算蒸发量的方法。高桥浩一郎的陆面蒸发经验公式为

$$E = \frac{3100P}{3100 + 1.8P^2 \exp\left(-\frac{34.4T}{235 + T}\right)},$$

其中, E 、 P 、 T 分别为月地面蒸发量 (单位: mm)、月降水量 (单位: mm) 和月平均气温 (单位: $^\circ\text{C}$)。降水与蒸发量之差可作为衡量水分余缺的指标, 用 F (单位: mm) 表示:

$$F = P - E.$$

利用以上两式可以计算三峡地区 1961 年 1 月至 2008 年 2 月逐月逐站的 F 值。将上述计算得到的逐月逐站 F 值采用相加的方式处理成各站年 (1~12 月)、春季 (3~5 月)、夏季 (6~8 月)、秋季 (9~11 月)、冬季 (12 月至次年 2 月) 资料, 假定其服从 Person III 型分布, 可将其概率密度函数通过转换运算, 得到

$$Z_i \frac{6}{C_s} \left(\frac{C_s}{2} \varphi_i + 1 \right)^{\frac{1}{3}} - \frac{6}{C_s} + \frac{C_s}{6},$$

其中, Z_i 为各站 Z 指数值, C_s 为偏态系数, φ_i 为标准变量。 C_s 和 φ_i 可由资料序列计算求得:

$$C_s = \frac{\sum_{i=1}^n (F_i - \bar{F})^3}{n\sigma^3},$$

$$\varphi_i = \frac{F_i - \bar{F}}{\sigma},$$

其中, \bar{F} 为累年 F 平均值, n 为总站数; σ 为标准差, 计算公式为

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (F_i - \bar{F})^2}.$$

采用上述方法求得 34 站年及四季 Z 指数序列, 则可确定各站年和四季旱涝等级 (见表 1)。

得到单站的旱涝指标序列后, 在计算区域旱涝指数时, 如果采用各站 Z 值平均来作为区域旱涝指数可能会出现旱情偏轻洪涝偏重的情况, 因此本文拟采用在划分单站历年旱涝等级的基础上来计算区域旱涝指数, 区域内单站旱涝对于区域

表 1 Z 指数旱涝等级指标

Table 1 Classifications of the drought/flood intensity of Z -indices

等级	类型	Z 值	累计频率	理论概率
1	重涝	$1.645 < Z$	$95\% < P(Z)$	5%
2	中涝	$1.037 < Z \leq 1.645$	$85\% < P(Z) \leq 95\%$	10%
3	轻涝	$0.842 < Z \leq 1.037$	$70\% < P(Z) \leq 85\%$	15%
4	正常	$-0.842 \leq Z \leq 0.842$	$30\% \leq P(Z) \leq 70\%$	40%
5	轻旱	$-1.037 \leq Z < -0.842$	$15\% \leq P(Z) < 30\%$	15%
6	中旱	$-1.645 \leq Z < -1.037$	$5\% \leq P(Z) < 15\%$	10%
7	重旱	$Z < -1.645$	$P(Z) < 5\%$	5%

旱涝的贡献应该与其相应的旱涝等级出现的概率成反比。考虑到实际概率与理论概率相当接近, 根据理论概率中各旱涝等级所出现的概率比值, 同时为了计算的简便, 采用以下两式计算区域旱涝指数:

$$I_F = \frac{3n_1 + 1.5n_2 + n_3 + 0.75n_4^+}{n},$$

$$I_D = \frac{3n_7 + 1.5n_6 + n_5 + 0.75n_4^-}{n},$$

其中, I_F 和 I_D 分别指雨涝指数和干旱指数, n_j 指 j 级出现的站数, n_4^+ (n_4^-) 是指旱涝等级为 4 级 (表 1 中所示) 的正 (负) 距平的站数。

根据以上 Z 指数的计算方法, 首先求得 34 站年及四季 Z 指数序列, 按照旱涝等级标准确定序列的等级值 (表 1), 再根据区域旱涝指数计算方法得到三峡地区年、四季旱涝指数序列。

小波变换同时具有时间和频率两个分辨率的特征, 小波变换能通过伸缩和平移来对不同的信号序列进行尺度分析。本文采用标准的 Morlet 小波作为母小波 (吴洪宝和吴蕾, 2005), 对以上指数序列进行小波分析, 由于夏季降水与全年总降水具有较好的对应关系, 最后根据 Z 指数所确定干旱、洪涝夏季典型年份, 进一步研究三峡地区夏季干旱、洪涝的大气环流特征。

3 旱涝时间演变特征

3.1 旱涝年际和年代际变化

从图 1 可见, 年及四季的干旱指数与雨涝指数基本呈反相位变化, 即当雨涝程度较重时干旱

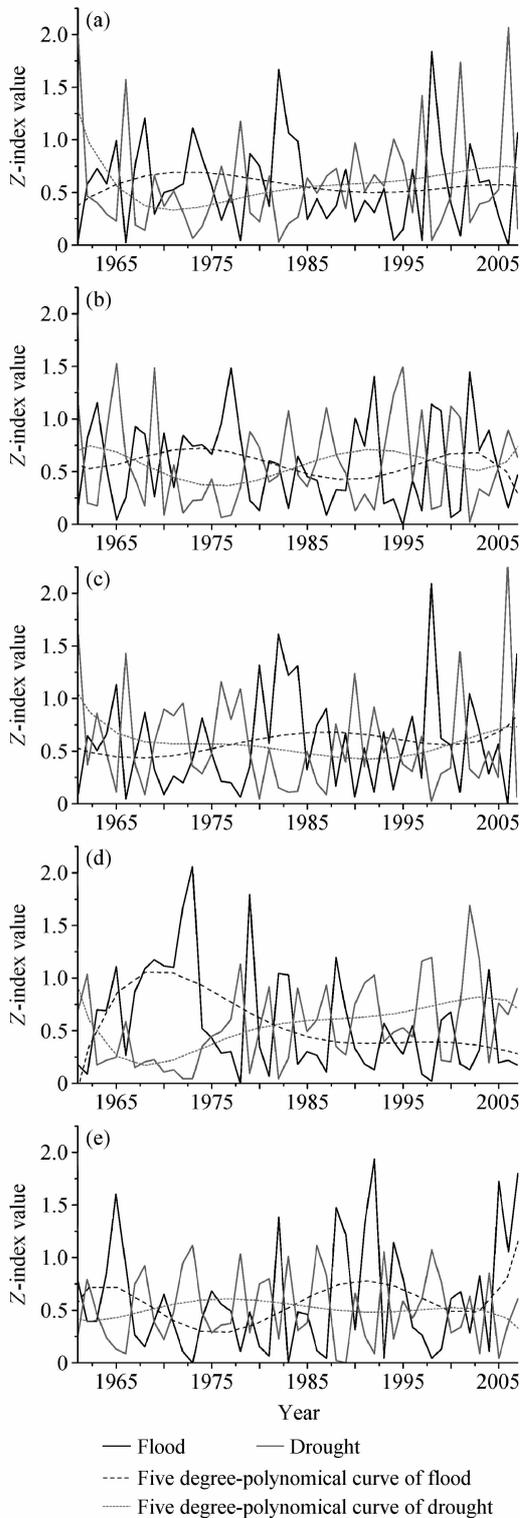


图1 三峡地区1961~2007年(a)年、(b)春季、(c)夏季、(d)秋季、(e)冬季干旱指数 I_D 和雨涝指数 I_F 变化
 Fig. 1 Variations of the indices of drought I_D and flood I_F in the Three Gorges area from 1961 to 2007: (a) Annual; (b) spring; (c) summer; (d) autumn; (e) winter

程度一般较轻,反之,当雨涝程度较轻时干旱程度一般较重,也有一些年份雨涝和干旱程度相当。干旱(雨涝)指数的变化有其年(代)际特征:就年的旱涝指数来看,20世纪60年代前期干旱(雨涝)程度较重(轻),60年代中期至80年代中前期干旱(雨涝)程度较轻(重),80年代中后期至90年代末期干旱(雨涝)程度较重(轻),这种趋势一直维持到2007年;春季的旱涝变化趋势较复杂,60年代前中期干旱(雨涝)程度较重(轻),60年代后期至80年代前期干旱(雨涝)程度较轻(重),80年代中期至90年代末期干旱(雨涝)程度较重(轻),从20世纪90年代末至2005年,干旱(雨涝)程度较轻(重),之后干旱(雨涝)程度较重(轻);夏季,20世纪70年代后期以前干旱(洪涝)程度较重(轻),70年代后期至20世纪末干旱(雨涝)程度轻(重)。21世纪以来,干旱、雨涝程度较为相当,且均有加重趋势;秋季,20世纪60年代前期干旱(雨涝)较重(轻),60年代中期至80年代初干旱(雨涝)较轻(重),之后干旱(雨涝)较重(轻);冬季的干旱(雨涝)变化相对较复杂一些,20世纪60年代中后期以前干旱(雨涝)较轻(重),60年代末至80年代前期干旱(雨涝)较重(轻),80年代中期至90年代末干旱(雨涝)较轻(重),之后干旱(雨涝)偏轻(重)。相关性分析表明,三峡地区年与夏季干旱、雨涝指数变化趋势具有较好的对应关系,相关系数分别为0.832、0.815,均通过99%的信度检验。

3.2 旱涝 Morlet 小波变换

小波功率谱反应了不同尺度周期信号的强弱,可以揭示信号序列的内部频率结构,能够给出序列中所包含的不同尺度振荡的完整描述。结合 Morlet 小波变化的实部结果(图略),1961~2007年干旱指数小波变换主要有5 a、9 a、15 a的振荡周期,5 a出现在1961~1966年和1998~2007年(图2a1),且均通过了90%信度检验,而9 a和15 a周期振荡在整个时间域上并不显著;雨涝指数振荡周期有5 a、8~9 a、15 a,5 a周期出现在1961~1971、1996~2007年,而在1966~2007年的周期振荡较为显著,8~9 a周期出现在1961~1996年,而1975~1993年时间域较显著,15 a周期变化整个时间域都有表现,而1980~1995年较为显

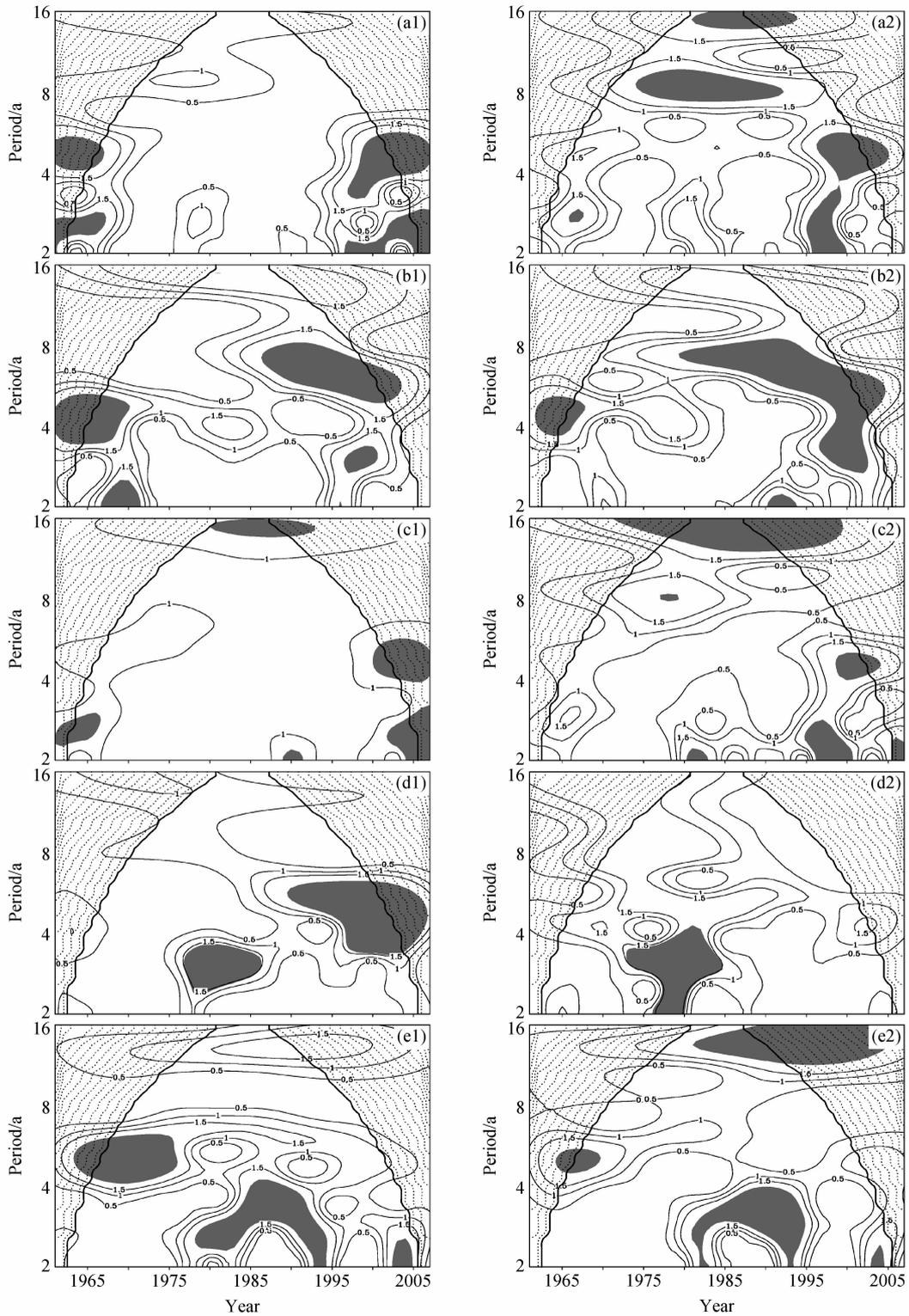


图2 三峡地区1961~2007年(a1、a2)年、(b1、b2)春季、(c1、c2)夏季、(d1、d2)秋季、(e1、e2)冬季干旱指数(左列)和雨涝指数(右列)小波变换功率谱。阴影表示通过90%信度检验,点阴影表示小波变换受边界影响
Fig. 2 The wavelet transform power spectrum of drought (left) and flood (right) indices from 1961 to 2007 in the Three Gorges area; (a1, a2) Annual; (b1, b2) spring; (c1, c2) summer; (d1, d2) autumn; (e1, e2) winter. Shaded areas are above 90% confidence level and the dotted areas represent the area influenced by the boundary

著,以上显著周期均通过了90%信度检验(图2a2)。春季干旱指数小波变换存在4a、7a、14~16a的周期振荡,4a、7a周期振荡分别出现在1961~1984年、1988~2007年,而4a在1961~1970年较为显著,7a在1988~2004年较为显著,14~16a的周期均不显著(图2b1);春季雨涝指数具有5a、7a、16a周期振荡,且5a振荡周期在1961~1970年较为显著,7a振荡周期在1980~2005年较为显著,16a在时间域上不显著(图2b2)。夏季干旱指数的周期有2a、5a、15a周期振荡,2a周期出现在1961~1965年、1976~1978年,但震荡均不显著,5a周期出现在1961~1972、2000~2007年,且在2000~2007年振荡较为显著,整个时间域上15a周期都有表现,但1980~1996年较为显著(图2c1);雨涝指数的振荡周期有2a、5a、8~9a、16~17a,2a周期振荡出现时间段有1961~1966年、1980~1984年、1988~1992年、1996~2002年,在1980~1984年、1996~2002年较为显著,5a周期振荡在2000~2005年较为显著,16~17a周期振荡在整个时间段上都有表现,而在1970~2000年较为显著(图2c2)。秋季干旱指数小波变换显示的周期有5~6a、14a,5~6a周期分别出现在1961~1968、1990~2007年,且在1990~2007年震荡较为显著,而14a周期整个时间域上表现不明显(图2d1);雨涝指数周期有3a、5a、8a,3a周期出现在1974~1985年、振荡较为显著,而其他周期均不显著(图2d2)。冬季干旱指数的小波变换主要周期有3a、5a、13~14a,3a周期在1985~1994年较为显著,5a周期出现在1961~1976年、1996~2004年,且1961~1976年较为显著,13~14a周期在整个时间域上均有表现,但均不显著(图2e1);雨涝指数的小波变换主要周期有3a、5a、13~14a,3a周期在1981~1994年较为显著,5a周期振荡在1965~1970年较为显著,13~14a在1980~2006年较为显著。

从以上分析可得,干旱(雨涝)指数周期振荡有明显的不同时间尺度年际、年代际变化,三峡地区年及四季的干旱(雨涝)指数的各种时间尺度周期在时间域中的分布有差异,各个时期的主要振动周期是不同的,即不同尺度周期信号的强弱在时-频域中的分布具有较强的局部特征,

且不同季节、不同的周期振荡,其显著性也不同。具体来看,1961~2007年年干旱指数5a周期较为显著,雨涝指数5a、8~9a、15a周期振荡都较为显著;春季干旱指数4a、7a周期较为显著,雨涝指数5a、7a周期较为显著;夏季干旱指数5a、15a周期较为显著,雨涝指数2a、5a、16~17a较为显著;秋季干旱指数5~6a周期较为明显,雨涝指数3a较明显,其他周期表现不显著;冬季干旱指数3a、5a周期较为显著,雨涝指数3a、5a、13~14a周期均较为显著。

不同时间尺度上,小波分析所反映的信号特征是有差异的。由于小波变换在频域和时间域上同时具有良好的局部化特征,因此,对不同时间成分分解,可以聚焦局部细节,从而可以分析不同时间尺度的旱涝演变特征,而小波系数实部图上的零点可以判断时间序列不同时间尺度上的拐点,用小波分解图可以更清楚地看出不同层次上的变化特征和零点的具体位置(林振山,1996),从而得出多时间尺度特征和规律。小波系数正(负)值对应了旱(涝)等级低(高)指数,表示雨涝(干旱)发生趋势。从图3可见,5a时间尺度的雨涝和干旱变化趋势较复杂,但大体两者呈相反变化的趋势,且年雨涝、夏季雨涝都有相应的变化趋势,也具有相应的拐点。9a周期年干旱指数小波变化拐点有1965年、1969年、1973年、1978年、1982年、1986年、1990年、1995年、1999年、2003年,由于年雨涝、夏季雨涝都有相应的周期变化,也具有相应的拐点,而夏季干旱不具有相应的周期变化,变化趋势表现也不明显,主要原因是夏季干旱9a周期尺度的振荡在整个时间尺度上并不是很显著。15a周期尺度年干旱变化分为5个阶段,1961~1965年、1977~1982年、1999~2005年雨涝相对较重,1966~1976年、1983~1998年为干旱相对较重时段,而年雨涝指数及夏季干旱、雨涝指数拐点相对前置1~2a。

时间尺度为5a、9a、15a周期小波系数分解图的变化特征,清楚地反映了雨涝和干旱变化有比较好的对应关系,雨涝较重时期往往干旱较轻,反之,偏旱的时期往往雨涝比较轻,即干旱、雨涝有反相位的特征,时间尺度越大表现得越明显,时间尺度较小则相对复杂,年和夏季旱涝指数在

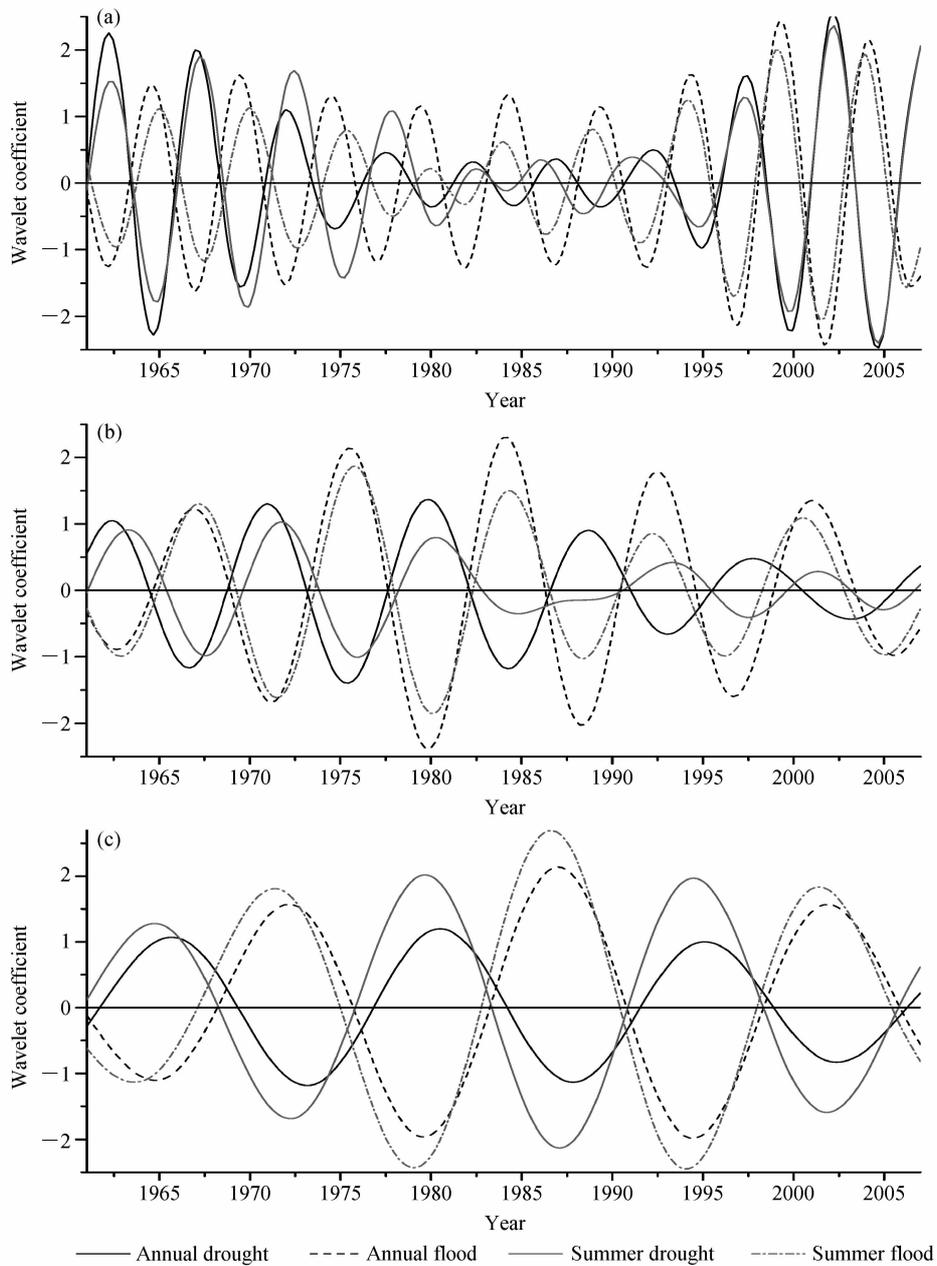


图3 三峡地区年、夏季干旱和雨涝指数 (a) 5 a、(b) 9 a 和 (c) 15 a 的小波系数分解

Fig. 3 The wavelet coefficient decomposed of drought and flood indices in the Three Gorges area on (a) 5-year, (b) 9-year, and (c) 15-year time scales

各个周期有较好的对应关系。而就近几年夏季雨涝和干旱变化趋势而言，高频周期（5 a）趋势为偏旱阶段，低频周期（15 a）是雨涝向干旱过渡阶段，且干旱逐渐呈加强趋势。近30年来三峡地区旱涝变化研究结果表明（李强等，2010），三峡库区洪涝也有明显的年际、年代际差异；近年来，三峡库区年均洪涝和区域洪涝强度均呈减弱趋势，而区域性洪涝较为频繁。

4 典型夏季旱涝年大气环流特征

利用干旱、雨涝指数值大小序列，根据指数大小所确定的旱涝强弱程度选取年及四季干旱和雨涝的典型年份（各选6年），列于表2。从表2可见，在确定的干旱、雨涝典型年份中，旱涝程度不同年份、不同季节旱涝程度具有差异性，总

体上看,夏季的旱涝程度与年旱涝程度具有较好的对应关系,夏季的旱涝能够较好地表征年的旱涝特征;春季、秋季、冬季对应关系不明显。

表 2 三峡地区干旱和雨涝典型年份

Table 1 Typical drought and flood years in the Three Gorges area

	干旱年份	雨涝年份
年	2006、1961、2001、1966、1997、1978	1998、1982、1968、1973、2007、1983
春季	1965、1995、1969、1994、1961、2000	1977、2002、1992、1963、1998、1999
夏季	2006、1961、2001、1966、1990、1976	1998、1982、2007、1980、1984、1983
秋季	2002、1998、2003、1997、1978、1962	1973、1979、1972、1988、1969、1970
冬季	1986、1973、1998、1993、1978、1983	1992、2005、1965、1988、1982、1991

干旱、雨涝的发生必定有与之相对应的大气环流异常。由于夏季旱涝与年的旱涝程度具有较好的对应关系,利用选取的夏季典型旱涝年份,研究典型夏季旱涝年份大气环流特征,下面将对这些典型夏季干旱、雨涝年的大气环流背景、水汽输送特征进行合成分析。

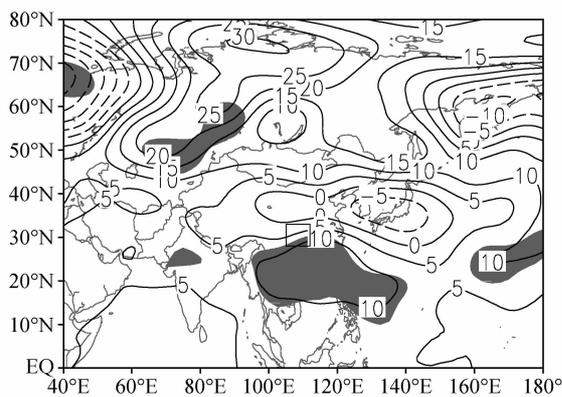


图 4 三峡地区雨涝年与干旱年夏季 500 hPa 位势高度场差值 (单位: gpm)。阴影表示通过 95% 信度检验, 矩形为三峡地区位置 (下同)

Fig. 4 The difference of geopotential height fields at the height of 500 hPa between flood and drought years in the Three Gorges area (units: gpm). The shaded areas are above 95% confidence level, and the rectangle denotes the location of the Three Gorges area (the same below)

4.1 典型夏季旱涝年夏季位势高度场合成分析

图 4 是三峡地区 6 个典型洪涝年与 6 个典型干旱年夏季 500 hPa 位势高度场差值, 可以看到, 高纬度乌拉尔山地区、西伯利亚、巴尔喀什湖地区上空位势高度偏高, 乌拉尔山地区通过了 95% 信度检验, 乌拉尔山高压脊显著加强; 我国河套地区经华北平原, 一直到日本海上空的位势高度偏低; 印度半岛、孟加拉湾、中南半岛以及我国南海和东南沿海地区高度场显著偏高。乌拉尔山高压脊加强, 经向环流加强, 脊前西北气流引导冷空气南下侵入四川盆地, 有利于西风槽和西南涡发展, 且来自北方的冷空气受西北槽的影响, 继续向南推进到达长江中上游地区; 而低纬度, 受孟加拉湾、南海、热带太平洋高度场偏高影响, 能够把这些地区暖湿气流向北输送到我国内陆地区。在以上气流共同作用下, 南下的冷空气和北上的暖湿气流能够在三峡地区汇合, 有利于三峡地区降水, 易于发生洪涝灾害。相反, 当纬向环流发展, 则不利于该地区降水的产生。在这种环流背景下, 三峡地区易出现干旱。

从图 5 可见, 高纬度西伯利亚地区为低压系统, 距平场上相应地表现为负距平; 中纬度乌拉尔山以东为低压系统, 贝加尔湖一直到鄂霍次海上空为高压系统, 为正距平, 我国北部大部分为正距平, 日本以东洋面上空位势高度偏低, 为负距平; 低纬度以正距平为主; 代表副热带高压的 5880 gpm 高度线西伸不明显。

图 6 是三峡地区夏季雨涝年 500 hPa 高度场合成及其距平场, 高纬度西伯利亚地区为高压系统, 距平场上相应地表现为正距平; 中纬度乌拉尔山以东为高压系统, 贝加尔湖一直到东西伯利亚上空为高压系统, 距平场上表现为正距平; 低纬度以正距平为主; 代表副热带高压的 5880 gpm 高度线西伸至 140°E 以西。

从以上分析可得, 三峡地区夏季典型雨涝年与干旱年夏季 500 hPa 高度场合成相比, 乌拉尔山地区高压脊加强, 西伯利亚位势高度偏高, 以及副热带高压西移是三峡地区雨涝的大气环流背景。在以上环流背景下, 经向环流加强, 有利于三峡地区雨涝; 反之, 该地区易于产生干旱。同时, 三峡建库前后洪涝强度相当的典型洪涝年份大气环流合成表明, 蒙古和我国东北地区的环流

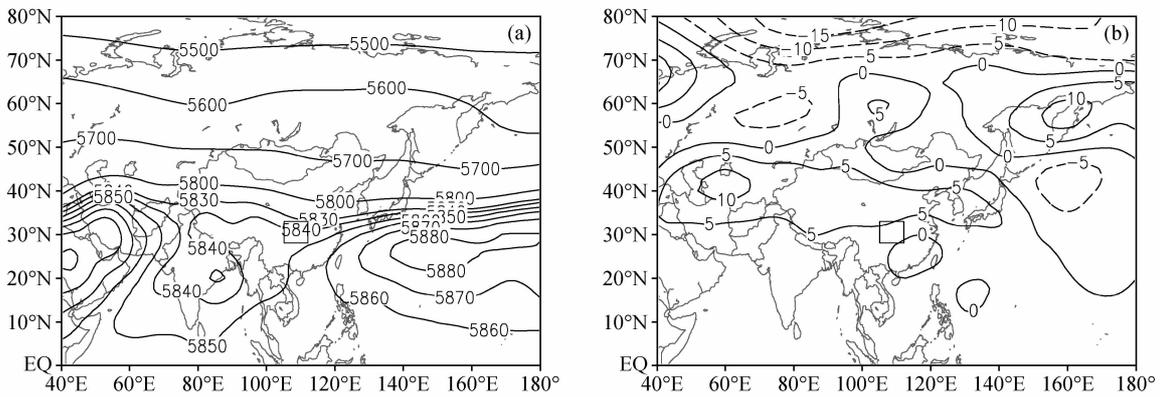


图 5 三峡地区典型夏季干旱年夏季 500 hPa (a) 高度场合成及其 (b) 距平场 (单位: gpm)
Fig. 5 (a) The composite geopotential height field and (b) its anomaly field in the typical drought years at the height of 500 hPa in summer (units: gpm)

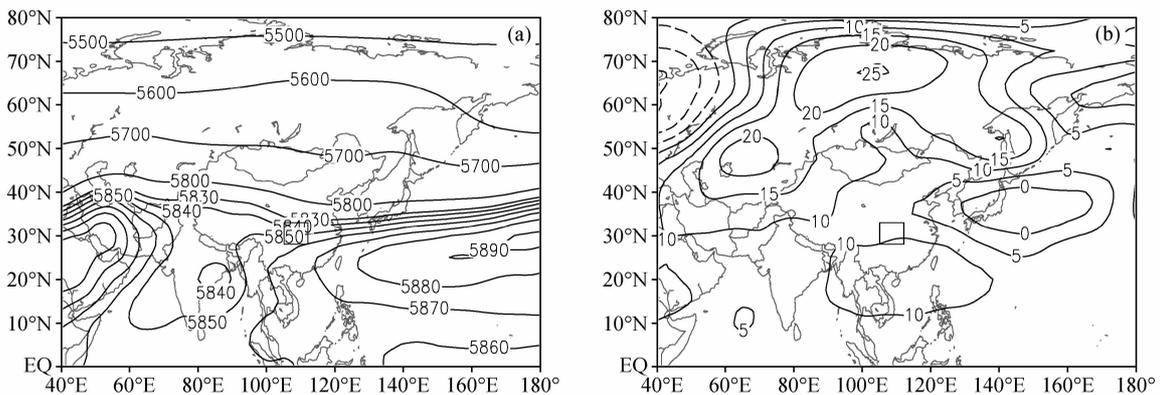


图 6 同图 5, 但为雨涝年
Fig. 6 Same as Fig. 5, but for the flood years

背景合成明显不同, 三峡库区蓄水以前典型洪涝年份较蓄水后环流异常更有利于降水。

4.2 典型夏季旱涝年夏季流场合成分析

源于印度洋的气流, 经孟加拉湾和中南半岛, 与来自南海的气流汇合, 交汇的气流流向我国内陆大部分地区, 这支气流继续向北分为三支: 一支流向西南地区东部, 一支经华北流向我国东北地区, 还有一支经华东流向黄海 (图略)。从典型夏季干旱年夏季 700 hPa 流场距平场合成 (图 7a) 可见, 蒙古高原以及我国西北地区为异常的反气旋性环流, 此气流一个分支横穿我国东北流向日本海, 一个分支经河套地区南下; 朝鲜半岛附近为反气旋环流异常, 此环流把东海气流输送至我国内陆, 与河套地区南下气流汇合, 继续向南推进, 且呈东北—西南走向。三峡地区受到以上汇合气流影响, 主要以南下气流为主, 风向以偏北

风为主。

典型夏季雨涝年夏季 700 hPa 流场距平场合成 (图 7b) 显示, 蒙古高原仍为反气旋性环流异常, 把北方的冷空气输送至我国内陆, 气流经河套地区流向长江中上游, 把北方的冷空气输送至我国西南地区; 西太平洋面上受副热带高压影响为异常的反气旋环流, 能够把太平洋、南海暖湿水汽输送到华南和西南地区。以上两支气流的汇合, 在三峡地区形成气旋性切变, 使得辐合增强, 可产生强烈的上升运动, 为降水提供有利的动力条件。

4.3 典型夏季旱涝年夏季水汽输送特征

由于受到蒙古高原以及日本海附近反气旋性环流异常的影响, 干旱年主要为南下气流, 无北上的暖湿水汽 (如图 8a 所示); 雨涝年夏季整层水汽输送在 30°N 以北主要以由北向南输送为主

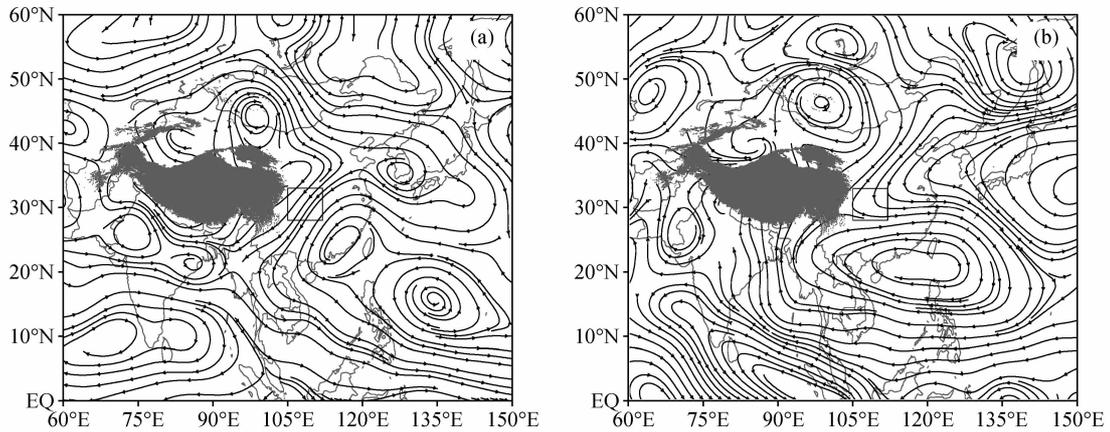
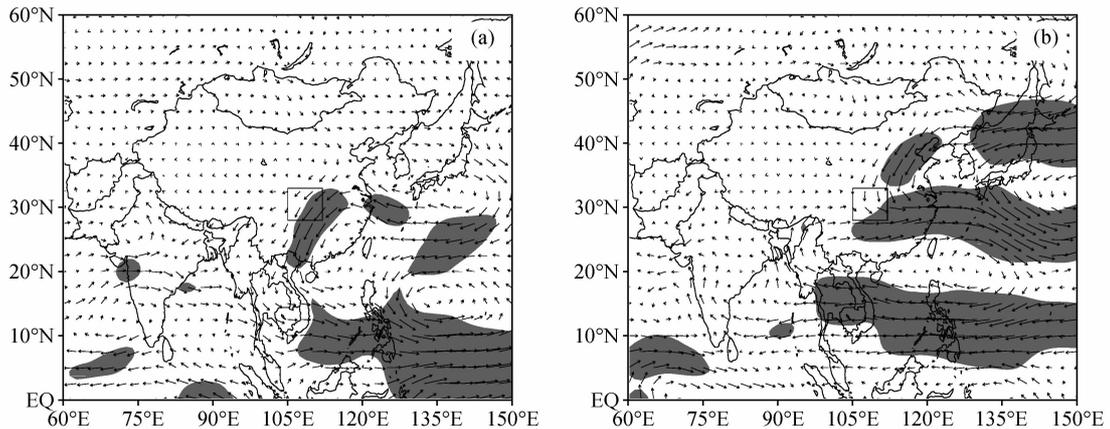


图7 典型夏季 (a) 干旱年、(b) 雨涝年 700 hPa 流场距平

Fig. 7 The anomalous streamline fields at the height of 700 hPa in summers of the typical (a) drought years and (b) flood years

图8 典型夏季 (a) 干旱年和 (b) 雨涝年夏季整层水汽通量合成 (阴影表示水汽通量 $\geq 100 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)Fig. 8 The composite moisture fluxes in summers of the typical (a) drought years and (b) flood years (shaded areas denote the moisture flux $\geq 100 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)

(如图 8b 所示), 以南在西太平洋反气旋环流影响下, 把西太平洋以及南海水汽输送至我国内陆, 南下的冷空气和北上的暖湿空气在三峡地区明显交汇, 易于产生降水。

综上所述, 三峡地区干旱年夏季大气环流异常, 主要以南下的气流为主, 并不利于该地区降水产生; 三峡地区雨涝年由于异常环流影响, 气流具有明显辐合, 这种情景下非常有利于降水, 易于该地区洪涝发生。三峡库区蓄水以前的典型洪涝年份 1980 年和 1984 年合成分析显示, 在强盛的偏南气流控制下, 典型洪涝年份水汽输送特征较蓄水后的典型洪涝年份水汽输送更加明显, 更有利于三峡库区降水, 易于产生洪涝; 典型洪涝年 2004 年和 2007 年, 关键区水汽输送有明显

的变化特征, 且在典型洪涝事件中各关键区水汽输送强度较弱。

5 结论

利用三峡地区实时观测资料, 应用 Z 指数、Morlet 小波分析方法研究了三峡地区年、四季旱涝特征, 以及旱涝多时间尺度频率演变特征, 分析典型夏季旱涝年夏季大气环流特征, 结论如下:

(1) 三峡地区干旱 (雨涝) 有明显不同的年际、年代际特征; 年、四季的干旱指数与雨涝指数基本呈反位相变化; 三峡地区年、夏季干旱 (雨涝) 变化趋势较为一致。

(2) 三峡地区旱涝指数进行小波分析表明,

年旱涝指数主要有准 5 年、准 9 年、准 15 年的周期振荡, 且周期振荡也具有明显的季节性差异; 年、夏季不同周期的小波系数分解显示, 不同尺度周期信号在时频域中的分布具有较强的局部特征。

(3) 三峡地区雨涝与干旱年夏季 500 hPa 位势高度场合成差值显示, 乌拉尔山地区、西伯利亚、巴尔喀什湖地区上空位势高度偏高, 我国河套地区、华北平原, 直到日本海上空的位势高度偏低, 以上大气环流背景是三峡地区雨涝年的背景场; 三峡地区干旱年的环流形势与之相反。

(4) 三峡地区典型夏季干旱、雨涝年夏季流场合成距平场具有明显的差异, 干旱年为南下气流异常, 雨涝年三峡地区具有明显的气旋性辐合, 为降水提供了有利的动力条件。由于受环流距平异常影响, 在三峡地区具有明显的暖湿水汽和冷空气汇合, 且雨涝年夏季整层具有较好的水汽辐合条件。

通过研究三峡地区旱涝多时间尺度演变特征, 以及夏季典型旱涝年大气环流特征, 得出了一些有意义的研究结果, 这对提高认识三峡地区气候长时间演变规律具有重要科学意义。而就三峡建成前后, 局地的气候变化差异特征, 还需要进一步的研究。

参考文献 (References)

陈红, 卫捷, 孙建华, 等. 2007. 2006 年夏季主要天气系统及环流特征分析 [J]. 气候与环境研究, 12 (1): 8 - 19. Chen Hong, Wei Jie, Sun Jianhua, et al. 2007. The weather and its circulation in summer of 2006 [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 12 (1): 8 - 19.

陈洪滨, 范学花. 2007. 2006 年极端天气和气候事件及其他相关事件的概要回顾 [J]. 气候与环境研究, 12 (1): 100 - 112. Chen Hongbin, Fan Xuehua. 2007. Some extreme events of weather, climate and related phenomena in 2006 [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 12 (1): 100 - 112.

高建芸, 邓自旺, 周晓兰, 等. 2006. 基于 EOF 和小波分析的福建近 40 年旱涝时空变化特征研究 [J]. 热带气象学报, 26 (5): 491 - 497. Gao Jianyun, Deng Ziwang, Zhou Xiaolan, et al. 2006. Spatial/temporal features of drought/flood in Fujian for the past 4 decades [J]. Journal of Tropical Meteorology (in Chinese), 26 (5): 491 - 497.

李强, 周锁铨, 李永华, 等. 2010. 三峡库区洪涝特征及其与大

尺度环流的联系 [J]. 大气科学学报, 33 (4): 477 - 488. Li Qiang, Zhou Suoquan, Li Yonghua, et al. 2010. Features of floods in the Three Gorges Reservoir region and its relationship with large scale circulation [J]. Transactions of Atmospheric Sciences (in Chinese), 33 (4): 477 - 488.

李永华, 毛文书, 高阳华, 等. 2006. 重庆区域旱涝指标及其变化特征分析 [J]. 气象科学, 26 (6): 638 - 644. Li Yonghua, Mao Wenshu, Gao Yanghua, et al. 2006. Regional flood and drought indices Chongqing and their variation features analysis [J]. Scientia Meteorologica Sinica (in Chinese), 26 (6): 638 - 644.

林振山. 1996. 气候建模、诊断和预测的研究 [M]. 北京: 气象出版社, 176 - 186. Lin Zhengshan. 1996. The Study on Climate Modeling Diagnosis and Prediction [M] (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 176 - 186.

刘炯, 张庆云, 孙淑清. 2007. 2006 年夏季西太平洋热带气旋活动的初步研究 [J]. 气候与环境研究, 12 (6): 738 - 750. Liu Ge, Zhang Qingyun, Sun Shuqing. 2007. A preliminary study on activities of tropical cyclones over the western north Pacific during the summer in 2006 [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 12 (6): 738 - 750.

邵晓梅, 刘劲松, 许月卿. 2001. 河北省旱涝指标的确定及其时空分布特征研究 [J]. 自然灾害学报, 10 (4): 133 - 136. Shao Xiaomei, Liu Jinsong, Xu Yueqing. 2001. Determination of drought - flood spatial distribution in index and its temporal and Hebei Province [J]. Journal of Natural Disasters (in Chinese), 10 (4): 133 - 136.

史印山, 姚学祥, 杨晓亮, 等. 2008. 华北夏季旱涝的特征分析 [J]. 气象科学, 28 (4): 377 - 383. Shi Yinshan, Yao Xue-xiang, Yang Xiaoliang, et al. 2008. Characteristic analysis of unusual summer precipitation in North China [J]. Scientia Meteorologica Sinica (in Chinese), 28 (4): 377 - 383.

宋文玲, 杨义文. 2003. 长江三峡地区夏季旱涝特征及气候预测 [J]. 气象, 29 (7): 13 - 18. Song Wenling, Yang Yiwen. 2003. Characteristics of drought/flooding in the Yangtze Gorges and climate prediction [J]. Meteorological Monthly (in Chinese), 29 (7): 13 - 18.

孙士型, 奉承平, 居志刚. 2002. 三峡坝区气候特征分析 [J]. 中国三峡建设, (6): 22 - 23. Sun Shixing, Qin Chengping, Ju Zhigang. 2002. Climatic features in Three Gorges Dam area [J]. China Three Gorges Construction (in Chinese), (6): 22 - 23.

谭桂容, 孙照渤, 陈海山. 2002. 旱涝指数的研究 [J]. 南京气象学院学报, 25 (2): 153 - 158. Tan Guirong, Sun Zhaobo, Chen Haishan. 2002. Study on the flood/drought indices [J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology (in Chinese), 25 (2): 153 - 158.

王磊, 陈光华, 黄荣辉. 2009. 影响登陆我国不同区域热带气旋活动的大尺度环流定量分析 [J]. 大气科学, 33 (5): 916 - 922. Wang Lei, Chen Guanghua, Huang Ronghui. 2009. Quantitative analysis on large scale circulation system modulating land-

- falling tropical cyclone activities in the diverse Chinese region [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 33 (5): 916-922.
- 王梅华, 刘莉红, 张强. 2005. 三峡地区气候特征 [J]. 气象, 31 (7): 68-72. Wang Meihua, Liu Lihong, Zhang Qiang. 2005. Climatic characteristics in Sanxia area [J]. Meteorological Monthly (in Chinese), 31 (7): 68-72.
- 王庆, 龚佃利, 孙即霖, 等. 2004. 山东夏季旱涝指数的振荡特征 [J]. 中国海洋大学学报, 34 (2): 173-181. Wang Qing, Gong Dianli, Sun Jilin, et al. 2004. Oscillatory characteristic of Shandong summer rainfall index [J]. Journal of Ocean University of China (in Chinese), 34 (2): 173-181.
- 魏凤英. 2004. 华北地区干旱强度的表征形式及其气候变异 [J]. 自然灾害学报, 13 (2): 32-38. Wei Fengying. 2004. Characterization of drought strength in North China and its climatic variation [J]. Journal of Natural Disasters (in Chinese), 13 (2): 32-38.
- 卫捷, 陈红, 孙建华, 等. 2007. 2006 年夏季中国的异常气候——中国科学院大气物理研究所短期气候预测检验 [J]. 气候与环境研究, 12 (1): 1-7. Wei Jie, Chen Hong, Sun Jianhua, et al. 2007. The analysis of anomalous climate in Eastern China in summer 2006—Verification of seasonal climate predictions of the Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 12 (1): 1-7.
- 吴洪宝, 吴蕾. 2005. 气候变率诊断和预测方法 [M]. 北京: 气象出版社, 209-225. Wu Hongbao, Wu Lei. 2005. Climate Variability Diagnosis and Prediction Methods [M] (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 209-225.
- 杨荆安, 陈正洪. 2002. 三峡坝区区域性气候特征 [J]. 气象科技, 30 (5): 292-299. Yang Jing'an, Chen Zhenghong. 2002. The climatic features in Three Gorges Dam area [J]. Scientia Meteorologica Sinica (in Chinese), 30 (5): 292-299.
- 叶殿秀, 邹旭恺, 张强, 等. 2008. 长江三峡库区高温天气的气候特征分析 [J]. 热带气象学报, 24 (2): 200-204. Ye Dianxiu, Zou Xukai, Zhang Qiang, et al. 2008. An analysis of climatic characteristics of high temperature in the three Gorges area [J]. Journal of Tropical Meteorology (in Chinese), 24 (2): 200-204.
- 于玉斌, 陈联寿, 杨昌贤. 2008. 超强台风“桑美”(2006)近海急剧增强特征及机理分析 [J]. 大气科学, 32 (2): 406-416. Yu Yubin, Chen Lianshou, Yang Changxian. 2008. The features and mechanism analysis on typhoon Saomai (2006) over rapid intensity change of super the offshore of China [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 32 (2): 406-416.
- 张存杰, 王宝灵, 刘德祥, 等. 1998. 西北地区旱涝指标的研究 [J]. 高原气象, 17 (4): 381-389. Zhang Cunjie, Wang Baoling, Liu Dexiang, et al. 1998. Research on drought and flood indices in the Northwest China [J]. Plateau Meteorology (in Chinese), 17 (4): 381-389.
- 张强, 万素琴, 毛以伟, 等. 2005. 三峡库区复杂地形下的气温变化特征 [J]. 气候变化研究进展, 1 (4): 165-167. Zhang Qiang, Wang Shuqin, Mao Yiwei, et al. 2005. Characteristics of temperature changes around the Three Gorges with complex topography [J]. Advances in Climate Change Research (in Chinese), 1 (4): 165-167.