

# 厄尔尼诺/拉尼娜事件对长江流域气候的影响研究

张冲<sup>1</sup>, 赵景波<sup>1,2</sup>

(1. 陕西师范大学 旅游与环境学院, 陕西 西安 710062;

2. 中国科学院 地球环境研究所 黄土与第四纪地质国家重点实验室, 陕西 西安 710075)

**摘要:** 通过对长江流域近 60 a 来气象资料 and 自然灾害资料的搜集和整理, 从金沙江/雅砻江水系、岷沱江水系、上游干流区间、嘉陵江水系、乌江水系、汉江水系、洞庭湖水系、鄱阳湖水系和中下游干流区间等 9 个不同的区域研究了厄尔尼诺/拉尼娜(El Niño—Southern Oscillation, ENSO) 事件对长江流域气候的影响。通过对降水量、气温、自然灾害事件等气候因子与 ENSO 事件的特征进行对比统计分析得出, ENSO 事件对长江流域降水量和气温的影响十分显著。厄尔尼诺事件年大多表现为温度升高和降水减少, 且发生干旱灾害的概率升高。拉尼娜事件年一般表现为降水增多, 洪涝灾害发生率相对增加。建国 60 a 来长江两次全流域性特大洪涝灾害都发生在厄尔尼诺事件向强拉尼娜事件转换年。厄尔尼诺事件对长江流域气候的影响要强于拉尼娜事件。2009—2010 年的 ENSO 事件气象条件与 1998 年发生大洪水时的气象条件状况极其相似, 2010—2011 年和以后强 ENSO 冷暖事件转换年长江发生全流域性大洪水的可能性大, 一定要做好气象监测和气象灾害防治。

**关键词:** ENSO; 长江流域; 降水量; 温度; 气象灾害

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2011)03-0001-06

中图分类号: P732, P461<sup>+</sup> 2

## Effects of El Niño — Southern Oscillation Events on Climate in Yangtze River Basin

ZHANG Chong<sup>1</sup>, ZHAO Jing bo<sup>1,2</sup>

(1. College of Tourism and Environment, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi 710062, China;

2. State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology, Environmental Institute of Earth, Xi'an, Shaanxi 710075, China)

**Abstract:** Based on the meteorological and natural disaster data in the Yangtze river basin during the last 60 years, we studied the influence of El Niño—Southern Oscillation(ENSO) events on the climate in the nine subbasins or regions of the Yangtze river basin including Jinshajing/ Yalongjiang river, Mintuojiang river, upstream of Yangtze river. Statistical analysis of the relationships between climate factors( precipitation, temperature, natural disaster events etc.) and the ENSO event clearly showed that they had significant impacts on the precipitation and temperature in Yangtze river basin. Most El Nino events or years were warmer and drier with an increased probability of drought. Most La Nina events or years were cooler and wetter with an increased probability of flooding. The whole basin flood disasters happened twice during the past 60 years, both of which occurred in the years transiting from El Nino events to La Nina events. El Nino had more significant and stronger influences on the climate than did La Nina. The meteorological conditions of the ENSO event during 2009—2010 was similar to those of 1998 during which a huge flood occurred. During 2010—2011 and the ensuing transition from the El Nino event to the La Nina event, it is more likely for the whole basin flooding to occur. For better preparedness, weather monitoring and prevention measures must be strengthened.

**Keywords:** ENSO; the Yangtze River basin; precipitation; temperature; meteorological disaster

近年来, 全球气候变化异常, 主要表现为极端气象灾害事件的频发, 因此, 对极端气象灾害事件的研

究成为科学界的一大热点。1998 年我国长江流域发生全流域性特大洪水, 其面积之广, 持续时间之长都

收稿日期: 2010-09-26

修回日期: 2010-11-24

资助项目: 教育部人文社会科学重大项目“西北典型地区水环境”(05JJD770014); 中国科学院黄土与第四纪地质国家重点实验室项目(SKLLQG0814)

作者简介: 张冲(1987—), 男(汉族), 陕西省泾阳县人, 硕士研究生, 研究方向为环境评价与治理。E-mail: zhangchongchong@stu.snnu.edu.cn.

通信作者: 赵景波(1953—), 男(汉族), 山东省滕州市人, 教授, 博士研究生导师, 研究方向为第四纪与自然地理。E-mail: zhaobjb@snnu.edu.cn.

是历史上罕见的。此次大水灾不仅给自然环境造成极大破坏,而且给人们的生活带来了不可估量的损失。有研究表明,厄尔尼诺/拉尼娜事件对太平洋副热带高压和东南亚季风环流都有显著的影响,且影响方式、强度和持续的时间都表现出一定的区域性特点<sup>[1-5]</sup>。我国多数地区是典型的季风气候区,ENSO 正是通过影响季风环流进而影响我国的气候。前人虽然对 ENSO 事件进行过不少研究,但针对 ENSO 事件对我国长江全流域地区的影响研究较少。本文将对长江流域不同地区降水量、气温、旱涝灾害事件与 ENSO 事件之间的关系进行分析,以求对预测该地区气候变化和气象灾害起到积极的作用。

本文降雨量和气温数据来源于“中国气象科学数据共享服务网”中公布的长江流域核心气象资料。其中,金沙江/雅砻江水系、岷沱江水系、上游干流区间、嘉陵江水系、乌江水系、汉江水系、洞庭湖水系、鄱阳湖水系和中下游干流区间的气象数据分别来源于所在地区从 1951—2009 年的全部 103 个站点的年平均监测资料;气象灾害数据来源于《中国三千年气象记录总集》<sup>[6]</sup>、《中国气象灾害大典》<sup>[2]</sup>和“中国气象科学数据共享服务网”中对金沙江/雅砻江水系、岷沱江水系、上游干流区间、嘉陵江水系、乌江水系、汉江水系、洞庭湖水系、鄱阳湖水系和中下游干流区间进行描述

的资料统计。ENSO 事件资料来源于《厄尔尼诺》<sup>[1]</sup>专著中的统计数据 and “中国气象科学数据共享服务网”中收集的全球统一的观测数据。

## 1 近 60 a 来 ENSO 事件发生和变化的特征

### 1.1 近 60 a 来 ENSO 事件的确定与统计

根据前人的研究成果可知,ENSO 事件的发生总是与全球性的海温变化和气候异常联系在一起<sup>[7-9]</sup>。人们往往都选取海温距平值和气候特征值来作为判定其强弱标准。由于 ENSO 事件在不同区域的表现和范围存在差别,再加上变化的跨年性特点,选用的资料在区域和时间上也就存在一定差异,所以,目前对 ENSO 事件强度的划分依然不太统一。本文在划分时把海温距平值高于或低于正常值超过 2 个季度(6 个月以上)的年份划分为 El Niño 年和 La Nina 年,并根据海温距平值的高低将厄尔尼诺年强弱程度按照强(3)、中等(2)、弱(1),拉尼娜年按照强(-3)、中(-2)、弱(-1)和正常年(0)的标准将 ENSO 事件分为不同的等级。由此可以确定,在统计的 59 a 中(1951—2009 年),有 20 a 为 ENSO 暖事件年,有 16 a 为 ENSO 冷事件年,其它的 23 a 为正常年份(表 1—2)。

表 1 厄尔尼诺事件发生年

发生年	结束年	延续月数	等级	最强年月	El Niño 事件年	发生年	结束年	延续月数	等级	最强年月	El Niño 事件年
1950	1951	9	1	195101	1951	1991	1992	18	2	199111	1991
1952	1953	12	1	195304	1953	1993	1993	9	2	199311	1993
1957	1958	15	2	195712	1957—1958	1994	1994	9	2	199411	1994
1963	1963	9	1	196311	1963	1997	1998	15	3	199712	1997
1965	1966	15	2	196512	1965	2002	2003	12	1	200212	2002
1972	1972	12	3	197211	1972	2004	2005	12	1	200501	2004—2005
1976	1976	9	1	197610	1976	2006	2007	9	1	200612	2006
1982	1983	15	3	198302	1982—1983	2009	2010	10	3	200912	2009
1986	1987	18	3	198710	1987						

表 2 拉尼娜事件发生年

发生年	结束年	延续月数	等级	最强年月	La Nina 事件年	发生年	结束年	延续月数	等级	最强年月	La Niña 事件年
1954	1956	30	-3	195510	1954—1956	1975	1975	12	-3	197512	1975
1962	1963	9	-1	196212	1962	1984	1985	12	-1	198501	1984—1985
1964	1964	9	-1	196404	1964	1988	1989	12	-3	198811	1988
1967	1968	15	-2	196811	1968	1995	1996	12	-1	199511	1995
1970	1971	21	-2	197012	1970	1998	2000	21	-3	200001	1999—2000
1973	1974	18	-3	197401	1974	2007	2008	9	-3	200712	2007

## 1.2 近 60 a 来 ENSO 事件发生和变化的特征

1.2.1 近 60 a 来 ENSO 事件发生的概率 在 1951—2009 年的 59 a 中共有 20 个 El Niño 年(暖事件年),发生概率为 0.34;有 16 个 La Niña 年(冷事件年),发生概率为 0.27;其余的 23 a 为正常年份。

根据统计这 59 a 中每个季节发生 ENSO 事件的次数可知,春季 El Niño 事件发生 6 次,夏季发生 7 次,秋季发生 3 次,冬季发生 1 次;而春季发生 La Niña 事件 2 次,夏季发生 5 次,在秋季发生 5 次,冬季没有发生<sup>[10]</sup>。由此可以看出,ENSO 事件主要发生在春夏两季,结束于秋冬两季。

1.2.2 滑动趋势线拟合的近 60 a 来 ENSO 事件发生的强度特征 为了更好地研究 ENSO 事件发生和变化的特征,本文对其强度进行了滑动趋势线拟合(图 1)。由图 1 表明,近 60 a 来 ENSO 事件呈现出起伏波动的特点,且 1980 年以后波动趋势更为剧烈,厄尔尼诺事件在近 60 a 来的发生强度要大于拉尼娜事件发生强度,这主要是气候变暖的影响;厄尔尼诺事件的发生具有一定的周期,大约为 2~7 a 出现 1 次<sup>[8-10]</sup>。厄尔尼诺事件有 1982—1983 年,1997—1998 年和 2009 年 3 个高峰,拉尼娜事件的高峰为 1954—1955 年,2000 年前后和 2007 年。

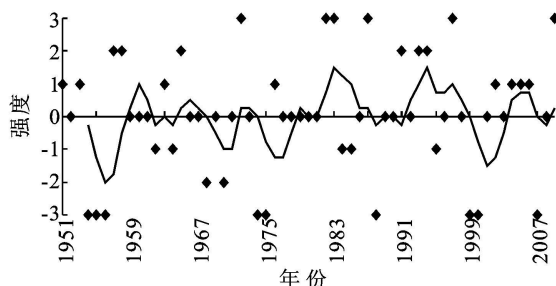


图 1 ENSO 事件发生强度与滑动趋势线拟合关系

## 2 长江流域近 60 a 来降水量的变化与 ENSO 事件的关系

### 2.1 长江流域近 60 a 来降水量的变化特征

通过对长江流域各水系从 1951—2009 年的气象数据分析可知,金沙江/雅砻江水系、岷沱江水系、上游干流区间、嘉陵江水系、乌江水系、汉江水系、洞庭湖水系、鄱阳湖水系和中下游干流区间这 9 个区域 59 a 来的面平均降水量呈现出起伏波动的特点。根据多项式拟合趋势线(图 2),20 世纪 50,60 年代降水偏多,只有金沙江/雅砻江水系、乌江水系、洞庭湖水系和鄱阳湖水系在 20 世纪 90 年代到 21 世纪初的前几年降水量有增多的趋势,其余大多数区域降水分配状况很不均匀且从 70 年代开始至今持续减少;洞庭

湖水系、鄱阳湖水系大部分地区年降水量可达 1 200 mm 以上,在长江中下游平原等地降水量甚至超过 1 800 mm,为我国降水最丰富的地区之一;但在长江上游水系和汉江水系区域降水量普遍在 800 mm 左右,有的甚至只有 600 mm。

### 2.2 降水量与 ENSO 事件之间的关系

通过对长江流域地区近 60 a 来降水量和 ENSO 事件强度 6 次多项式拟合获得了两者变化的趋势线(图 2)。该趋势线显示除嘉陵江水系以外,其它 8 个区域的降水量和 ENSO 事件强度存在明显的负相关关系,即 ENSO 事件增强时降水量下降,ENSO 事件减弱时降水量上升,且降水量的变化存在一定的滞后性。以往的研究表明,ENSO 暖事件年降水量明显减少<sup>[11-16]</sup>。在统计的 20 次 ENSO 暖事件年中,有 13 a 降水量偏低,剩余年份降水量趋于正常或稍有增加。冷事件年降水量变化趋势不明显,16 次 ENSO 冷事件年中有 8 a 降水量稍有增加,8 a 趋于正常。统计的 20 次暖事件之后的下一年有 10 次降水量明显增加或达到最高,而只有 1966,1977 年降水较少,其余 8 a 为降水正常年份,表明暖事件结束之后的下一年降水量常常增多。通过进一步分析发现,建国 60 a 来长江两次全流域性特大洪涝灾害都发生在厄尔尼诺事件向强拉尼娜事件转换年。如 1954 年发生的全流域性大洪水是 1953 年的厄尔尼诺事件向 1955 年强拉尼娜事件转换的年份,1998 年发生的全流域性大洪水也同样是 1997 年的强厄尔尼诺事件向 1999 年强拉尼娜事件转换的年份。区域性洪水发生在厄尔尼诺事件年的频率要大于拉尼娜事件年中的频率,这主要是受到局部地区降水集中的影响。

1954 年长江发生的全流域性大洪水,是建国以来最严重的洪涝灾害。1998 年是继 1954 年以来的又一次全流域性大洪水<sup>[17-18]</sup>,该次大洪水与 1997 年爆发的百年来最强的厄尔尼诺事件有密切的关联,厄尔尼诺事件过程中不仅带来了强大暖湿空气,还使得长江流域大部地区 1998 年春都在强大的副热带高压控制之下,直到 1998 年春末,紧随着厄尔尼诺转换为拉尼娜事件又迫使应当按期北移的副热带高压在长江流域与北方南下的冷空气相遇,同时,在拉尼娜事件影响下,夏季风减弱不能向北移动而使得雨带在长江流域长期停滞,带来了夏、秋季持续的全流域性大暴雨,引起各水系洪峰在长江干流叠加,造成了严重的洪涝灾害。根据大洪水发生规律,在长江流域的气象、水文特征与 1954 年或 1998 年十分相似时,即强厄尔尼诺事件年向拉尼娜事件年转换时,长江发生流域性大洪水的可能性会增加,局部的暴雨洪水及其引发的洪涝灾害更是不可低估的。

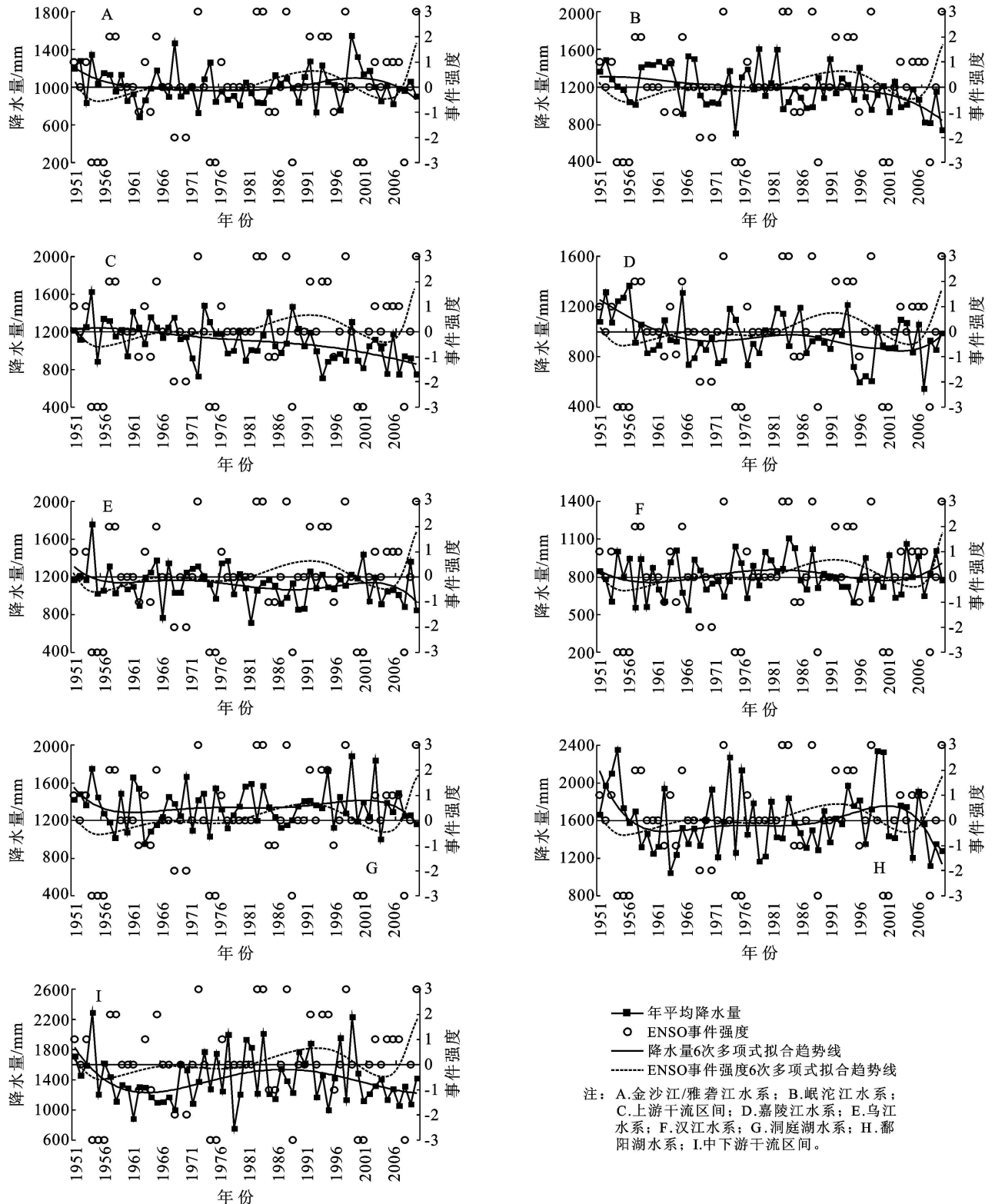


图 2 长江流域 9 个区域近 60 a 来降水量变化趋势与 ENSO 事件发生强度的关系

### 3 长江流域近 60 a 来年均温与 ENSO 事件的关系

#### 3.1 长江流域近 60 a 来气温的变化特征

通过对长江流域气温数据(图 3)分析可知,该区

近 60 a 来年均温变化明显。由多项式拟合结果可以看出,除乌江水系、嘉陵江水系外,20 世纪 50 年代到 80 年末期趋势线在平均值以下,90 年代初至今趋势线在平均值以上,表明 20 世纪 50—80 年代末温度偏低,90 年代初至今温度较高,总体趋势呈现出明显的

波动上升特点。1998, 2006, 2007 和 2009 年增温幅度最大, 在除乌江水系之外的长江流域其余 8 个区域都表现出年均温距平均接近或超过了 1 °C, 其中鄱

阳湖流域和中下游干流区间这 2 个地区的增温幅度甚至超过了 1.5 °C, 2007 年达到了 60 a 来最高的距平值 1.7 °C。

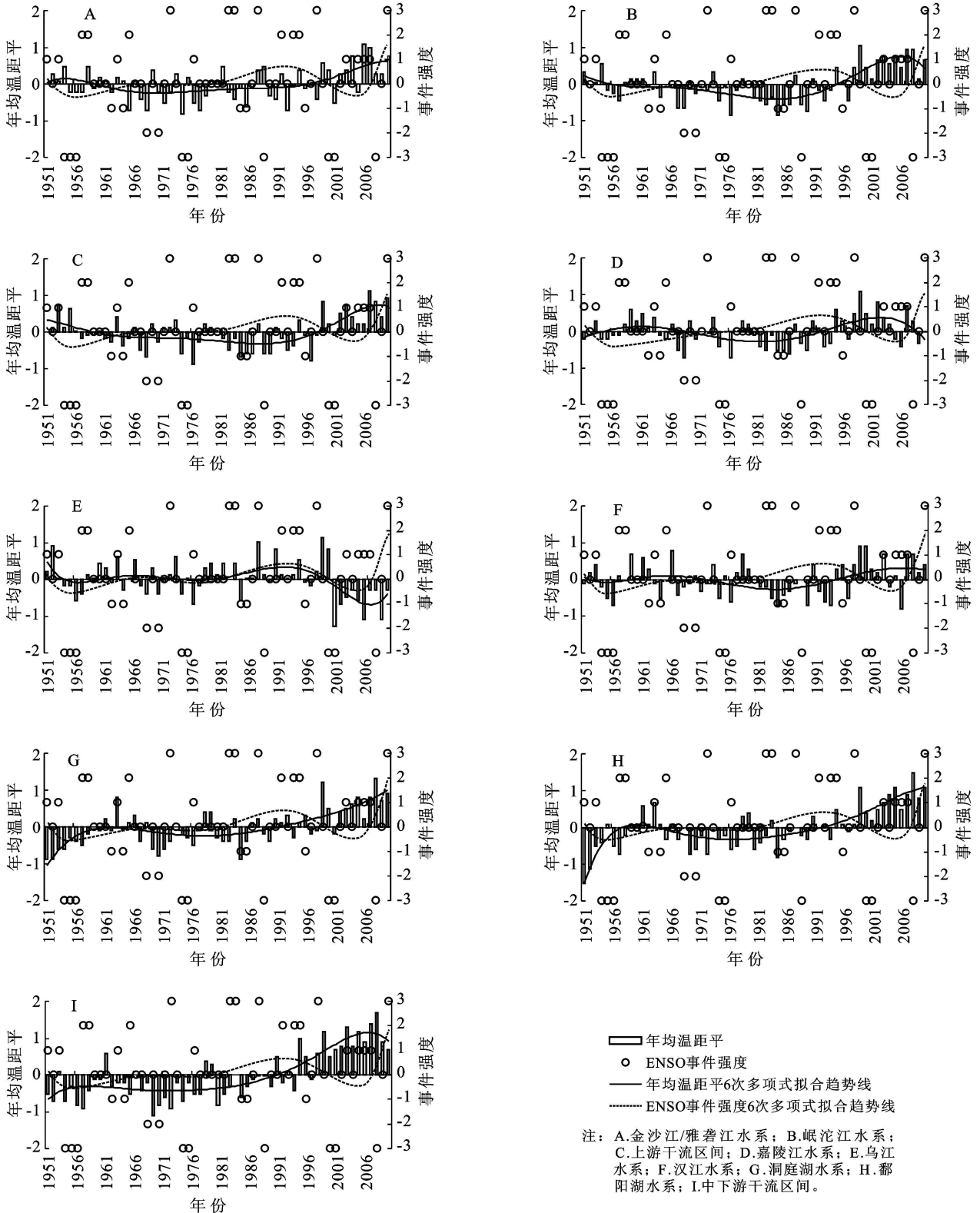


图 3 长江流域 9 个区域近 60 a 来气温变化趋势与 ENSO 事件发生强度的关系

### 3.2 长江流域气温与 ENSO 之间的关系

由 ENSO 事件强度和年均温关系可知(图 3),除乌江水系外,长江流域 8 个地区在气温偏低的 20 世纪 50—80 年代末期之间发生的 11 次厄尔尼诺年均温虽然也在平均值以下,但仍比正常年分略有偏高;在气温偏高时期的 20 世纪 90 年代初至今发生的 9 次厄尔尼诺年中以保持稳定和偏高为主,表明 ENSO 事件对长江流域温度的升高起到了一定的推动作用<sup>[19-20]</sup>。在发生厄尔尼诺事件的 1998, 2006, 2007 和 2009 年气温的增加最为突出,年均温距平也达到了 1℃,这与全球变暖趋势相吻合,并对气候变暖起到推动作用。拉尼娜事件的发生对长江流域各地气温的降低起到了一定的推动作用,特别是在发生强拉尼娜事件的次年,各地气温的降低更为明显,如 1954—1956 年持续时间长达 3 a 的拉尼娜事件使长江流域大部地区的年均温明显降低,有的甚至偏低达 1℃以上;1974—1975 年发生强拉尼娜事件也使 1976 年的气温明显偏低。虽然在 20 世纪 90 年代至今,长江流域的气候主要以增温为主,但拉尼娜事件也使增温的幅度明显减弱。如 1999—2000 年发生的强拉尼娜事件也使 1999 年高达 1℃以上的正距平值在 2000 年明显降低甚至达到了负距平,降温的幅度高达 1℃甚至更多;同样,2007 年底的强拉尼娜事件使 2008 年初长江流域中上游地区发生了大面积雨雪冰冻灾害。

## 4 长江流域近 60 a 来气象灾害的发生与 ENSO 事件的关系

根据历史记载资料<sup>[2,6]</sup>统计分析,做出了金沙江/雅砻江水系、岷沱江水系、上游干流区间、嘉陵江水系、乌江水系、汉江水系、洞庭湖水系、鄱阳湖水系和中下游干流区间 9 个区域气象灾害与 ENSO 事件概率分布(附图 1)。结果表明,ENSO 事件对高低温灾害作用要大于对洪涝灾害的作用,厄尔尼诺年发生气象灾害的概率要大于拉尼娜年灾害发生概率。ENSO 事件对高低温灾害影响最严重的是洞庭湖水系和鄱阳湖水系,灾害发生的概率高达 75% 以上;对高低温灾害影响最弱的是嘉陵江水系,发生概率小于 35%。ENSO 事件对旱涝灾害的影响在中下游干流区间、鄱阳湖水系和洞庭湖水系影响最大,发生概率都在 60% 以上;对嘉陵江水系的影响最弱,发生概率为不足 25%,这是因为嘉陵江主要流经四川盆地地区,是特殊的盆地气候造成的。

## 5 结论

(1) 60 a 来,长江流域 ENSO 事件的发生呈现出

波动变化的特点,且 1980 年以后波动趋势更为剧烈。在 60 a 来厄尔尼诺事件发生强度要大于拉尼娜事件发生强度,这主要是气候变暖的影响。

(2) ENSO 事件对长江流域降水量的影响表现十分明显,特别是在洞庭湖水系和鄱阳湖水系影响最为突出。厄尔尼诺事件常常使降水量明显减少,拉尼娜事件常使长江流域降水量有所增加,且都存在一定滞后性,建国 60 a 来长江两次全流域性特大洪涝灾害都发生在厄尔尼诺事件向强拉尼娜事件转换年。

(3) ENSO 事件对长江流域气温的影响明显,强度要大于对降水量的影响。厄尔尼诺事件常使长江流域气温明显升高,拉尼娜事件常造成长江地区气温降低,对增温有显著减弱作用。

(4) ENSO 事件对长江流域各地高低温灾害作用都要大于对洪涝灾害的作用,厄尔尼诺年高、低温和旱涝灾害发生概率都要大于拉尼娜年灾害发生概率,对洞庭湖水系和鄱阳湖水系的气象灾害影响最强,对嘉陵江水系影响最弱是由于四川盆地特殊的气候条件影响。

### [参 考 文 献]

- [1] 翟盘茂,李晓燕,任福民.厄尔尼诺[M].北京:气象出版社,2003:1-23.
- [2] 温克刚,翟佑安.中国气象灾害大典[M].北京:气象出版社,2005:10-30.
- [3] Kiladis G N, Diaz H F. Global climate anomalies associated with extremes in the southern oscillation [J]. Climate, 1989(2):791-802.
- [4] Ropelewski C F, Halpert M S. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño southern oscillation[J]. Monthly Weather Review, 1987, 115(8):1606-1626.
- [5] Ropelewski C F, Halpert M S. Precipitation patterns associated with the high index phase of the southern oscillation[J]. Climate, 1989(2):268-284.
- [6] 张德二.中国三千年气象记录总集[M].江苏南京:江苏教育出版社,2000:3647-3660.
- [7] 李晓燕,翟盘茂. ENSO 事件指数与指标研究[J]. 气象学报, 2000, 58(1): 102-109.
- [8] 王绍武,龚道溢. 百年来的 ENSO 事件及其强度[J]. 气象, 1999, 25(1): 8-13.
- [9] 李晓燕,翟盘茂,任福民. 气候标准值改变对 ENSO 事件划分的影响[J]. 热带气象学报, 2005, 21(1): 72-78.
- [10] 许武成,马劲松,王文. 关于 ENSO 事件及其对中国气候影响研究的综述[J]. 气象科学, 2005, 25(2): 212-220.

(下转第 11 页)

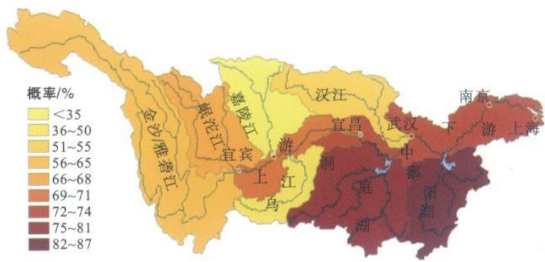
## [ 参 考 文 献 ]

- [ 1 ] 中华人民共和国建设部. CJJ17-2004 城市生活垃圾卫生填埋技术规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2004.
- [ 2 ] Kelly L M, Danielle N G, Richard J W. Evapo-transpiration covers: An innovative approach to remediate and close contaminated sites[J]. Remediation Winter, 2003, 14(1): 55-67.
- [ 3 ] Schnabel W, Lee W, Barnes D L. A numerical simulation of evapotranspiration cover performance at three cold-region locations[C] // World water and environmental resources congress Anchorage, Alaska, USA, 2005.
- [ 4 ] Wayllace A, Likos W J. Numerical modeling of artificial soil as an evapotranspirative cover[C] // Proceedings of the fourth international conference on unsaturated soils, Carefree, Arizona, USA. 2006: 646-657.
- [ 5 ] Weand H V, Gill M. Natural covers for landfill and buried waste[J]. Journal of Environmental Engineering, 2001, 127: 768-775.
- [ 6 ] Forman A D, Anderson J E. Design and performance of four evapotranspiration caps [J]. Pract. Periodical of Haz., Toxic, and Radioactive Waste Mgmt., ASCE, 2005, 9(4): 263-272.
- [ 7 ] 王康, 周祖昊, 王富庆. 蒸发覆盖垃圾填埋场渗沥水控制试验及活性区域模型模拟[J]. 武汉大学学报: 工学版, 2008, 41(2): 32-36.
- [ 8 ] Dwyer S F. Water balance measurements and computer simulations of landfill covers [D]. Albuquerque: The University of New Mexico Albuquerque, New Mexico, 2003.
- [ 9 ] 陆海军, 栾茂田, 张金利. 垃圾填埋场传统封顶和 ET 封顶的比较研究[J]. 岩土力学, 2009, 30(2): 509-514.
- [ 10 ] 张文杰, 邱战洪, 朱成仁, 等. 长三角地区填埋场 ET 封顶系统的性能评价[J]. 岩土工程学报, 2009, 31(3): 384-389.
- [ 11 ] Yang Q L, Yang Q, Zhang J L, Luan M ao T. Numerical analysis of moisture transport in evapo-transpiration landfill cover with capillary barrier[J]. Electronic Journal of Geotechnical Engineering, 2009, 14(K): <http://www.ejge.com/2009/JourTOC14K.htm>.
- [ 12 ] Knisel W, Crems A. A field scale model for chemicals, runoff and erosion from agricultural management systems[R]. Department of Agriculture, Conservation Research Report, 1980: 640-641.
- [ 13 ] Warrick A W. Soil water dynamics[M]. New York: Oxford University Press, 2003.
- [ 14 ] El-Kadi A I. Validity of the generalized Richard's equation for the analysis of pumping test Data for a coarse-material aquifer [J]. Vadose Zone Journal, 2005, 4: 196-205.
- [ 15 ] Lehmann F, Ackerer P H. Comparison of iterative method for improved solutions of the fluid flow equation in partially saturated porous media[J]. Transport in Porous Media, 1998, 31(3): 275-292.
- [ 16 ] 王玲玲, 邹耀仁, 隋洪起. 对大连历年汛期起止日期的客观判定[J]. 气象, 2000, 26(3): 12-15.

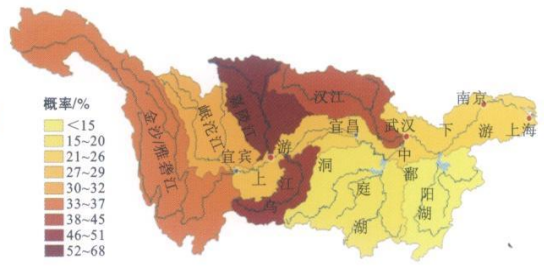
(上接第6页)

- [ 11 ] 夏冬冬, 施能, 陈绿文. 1948—2000 年 ENSO 事件与全球陆地年降水量的关系[J]. 南京气象学院学报, 2003, 26(3): 333-340.
- [ 12 ] 臧增亮, 包军, 赵建宇, 等. ENSO 对东亚夏季风和我国夏季降水的影响研究进展[J]. 解放军理工大学学报: 自然科学版, 2005, 6(4): 394-398.
- [ 13 ] 龚道溢, 王绍武. ENSO 对中国四季降水的影响[J]. 自然灾害学报, 1998, 7(4): 44-52.
- [ 14 ] 丁一汇. 中国的气候变化与气候影响研究[M]. 北京: 海洋出版社, 1997: 27-38.
- [ 15 ] Chao J P, Chao Q C, Liu L. The ENSO events in the tropical pacifle and dipole events in the Indian Ocean[J]. Acta Meteorologica Sinica, 2006, 20(2): 223-321.
- [ 16 ] Wang S W, Zhu J H, Cai J N, et al. Reconstruction and analysis of time series of ENSO for the last 500 years[J]. Progress in Natural Science, 2004, 14(12): 1074-1079.
- [ 17 ] 孙建华, 赵思雄. 1998 年夏季长江流域梅雨期环流演变的特殊性探讨[J]. 气候与环境研究, 2003, 8(3): 294-306.
- [ 18 ] 刘芸芸, 丁一汇. 西北太平洋夏季风对中国长江流域夏季降水的影响[J]. 大气科学, 2009, 33(6): 1225-1237.
- [ 19 ] 何丽, 吴宜进, 但长军. 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.
- [ 20 ] 曾小凡, 翟建青, 苏布达, 等. 长江流域年平均气温的时空变化特征[J]. 长江流域资源与环境, 2009, 18(5): 274-31.

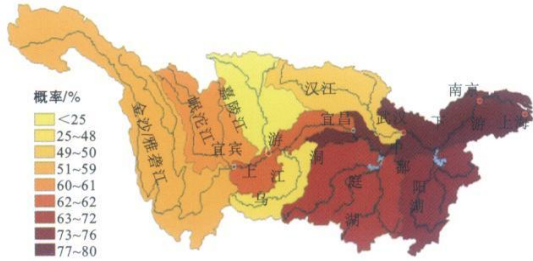




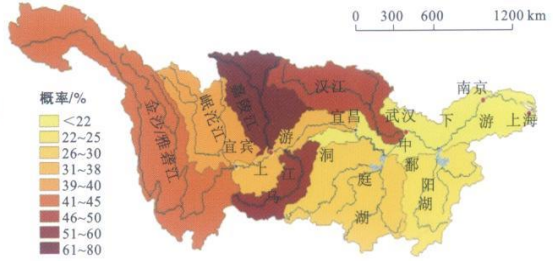
a ENSO事件年高低温灾害概率



b ENSO事件转换年高低温灾害概率

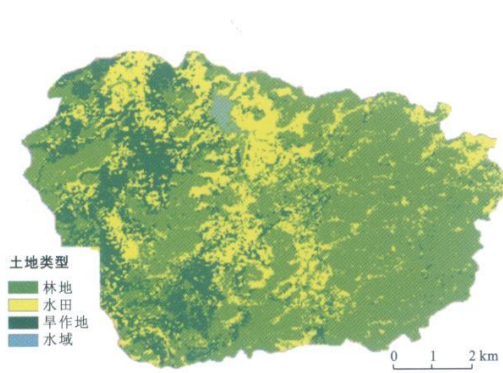


c ENSO事件年旱涝灾害概率

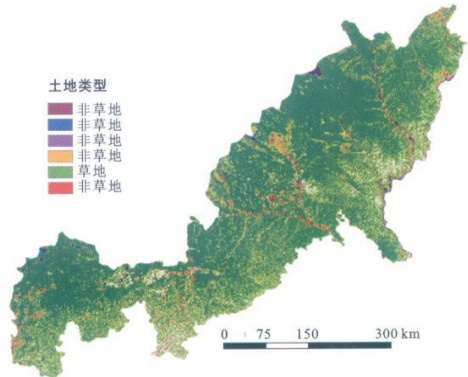


d ENSO事件转换年旱涝灾害概率

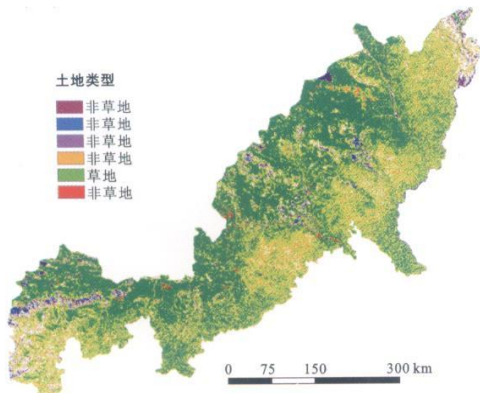
附图1 ENSO事件年和ENSO事件转换年气象灾害概率分布



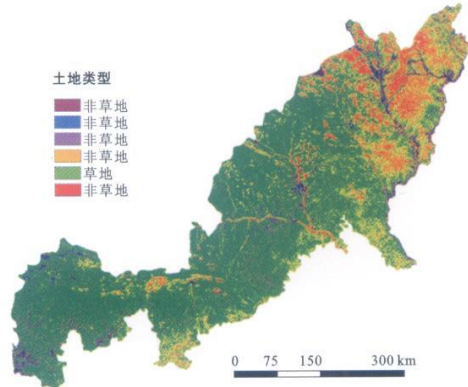
附图2 流域空间配置优化情景土地利用图



附图3 陕北农牧交错带1990年草地退化现状



附图4 陕北农牧交错带2000年草地退化现状



附图5 陕北农牧交错带2006年草地退化现状