

## 中国旱涝时空分布特征分析\*

叶敏 钱忠华 吴永萍†

(扬州大学物理科学与技术学院, 扬州 225002)

(2013年1月10日收到; 2013年3月9日收到修改稿)

基于帕尔默干旱指数 (Palmer drought severity index, PDSI) 中国数据库和中国 160 个站点的月降水资料, 运用趋势分析、对比分析和 EOF 等方法, 对 1961—2010 年间中国旱涝时空演化特征进行了分析. 结果表明: 春季的 PDSI 的年代际空间分布特征与 PDSI 的年代际空间分布特征相似; 夏季和秋季的 PDSI 的地区差异比较明显, 尤其是秋季更为明显. 从时间演化上来看, 中国华北、东北、西南地区的变干趋势较明显, 另外变湿比较明显的区域为西北西部. 对 1961—2010 年夏季的 PDSI 进行经验正交函数 (EOF) 分析, 可以发现, 20 世纪 80 年代以来, 中国夏季干旱和洪涝更加频繁, 且旱涝强度也增加, 尤其是华北、西南、东北地区的干旱和华东地区的洪涝.

关键词: PDSI, 干旱, 洪涝, EOF

PACS: 92.70.Kb

DOI: 10.7498/aps.62.139203

## 1 引言

中国幅员辽阔, 季风气候显著, 降水分布不均匀, 干旱和洪涝成为中国常见的自然灾害. 长期持续的干旱和突发性洪涝常常会对中国工农业生产和国民经济造成很严重的损失. 此外, 随着全球变暖, 气温升高, 干旱和洪涝的问题日益突出. 由于 PDSI 是描述旱涝的主流指标, 其物理意义明确, 综合了水分亏缺量以及持续因子等对干旱程度的影响, 而且考虑了前期的天气气候条件, 有较好的时空比较性<sup>[1]</sup>. PDSI 在旱涝事件的分析上应用很广泛. Dai 和 Trenberth 利用 PDSI 计算了 1900—1995 年干、湿带的全球变化<sup>[2]</sup>. Bell 等人利用 PDSI 分析美国中部 1993 年夏季特大洪涝月份土壤的潮湿程度<sup>[3]</sup>.

国内对旱涝分析也有一些进展. 张永等利用 PDSI 全球数据库, 提取覆盖中国西北地区的 56 个 PDSI 格点数据, 对中国西北地区季节间干湿变化的时空分布进行了分析<sup>[4]</sup>. 卫捷等完成了 PDSI 在华北干旱分析中的应用, 并得出 PDSI 对干旱和洪涝都有很好的指示作用<sup>[5]</sup>的结论. 黄荣辉等<sup>[6,7]</sup>研

究了中国旱涝灾害的年代际变化及其与东亚气候系统变化的关系, 结果表明从 1976 年之后迄今中国华北地区发生持续干旱, 并且长江、淮河流域洪涝灾害频繁发生, 这与东亚气候系统的年代际密切相关. 马柱国等<sup>[8,9]</sup>对中国北方进行了分析, 认为 20 世纪 80 年代以来, 西北东部和华北以干旱化趋势为主要特征, 西北西部当前正处在一个相对湿的时段, 但温度的升高削弱了这种变湿趋势. 李维京等<sup>[10]</sup>也指出西北地区近 50a 降水变化趋势为: 20 世纪 60 年代到 80 年代前期降水稍偏少, 变幅较小, 80 年代后期以来, 降水趋于增加; 华北地区降水总趋势是减少. 龚志强, 封国林等<sup>[11]</sup>发现 20 世纪末期华北和江淮流域发生时间上同步、空间上尺度较大的极端干旱事件的概率较高. 为了更好地了解近 50a 来, 中国地区的旱涝时空分布特征, 本文根据戴爱国计算的 PDSI 逐月数据, 分析中国旱涝的年代际空间分布变化, 并分不同区域来研究旱涝的时间演化情况.

## 2 资料

本文所用的资料为 1961—2010 年中国 160 个

\* 国家自然科学基金 (批准号: 40930952)、国家重点基础研究发展计划 (批准号: 2012CB955902, 2013CB430204) 和公益性行业科研专项 (批准号: GYHY201106016) 资助的课题.

† 通讯作者. E-mail: wuy1888@sina.com

站的降水平均资料、戴爱国计算的全球 1850—2010 年 PDSI 逐月资料,选择 1961 年以来 50a 中国地区的数据,分析中国的干旱程度或湿润程度.帕尔默干湿等级划分标准见表 1.

表 1 帕尔默干湿等级表

PDSI	等级类型
$\geq 4.00$	极端湿润
3.00—3.99	严重湿润
2.00—2.99	中等干旱
1.00—1.99	轻微湿润
0.99—0.99	正常
-1.00—-1.99	轻微干旱
-2.00—-2.99	中等干旱
-3.00—-3.99	严重干旱
$\leq -4.00$	极端干旱

### 3 结果与分析

#### 3.1 PDSI 与降水距平百分率的计算结果分析

鉴于 1998 年长江中下游地区和东北出现特大洪涝,而 2009 年和 2010 年西南地区出现特大干旱且持续时间很长.本文选择 1998, 2009, 2010 年这三个典型年,分析了 1, 4, 7 和 10 月(分别代表春夏秋冬四季) PDSI 和降水距平百分率的空间分布.

图 1 为 1998 年 1,4,7,10 月的降水距平百分率的空间分布图. 1 月,河套大部分地区、新疆中部、云南西部以及淮河以南的中国东部地区的降水量

相对比较多,部分地区的降水量甚至翻倍.而东北地区地区和西藏地区的降水量相对较少,尤其是西藏的部分地区,降水量减少了半成以上. 4 月,东北地区和西藏地区降水量仍然偏少,新疆西部、内蒙古东部、河套、淮河以及长江中下游地区降水量偏多. 7 月,东北小部分地区和西藏部分地区的降水量减少半成以上,降水量偏多的地区与春季降水量偏多的地区类似,长江中下游的降水量尤其偏多. 10 月,中国西部除西藏东部和新疆中部以外地区降水量都减少了近一半,达到了大旱;而中国东部除华南南部和内蒙古东部及与黑龙江交界处达到大涝外,其他地区的降水量明显减少了.

图 2 为 1998 年 1,4,7,10 月的 PDSI 的空间分布图. 1 月,西北东部地区的东南部、西南地区的北部以及辽宁省的 PDSI 都小于 -4,即极端干旱.而西藏中部、长江中下游和华南地区比较湿润. 4 月,干旱地区的旱情有所减缓,西藏中部的湿润地区有所扩大,而长江中下游和华南地区的湿润范围有所减小. 7 月,全国干旱的地区进一步减缓,不仅干旱程度降低,大部分干旱地区的 PDSI 在 -1 到 -3 之间,而且干旱面积与春季相比有所减小.全国的降雨量增多,长江中下游、华南西部、西南地区和西藏地区的交界区域、西北西部和内蒙古都偏湿, PDSI 均大于 1,这些地区的中心区域的 PDSI 均大于 4. 10 月,华北、西北东部、西南地区的干旱面积扩大,尤其是华北地区,干旱程度加深, PDSI 小于 -4.而中国东北、西北西部和西藏地区均呈现出湿润的状态.

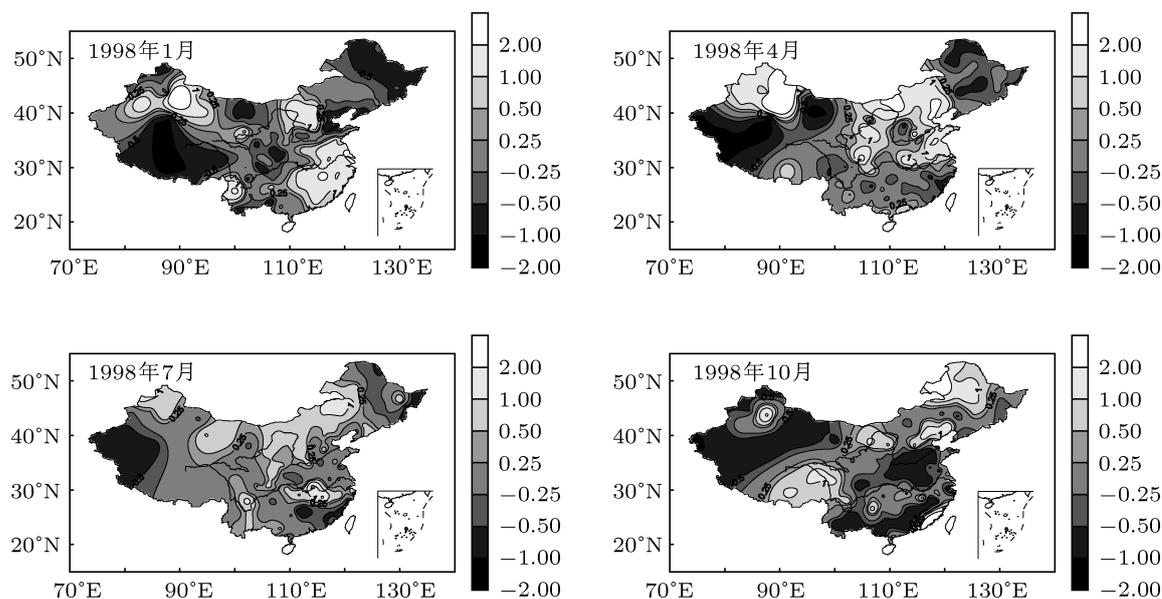


图 1 1998 年 1,4,7,10 月的降水距平百分率的空间分布图

图3为2009年7,10月和2010年1,4月的降水距平百分率的空间分布图. 2009年夏季, 全国偏旱, 尤其是东北、新疆西部、西藏、内蒙古西部、宁夏和重庆. 10月, 干旱程度逐渐加深, 降水量减少了近半成的区域增多, 包括西北东部、华北、华东、华南以及西南南部. 2010年1月, 西藏、宁夏、山西地区的降水量减少50%以上, 西南南部的干旱面积扩大至整个西南地区, 淮河地区的降水量依然偏少.

而华北的东北部的降水量翻了两倍以上, 此外广东广西的降水量也比常年有所增加. 2010年4月, 全国的降水量都有明显增加, 西南地区的降水量在同时期较常年变化不大, 即降水量正常, 然而西南地区的干旱程度并没有达到正常, 这与黄荣辉等<sup>[12]</sup>研究2009年秋至2010年春西南严重干旱总体特征中指出的西南地区严重干旱从2009年9月开始一直延续到2010年4月是一致的.

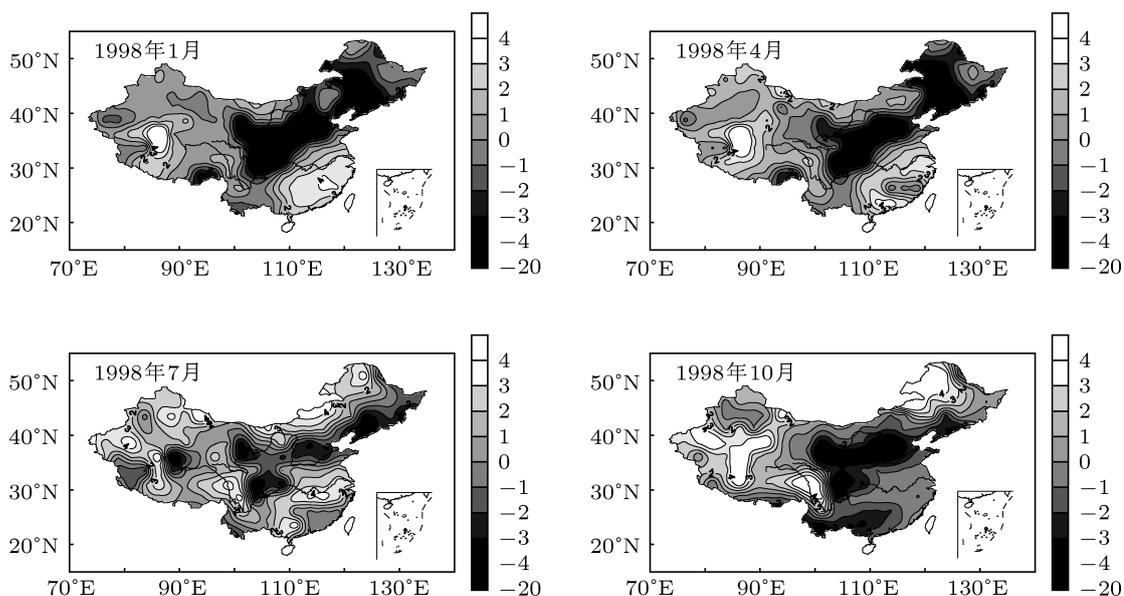


图2 1998年1,4,7,10月的PDSI的空间分布图

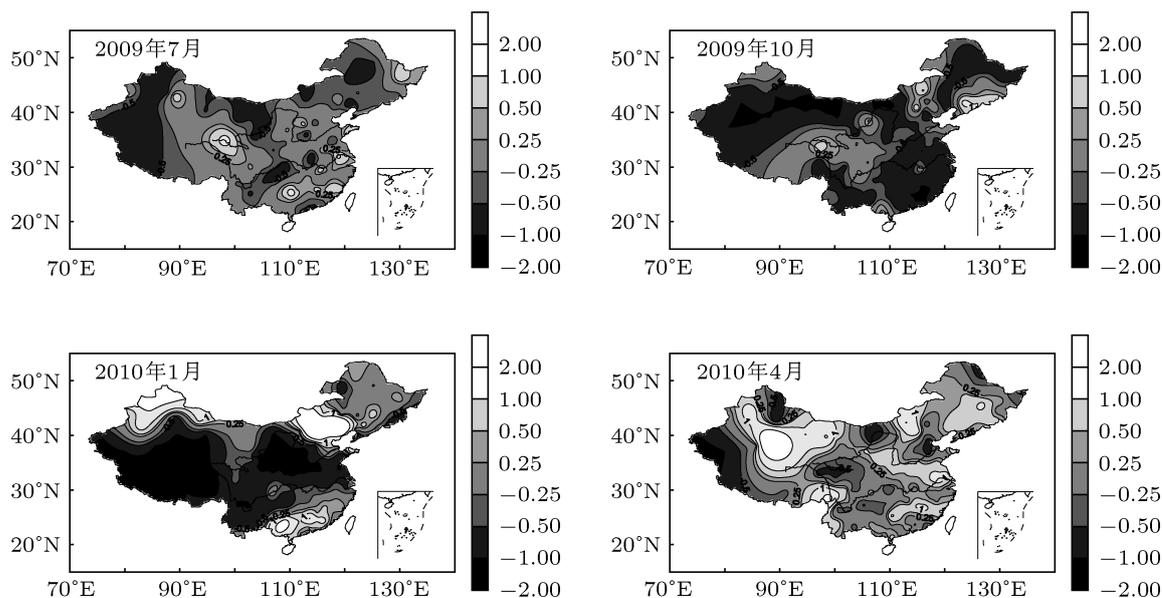


图3 2009年7,10月和2010年1,4月的降水距平百分率的空间分布图

图4为2009年7、10月和2010年1、4月的PDSI的空间分布图。2009年7月,全国的干旱区域主要集中在中国北方,包括华北、内蒙古、吉林、辽宁,向南延伸至重庆和四川南部。黑龙江的PDSI在1到3之间,偏湿润。西部地区中部的PDSI大于4,为极端湿润,而西藏的南部偏旱。2009年10月,干旱的面积扩大,程度加深,即PDSI的值小于-4,达到极端干旱,主要表现在四川、云南、贵州,另外重庆、广西、广东也出现了中度干旱。2010年1月,华北地区的干旱已经有所减缓,PDSI的值降到了-2到-3之间,即中等干旱,而西南地区的干旱愈加严重,干旱面积也逐渐扩大。东南沿海地区出现了轻微湿润。2010年4月,全国的旱情并没有减缓,尤其是西南地区,PDSI仍小于-4,因此可以得出干旱持续的时间。而东南沿海的湿润程度加深,PDSI的值增加了。新疆、青海的PDSI的值大于4,即极端湿润。

因为PDSI不仅考虑了降水量的变化,而且考虑了气温、土壤贮水量(前期气候状况)、蒸发量等因素,另外实际蒸散的估算还涉及了土壤有效持水量和径流两个因素,因而可以更加全面地描述旱涝。从图1,图3与图2,图4的比较中,我们也可以看到PDSI可以更好地描述干旱,尤其是干旱持续的时间。例如,2009年和2010年西南地区的持续干旱,用降水距平百分率分析就不能反映干旱持续的时间;2010年春季西南地区的旱情没有减缓,而降水距平百分率的分析中西南却不干旱;相反,PDSI更好地描述西南干旱。因为考虑到前期气候状况,如果前期土壤的贮水量比较小,而径流量大,即使降水量增加,干旱程度也不一定能够得到减缓。另外,在降水量增加的情况下,如果气温升高,则蒸发量增加,干旱程度不一定就能够得到减缓。因此,用PDSI描述旱涝更为准确。本文接下来采用PDSI分析中国地区的旱涝时空分布特征。

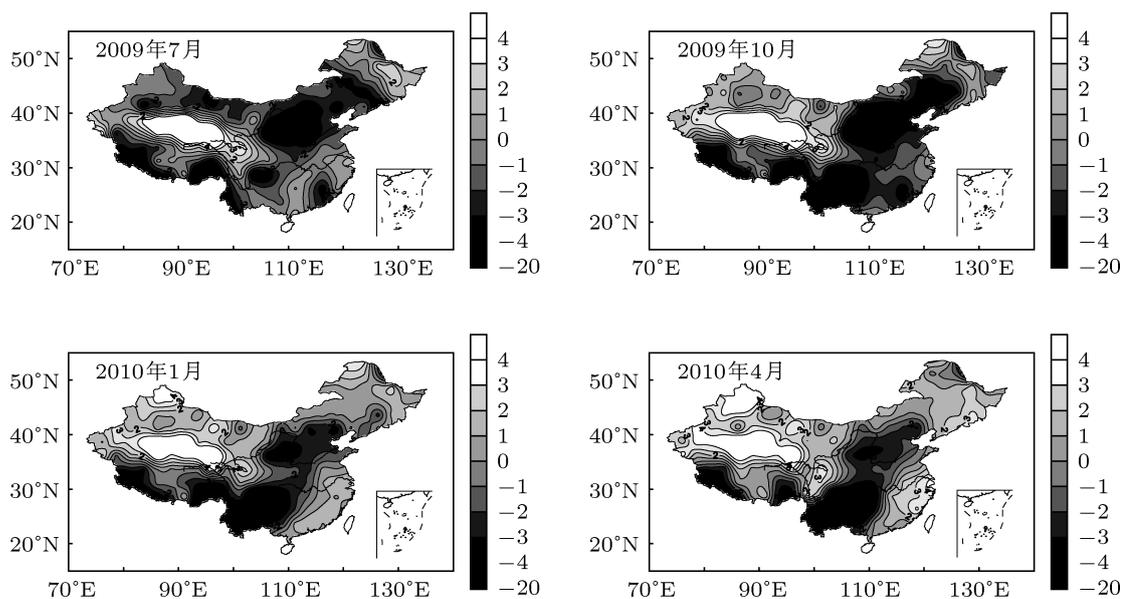


图4 2009年7、10月和2010年1、4月的PDSI的空间分布图

### 3.2 中国地区PDSI空间分布特征分析

图5为1961—2010年间各年代PDSI平均值的空间分布。从年代际变化来看,中国华北、东北、西南地区以及西北东部的部分地区总体上都处于一个干旱化的过程中。1991—2010年间,中国东北和华北大部分地区的PDSI在-1到-3之间,即处于轻微干旱或中等干旱。尤其在(113°E, 125°E; 40°N, 45°N)的范围内,基本上都是中等干旱或严

重干旱,部分地区出现了极端干旱。另外,从1961到2010年,整个中国地区的干旱区域在逐渐扩大。具体表现为1981—1990年,华北地区开始出现干旱,到20世纪,东北、华北、西南地区出现了干旱,并形成空间上的干旱带。与此相反,西北地区的西部由1961—1970年的轻微干旱到1981—1990年的正常,至2001—2010年已有部分地区出现了轻微湿润,个别地区达到严重湿润,这种变化可能是由于西风带的影响。中国旱涝之所以出现如此的

年代际变化,可能与海温的年代际变化有关,黄荣辉<sup>[6]</sup>等的研究表明从20世纪70年代中后期迄今,热带中、东太平洋海温上升,并出现类似于厄尔尼诺(El Niño)型分布的年代际海温距平;这不仅引起了东亚和西太平洋上空EAP型遥相关环流异常分布的年代际变化,使得从1976年之后迄今东亚夏季风变弱、西太平洋副热带高压偏南、偏西,而且引起了热带Walker环流的变化;由于热带Walker环流年代际变化,引起了从20世纪70年代中后期到现在北非上空下沉气流的加强,从而使得萨赫勒及以东地区上空反气旋环流异常增强,并由于遥相关波列的传播,从而导致中国华南上空反气旋环流距平的增强;此外,中高纬度欧亚型遥相关环流异常分布也发生了年代际变化,使得1976年之后中国华北地区上空出现反气旋环流异常.这些使得到达华北的偏南季风气流减弱和长江、淮河流域水汽输送的辐合,从而导致了我国旱涝的年代际变化.

不同季节PDSI的年代际分布特征分析表明:春季(图6)和冬季(图9)的PDSI的年代际分布相

似.夏季(图7)和秋季(图8)的PDSI年代际变化的空间差异更为明显,尤其是秋季.具体来看,中国夏季(图7)西北地区在60年代到70年代从轻微干旱向轻微湿润过渡,到80年代,西北西部部分区域出现了严重湿润,90年代至21世纪,西北地区的湿润面积逐渐变大,尤其是西北西部地区.中国华北地区在80年代之前没有出现比较严重的干旱,从80年代出现严重干旱以来,华北地区的干旱范围越来越大,干旱程度也越来越严重.长江中下游附近,在7月份基本上都会呈现出湿润,80年代和90年代较为明显,而到了21世纪,长江中下游的PDSI已处于-1到1的正常范围内.中国西南干旱在90年代的空间分布图上开始体现,主要表现在云南,到21世纪,西南干旱的区域向西边扩展,涉及到四川、贵州、广西的部分区域.从2001年以来的PDSI的空间分布图上可以看到,中国华北、东北、西南都已经逐渐干旱化,并且逐渐出现干旱带,从东北一直到西南.而西北东部有变湿的趋势,变湿的范围也在逐渐扩大.

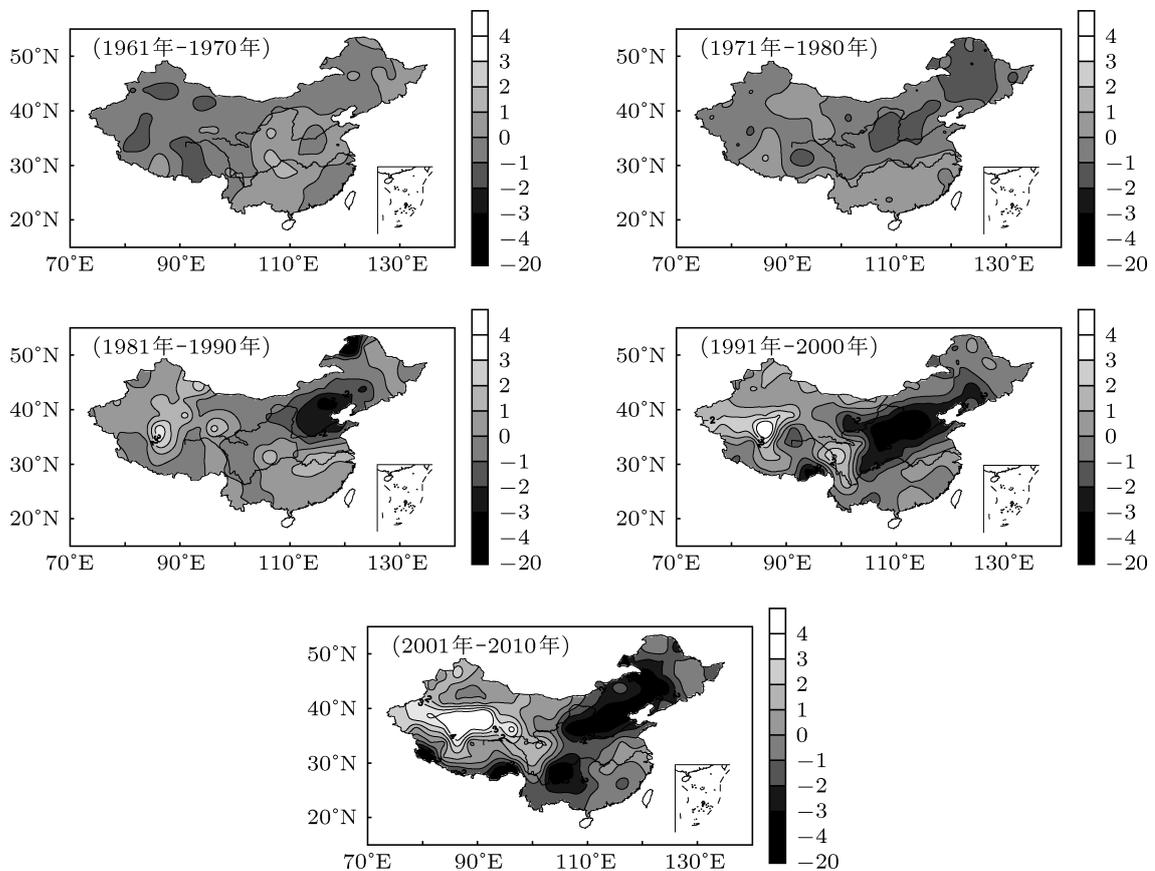


图5 1961—2010年的PDSI年代际的空间分布图

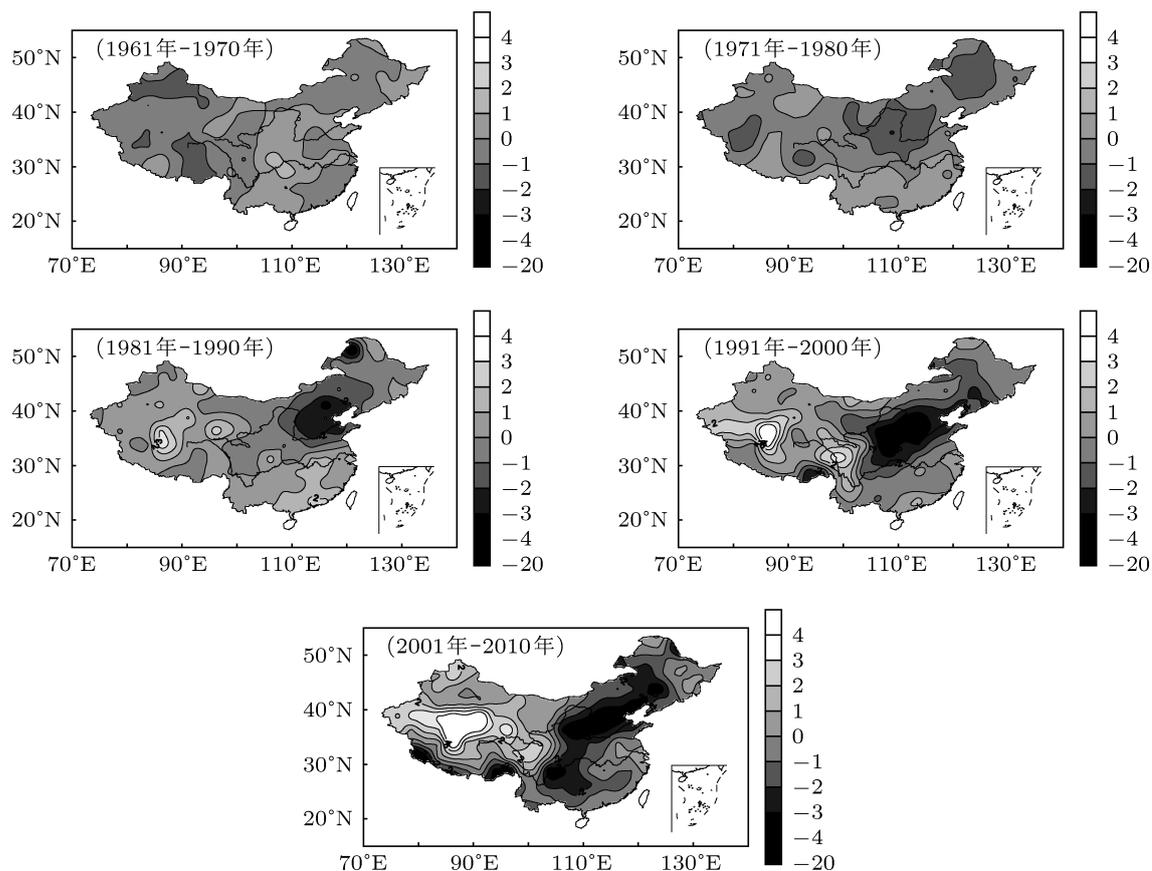


图6 1961—2010年春季的PDSI年代际分布图

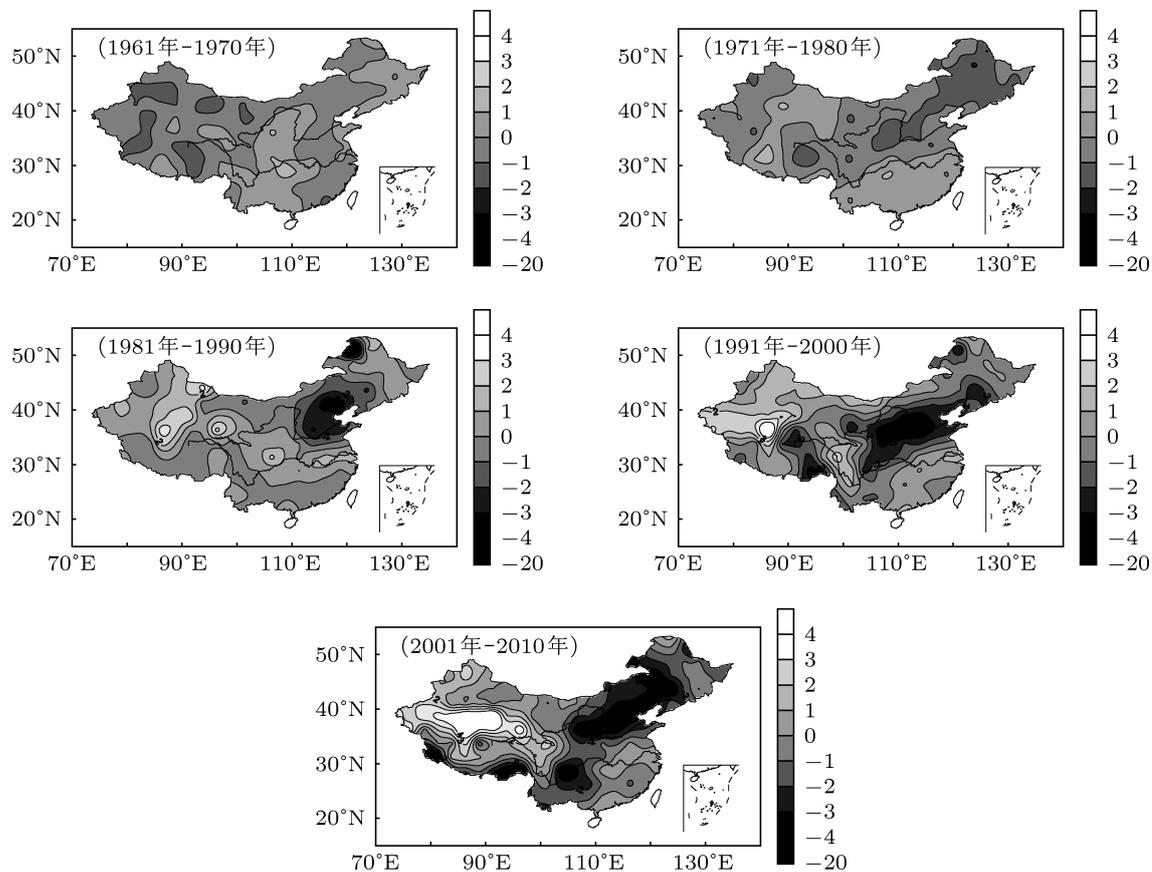


图7 1961—2010年夏季的PDSI年代际空间分布图

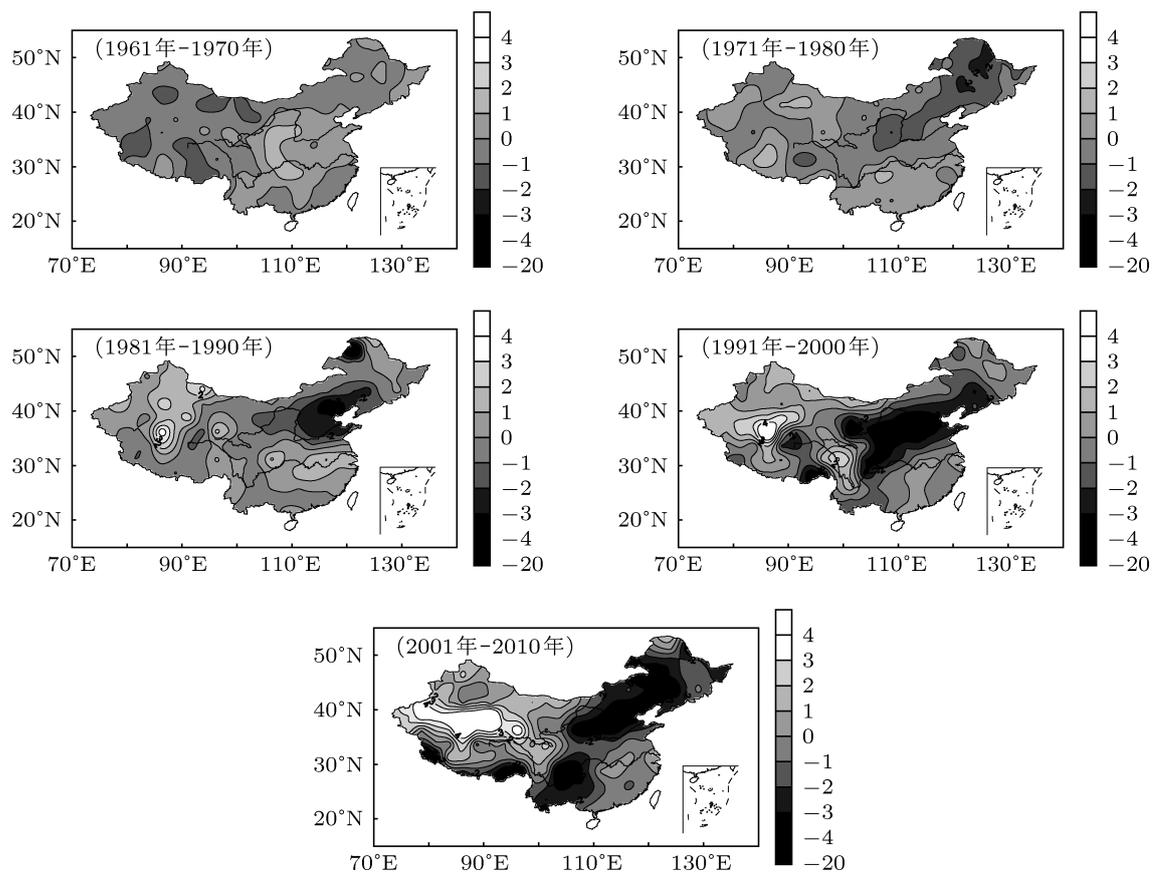


图8 1961—2010年秋季的PDSI年代际空间分布图

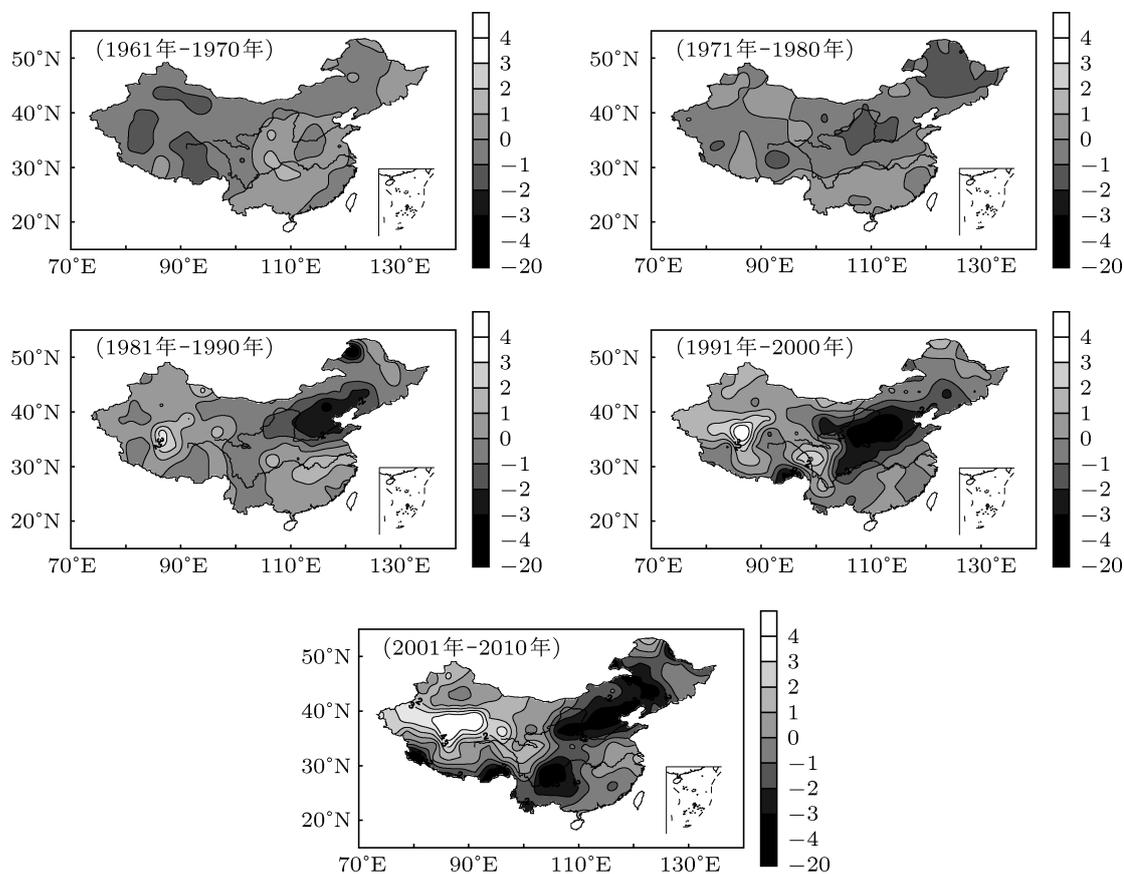


图9 1961—2010年冬季的PDSI年代际空间分布图

秋季(图 8)总体的干旱和洪涝的分布与夏季的类似,但干旱呈现得更明显;中国秋季华南地区在 21 世纪以来,也出现了轻微干旱,小部分区域出现了中等干旱.这在春季(图 6)和冬季(图 9)也有所体现.夏季之所以没有体现出轻微干旱的迹象,主要可能是因为 7 月份是长江中下游的梅雨季节,降雨相对比较多.

### 3.3 中国地区 PDSI 时间演化趋势分析

为了进一步分析中国及各典型区域旱涝的时间演化趋势,根据文献 [13] 把中国划为 8 个分区(图 10): 东北、华北、西北东部、西北西部、西南、华东、华南、西藏地区.

如图 11 至图 19 为八个区域的年平均帕尔默干旱指数随年变化曲线及拟合线性趋势线.由此得到各个区域近 50 a PDSI 的变化趋势即倾向率,其中华北、西南、东北、华南、华东的倾向率为负,表现为变干,但是华南和华东变干的趋势很不明显,倾向率分别只有  $-0.085/10a$ ,  $-0.00769/10a$ ; 而华

北、西南、东北变干的趋势都相对比较明显,分别为  $-0.5941/10a$ ,  $-0.5075/10a$ ,  $-0.3275/10a$ . 另外变湿的区域分别为西北西部、西北东部、和西藏,倾向率分别为  $0.8129/10a$ ,  $0.0773/10 a$ ,  $0.0156/10a$ . 为了比较各个区域变化中升降的定量程度,并可对其进行统计检验,计算了气候趋势系数 [14-16], 表 2 给出了各个区域的倾向率和趋势系数. 下面按区域分别讨论.

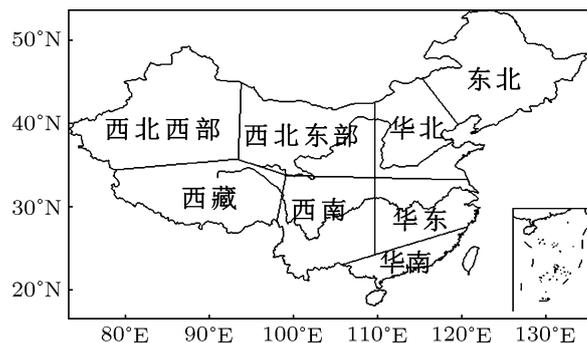


图 10 中国的分区图

表 2 各区域 50 年的倾向率和趋势系数

分区	华北	西南	东北	华南	华东	西北西部	西北东部	西藏
倾向率	$-0.59/10a$	$-0.51/10a$	$-0.33/10a$	$-0.085/10a$	$-0.0077/10a$	$0.81/10a$	$0.077/10a$	$0.016/10a$
趋势系数	$-0.651^{**}$	$-0.633^{**}$	$-0.428^{**}$	$-0.103$	$-0.108$	$0.783^{**}$	$0.153$	$0.0288$

\*\* 表示通过 0.01 的信度检验.

#### 3.3.1 华北地区

在变干的地区中,华北地区的年均 PDSI 的趋势系数为  $-0.651$ , 通过 0.01 的信度检验,因此有明显变干的趋势,其年均 PDSI 线性趋势拟合的系数为  $-0.59/10a$ , 因此华北地区(如图 11)变干的速率最快,且在 1965 年之前,年均 PDSI 达到 2.86, 华北地区洪涝灾害较多. 1966 年, 年均 PDSI 为  $-2.76$ , 出现过中等干旱. 自 1970 年以来, 年均 PDSI 一直小于 0, 1980 年左右出现第二次很严重的干旱, 持续时间为 10a 左右. 从 1995 年至 2010 年, 除 2005 年(年均 PDSI 变大, 但是仍然低于 0, 并且之后仍一直在下降) 华北地区基本处于中等干旱或严重干旱. 根据 5a 滑动平均可知, 华北地区干旱的年际和年代际变化均较明显, 年均 PDSI 从 1973 年到 1984 年呈直线下降趋势, 干旱程度有所加强, 至 1985 年, 年均 PDSI 达到极小值, 从 1991 年到 2002 年年均 PDSI 也呈近乎直线下降趋势, 干旱程度逐渐加强,

至 2002 年左右, 年均 PDSI 再次达极小值. 在整个 1960—2010 年间, 华北地区从开始干旱到严重干旱一般持续 10 a 左右. 有三次上升的情况, 第一次在 1969 年到 1973 年, 但没有超过 0, 第二次在 1984 年到 1991 年, 没有超过  $-1$ , 第三次在 2002 年到 2007 年, 甚至没有超过  $-1.5$ , 都属于轻微干旱.

#### 3.3.2 西南地区

西南地区的年均 PDSI 的趋势系数为  $-0.633$ , 通过 0.01 的信度检验, 因此有明显变干的趋势, 西南地区的年均 PDSI 线性趋势拟合的系数为  $-0.5075/10a$ , 变干的加强程度仅次于华北地区(图 12). 21 世纪之前, 西南地区的年均 PDSI 小于  $-1$  的只有 7a, 分别是 1963 年 ( $-1.01$ ), 1969 年 ( $-1.79$ ), 1979 年 ( $-1.06$ ), 1988 年 ( $-1.24$ ), 1993 年 ( $-1.59$ ), 1994 年 ( $-1.05$ ), 1999 年 ( $-1.07$ ), 并且这 7a 的年均 PDSI 均没有达到  $-2$  及以下, 所以均为轻微干旱. 而 2003 年以来, 西南地区的年均 PDSI 呈下降趋势,

从 2003 年的  $-1.7$  降到 2006 年  $-3.01$ , 干旱程度逐渐加强, 虽然 2007 年和 2008 年有所上升, 但 2009 年又开始下降. 到 2010 年, 西南地区的年均 PDSI 已经达到  $-3.6$ , 即严重干旱, 2010 年是西南地区自 1961 年以来最干旱的年份. 且此次干旱从 2003 年开始到 2010 年持续了 8 年, 持续时间较长. 另外, 其年际变化大, 年代际变化也很明显.

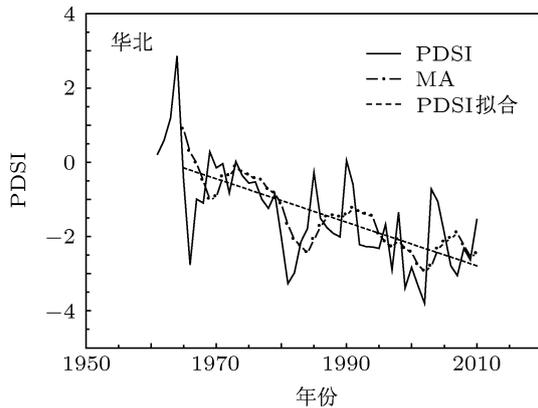


图 11 华北地区旱涝趋势图

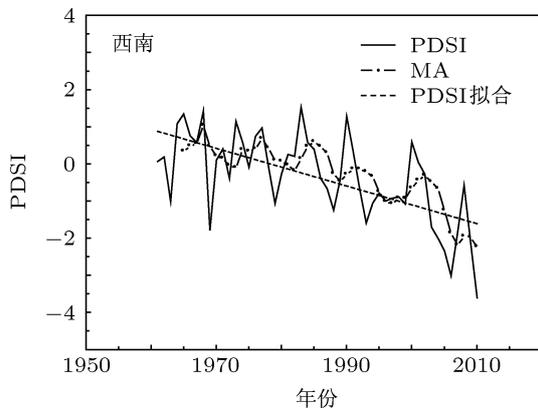


图 12 西南地区旱涝趋势图

### 3.3.3 东北地区

东北地区的年均 PDSI 的趋势系数为  $-0.428$ , 通过 0.01 的信度检验, 因此有明显变干的趋势, 东北地区的年均 PDSI 线性趋势拟合的系数为  $-0.3275/10a$ , 变干的加强程度位于第三位 (图 13). 1967 年和 1968 年, 东北地区发生轻微干旱. 1975 年到 1979 年, 东北地区的年均 PDSI 一直在下降, 到 1979 年, 年均 PDSI 达到  $-2.34$ , 该地区发生中等干旱, 此过程持续到 1982 年, 整个干旱过程持续了 8a 时间. 从 1983 年到 1997 年这 15 年间, 东北地区在 1989 年, 1996 年, 1997 年都发生了中等干旱. 21 世纪以来, 东北地区发生两次干旱, 分别是 2000

年到 2004 年的严重干旱, 因为 2001 年的年均 PDSI 为  $-3.15$ , 2002 年的 PDSI 为  $-3.39$ ; 以及 2006 年到 2008 年的中等干旱, 因为 2008 年的年均 PDSI 为  $-2.99$ . 从年均 PDSI 的 5 年滑动平均图上可知, 60 年代以来到 80 年代初期, 东北地区的 PDSI 呈下降趋势, 干旱程度加强; 从 80 年代初期到 80 年代末, PDSI 呈上升趋势, 旱情减缓; 80 年代末到 90 年代初期, PDSI 处于正常范围内; 90 年代中期到 21 世纪 00 年代中期, 干旱逐渐加强, 越来越严重; 2009 年和 2010 年旱情稍有缓解. 东北地区从干旱开始到干旱结束, 持续的时间一般为 5—8 年.

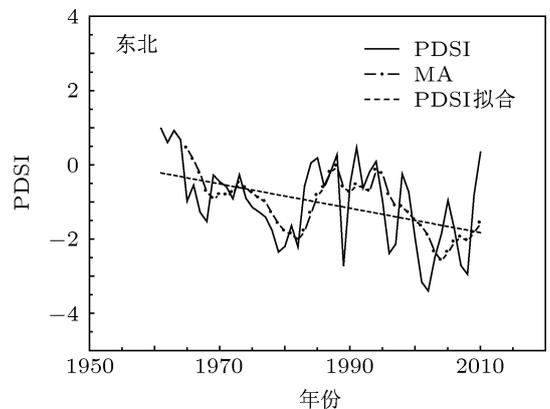


图 13 东北地区旱涝趋势图

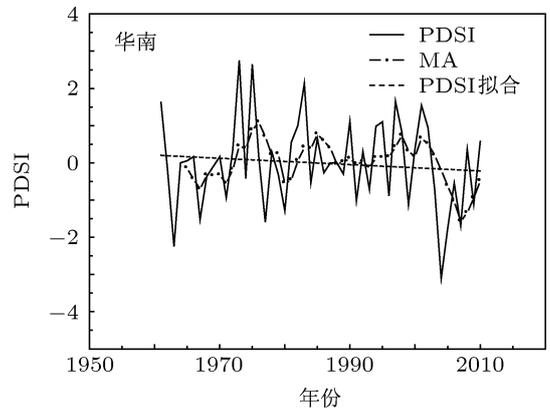


图 14 华南地区旱涝趋势图

### 3.3.4 华南地区

华南地区的年均 PDSI 的趋势系数为  $-0.103$ , 没有通过 0.01 的信度检验, 华南地区的年均 PDSI 线性趋势拟合的系数为  $-0.085/10a$ , 因此都说明了变干的加强趋势不明显. 从华南地区的时间演化趋势图 (图 14) 上可知, 1967 年, 1977 年, 1980 年, 1991 年, 1999 年, 华南地区均发生了轻微干旱, 中等干旱的年份为 1963 年, 华南地区严重干旱的年份为

2004年,从2004年开始到2009年,华南地区发生每隔一年就发生轻微干旱.华南地区的洪涝年份为1973年、1975年及1983年,轻微湿润为1997年左右及2000年左右.华南洪涝的持续时间一般为1a.从滑动平均图上可知,PDSI从1971年到1976年上升,从1976年到1981年下降,从1981年到1985年上升,从1985年到1989年下降,之后的到2001年都比较平缓,而从2001年到2007年,PDSI又开始下降,从2007年到2010年则稍有上升.华南地区的PDSI发生突变的周期一般为4到5a.

### 3.3.5 华东地区

华东地区的年均PDSI的趋势系数为 $-0.108$ ,没有通过0.01的信度检验,华东地区的年均PDSI线性趋势拟合的系数为 $-0.00769/10a$ ,因此都说明变干的加强趋势不明显.从华东地区的时间演化趋势图(图15)上可知,整体来说,华东地区的干旱不是很严重,发生中等干旱的年份为1979年和2004年,年均PDSI均在 $-3$ 到 $-2$ 之间,发生轻微干旱的年份为1968年和1978年,年均PDSI均在 $-2$ 到 $-1$ 之间.但是华东地区的洪涝相对于干旱而言是比较严重的,华东地区的洪涝主要发生在夏季,洪涝灾害很严重的时候会持续到秋季和冬季,甚至持续到次年的春季.

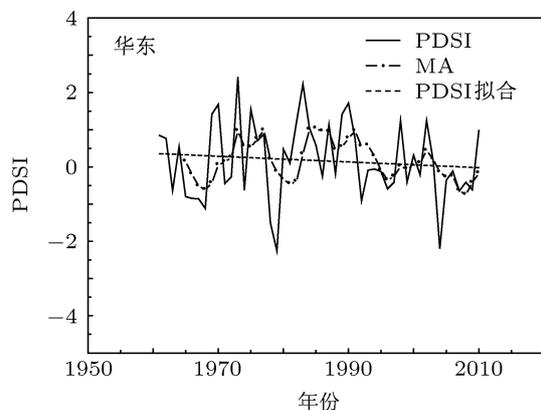


图15 华东地区旱涝趋势图

### 3.3.6 西北地区

西北西部地区的年均PDSI的趋势系数为 $0.783$ ,通过0.01的信度检验,另外,年均PDSI线性趋势拟合系数为 $0.8129/10a$ ,因此有明显变湿的趋势.从西北西部地区的时间演化趋势图(图16)上可知,西北西部比较干的年份为1961年,1962年,1965年,1968年和1985年.湿润的年份基本都是90年代以后.西北西部地区的干湿状况整体呈“湿—干—湿”,由湿润变干发生在70年代中期,而

由于变湿润发生在80年代中期,1985年的PDSI为 $-1.39$ ,而1988年的PDSI为 $3.57$ ,4a时间增加了 $4.96$ ,所以说由干变湿的变化很快.自1987年以来西北西部都处于偏湿的状况.

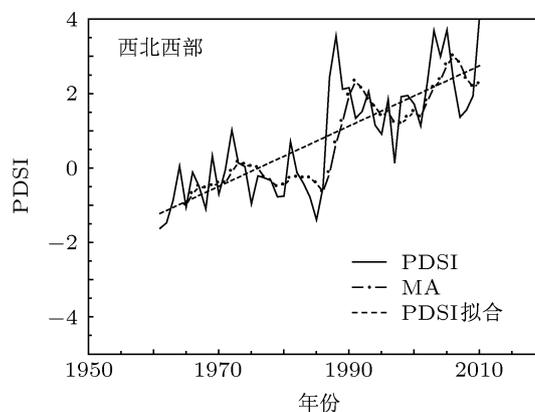


图16 西北西部地区旱涝趋势图

西北东部地区变湿的趋势不明显,年均PDSI线性趋势拟合系数为 $0.0773/10a$ ,趋势系数为 $0.153$ ,没有通过0.01的信度检验.从西北东部的年均PDSI随时间变化的图(图17)中可知,西北东部发生干旱的年份为1962年,1972年,1980年,1986年,1997年及1999年到2001年,其中2001年是西北东部相对比较干旱的一年.可以发现,西北东部发生干旱的时间间隔变短,持续时间变长.比较湿润的年份为1964年、1967年和2010年.

因为本研究所采用的PDSI数据没有考虑到降雪和冻土等的情况<sup>[17,18]</sup>,所以PDSI对西北地区的旱涝描述不是很到位,但整体的趋势状况还是比较符合的.此外,中国西北地区范围广阔,自东向西横跨约30个经度,其独特的地理位置形成了主要受中纬度西风扰动,亚洲季风 and 高原季风影响的气候格局<sup>[19,20]</sup>.

近50a来,在西北地区气温变化整体较为一致的背景之下,似乎水分成为影响区域干湿状况的主要因素;PDSI更多的是反映一个有效土壤湿度的指标,相对于温度、降水等单一指标,反映的信息更具社会利用价值;不过PDSI指数是来自美国的一个干旱指标,虽然目前在国际上已经较为广泛的使用,但是对于情况更为复杂的中国西北地区,必然存在一定的局限性,不能较好的反映较小区域的干湿状况信息<sup>[4]</sup>.不过Dai等计算的PDSI格点数据,可以很好的反映较大空间尺度上的干湿状况,我们的研究也表明了这一点.

### 3.3.7 西藏地区

西藏地区的变湿的趋势也不明显, 年均 PDSI 线性趋势拟合系数为 0.0156/10 a, 趋势系数为 0.0288, 没有通过 0.01 的信度检验. 比较湿润的年份为 1981 年和 1998 年. 比较干的时间段为 60 年代中期到 70 年代初期, 1984 年, 90 年代中期以及 2006 年到 2010 年, 持续时间为 5 a 左右. 西藏地区总体的干湿趋势是“干—正常—干”, 西藏地区的干旱基本为轻微干旱, 除 2009 年为中等干旱.

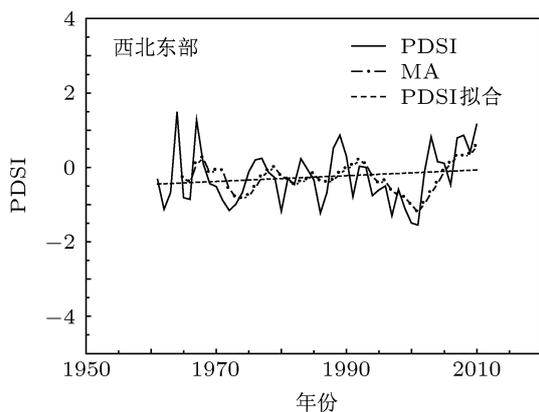


图 17 西北东部地区旱涝趋势图

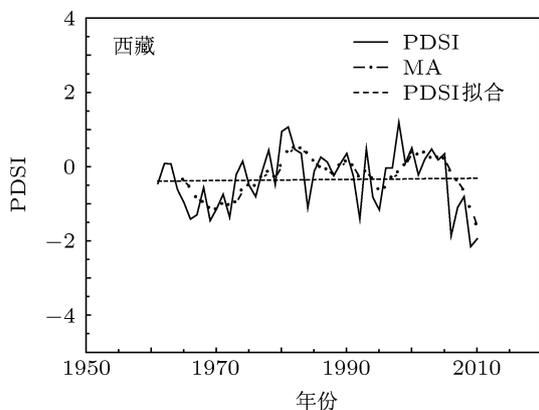


图 18 西藏地区旱涝趋势图

### 3.4 中国地区夏季 PDSI 的 EOF 经验正交函数分析

对中国夏季 PDSI 进行 EOF 分析. 由 EOF 展开第一特征向量的空间分布及对应的时间系数演变图表明 (图 19), 第一特征向量场的解释方差占总方差的 16.8%, 第一特征向量场主要反映 50 a 的平均情况, 华北、东北、西南的干旱和西北西部地区、华东、华南的洪涝情况.

由 EOF 展开第二特征向量的空间分布及对应的时间系数演变图表明 (图 20), 第二特征向量场的解释方差占总方差的 10.8%, 第二特征向量场主要反映以华南为代表的南方的旱涝情况以及以西北东部和东北为代表的北方的干旱情况. 旱涝发生最显著的年份在 2000 年左右.

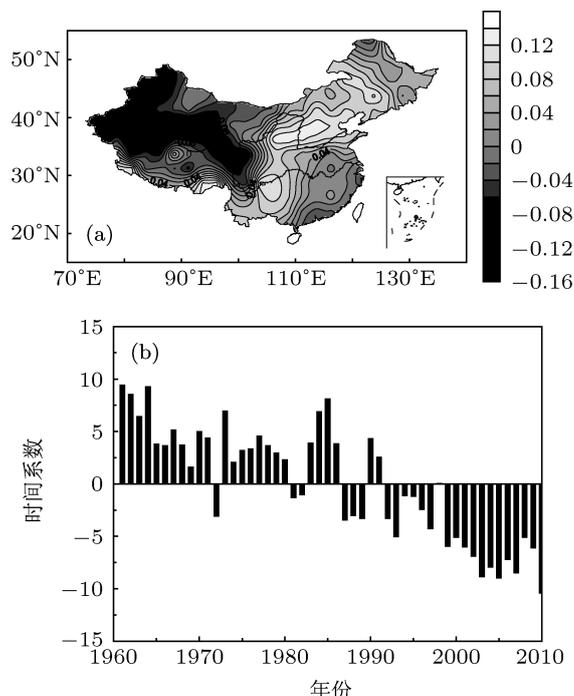


图 19 中国夏季 PDSI 的 EOF 分析第一特征向量场的空间分布 (a) 及对应的时间系数演变 (b)

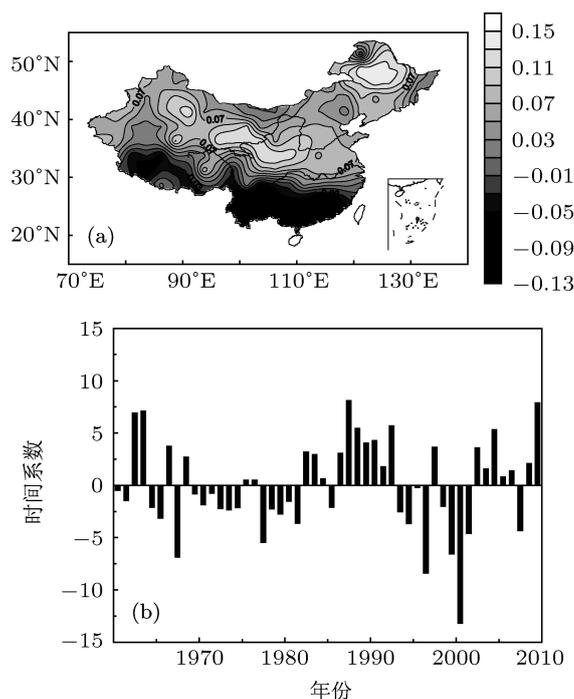


图 20 中国夏季 PDSI 的 EOF 分析第二特征向量场的空间分布 (a) 及对应的时间系数演变 (b)

## 4 结论

通过对中国地区的 PDSI 进行分析, 可得出如下结论:

首先, PDSI 综合考虑了多种影响旱涝的因子和水平衡的过程, 对于中国干旱和洪涝都有很好的指示意义. 虽然目前在国际上已经较为广泛的使用, 但是对于情况更为复杂的中国西北地区, 必然存在一定的局限性. 此外, 从空间尺度上来看, 中国的干旱和洪涝在不同季节的年代际空间分布特征不同. 春季的 PDSI 的年代际分布与 PDSI 的年

代际分布相似. 夏季和秋季的 PDSI 分布特征更为明显, 尤其是秋季的年代际分布. 从时间尺度上来看, 中国华北、东北、西北东部、西南、华南、华东都有变干的趋势, 华北、西南、东北变干的趋势都相对比较明显, 另外变湿的区域分别为西北西部. 对 1961—2010 年夏季的 PDSI 进行经验正交函数 (EOF) 分析, 可以发现, 洪涝主要发生在南方, 干旱主要发生在北方, 21 世纪以来, 中国地区的干旱和洪涝的发生变频繁, 且旱涝强度也增加. 中国的东北、华北、西北东部、西南四个地区形成一个东北—西南向的干旱化带.

- [1] Palmer W C 1965 *Meteorological Drought Research Paper* 19, No.45 Weather Bureau, Washington D C, 1965 58
- [2] Dai A, Trenberth K E, Karl T R 1998 *Geophysical Research Lett.* **25** 3367
- [3] Bell G D, Janowiak J E 1995 *Bulletin of the American Meteorological Society* **76** 681
- [4] Zhang Y, Chen F H, Gou X H, Jin L Y, Tian Q H, Wang Y S, Peng J F 2007 *Acta Geographica Sinica* **62** 1142 (in Chinese) [张永, 陈发虎, 勾晓华, 靳立亚, 田沁花, 王有生, 彭剑峰 2007 地理学报 **62** 1142]
- [5] Wei J, Tao S Y, Zhang Q Y 2003 *Acta Geographica Sinica* **58** 91 (in Chinese) [卫捷, 陶诗言, 张庆云 2003 地理学报 **58** 91]
- [6] Huang R H, Cai R S, Chen J L, Zhou L T 2006 *Chinese J. Atmos. Sci.* **30** 730 (in Chinese) [黄荣辉, 蔡榕硕, 陈际龙, 周连童 2006 大气科学 **30** 730]
- [7] Huang R H, Du Z C 2010 *Chinese Journal of Nature* **32** 187 (in Chinese) [黄荣辉, 杜振彩 2010 自然杂志 **32** 187]
- [8] Ma Z G, Fu C B 2006 *Chinese Science Bulletin* **51** 2429 (in Chinese) [马柱国, 符淙斌 2006 科学通 **51** 2429]
- [9] Ma Z G, Ren X B 2007 *Advances in Climate Change Research* **3** 195 (in Chinese) [马柱国, 任小波 2007 气候变化研究进展 **3** 195]
- [10] Li W J, Zhao Z G, Li X, Sun L H 2003 *Arid Meteorology* **21** 1 (in Chinese) [李维京, 赵振国, 李想, 孙林海 2003 干旱气象 **21** 1]
- [11] Gong Z Q, Feng G L 2008 *Acta Phys. Sin.* **57** 3920 (in Chinese) [龚志强, 封国林 2008 物理学报 **57** 3920]
- [12] Huang R H, Liu Y, Wang L, Wang L 2012 *Chinese J. Atmos. Sci.* **36** 443 (in Chinese) [黄荣辉, 刘永, 王林, 王磊 2012 大气科学 **36** 443]
- [13] Zhang D Q, Zhang L, Yang J, Feng G L 2010 *Acta Phys. Sin.* **59** 655 (in Chinese) [章大全, 张璐, 杨杰, 封国林 2010 物理学报 **59** 655]
- [14] Shi N, Chen J Q, Tu Q P 1995 *Acta Meteorol. Sin.* **53** 531 (in Chinese) [施能, 陈家其, 屠其璞 1995 气象学报 **53** 531]
- [15] Shi N 1996 *Acta Meteorol. Sin.* **54** 675 (in Chinese) [施能 1996 气象学报 **54** 675]
- [16] Shi N 2009 *Meteorological statistical forecast* (Beijing: China Meteorological Press) p32 (in Chinese) [施能 2009 气象统计预报 (北京: 气象出版社) 第 32 页]
- [17] Alley W M 1984 *Journal of Climate and Applied Meteorology* **23** 1100
- [18] Karl T R, Knight R W 1985 *Historical Climatology Series* 3-7, National Climatic Data Center, Asheville, NC, 1985
- [19] Tang M C, Bai C Y, Feng S, Cai Y 1998 *Plateau Meteorology* **17** 250 (in Chinese) [汤懋苍, 白重瑗, 冯松, 蔡英 1998 高原气象 **17** 250]
- [20] Wang K L, Jiang H, Zhao H Y 2006 *Advances in Water Science* **17** 164 (in Chinese) [王可丽, 江灏, 赵红岩 2006 水科学进展 **17** 164]

# Spatiotemporal evolution of the droughts and floods over China\*

Ye Min Qian Zhong-Hua Wu Yong-Ping<sup>†</sup>

( College of Physical Science and Technology, Yangzhou University, Yangzhou 225002, China )

( Received 10 January 2013; revised manuscript received 9 March 2013 )

## Abstract

Based on the global Palmer drought severity index (PDSI) data and monthly precipitation data from China, using linear trend analysis, comparative analysis and EOF methods, the spatiotemporal evolution of the droughts and floods over China during 1961—2010 has been analyzed. Results show that: The decadal spatial distribution of PDSI in spring is similar to that in year-round. The regional differences of PDSI in summer and autumn are obvious, especially in autumn. According to the linear analysis, climate in North China, Northeast China, Southwest China, South China and East China is becoming dry obviously; while the west of Northwest China is becoming wet. The PDSI in summer from 1961 to 2010 is also analyzed by experience orthogonal function (EOF). Results show that droughts and floods occur frequently in China since the 1980s and the intensity of droughts and floods is also increased, especially droughts in the North China, Southwest China, Northeast China and floods in East China.

**Keywords:** PDSI, droughts, floods, EOF

**PACS:** 92.70.Kb

**DOI:** 10.7498/aps.62.139203

---

\* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 40930952), the State Key Development Program for Basic Research of China (Grant Nos. 2012CB955902, 2013CB430204), and the Meteorological Special Project of China (Grant No. GYHY201106016).

<sup>†</sup> Corresponding author. E-mail: wuyy1888@sina.com