

# 中国干旱气候分区及其降水量变化特征

杨 绚, 李栋梁

(南京信息工程大学, 江苏 南京 210044)

**摘 要:** 利用中国 614 个气象台站 1974~2006 年历年月平均降水资料, 计算各站的降水量距平百分率及其干旱等级序列, 采用 REOF 等方法, 对干旱等级序列进行气候分区, 并分析各区域 50 a 左右干旱等级的时间演变特征。结果表明: 全国降水量具有显著的年代际变化特征, 尤其西北地区年代际变化十分突出, 其中新疆西部地区在 21 世纪以来降水量的增加非常明显, 增加的程度也是近 33 a 中最强的。根据干旱等级序列的旋转载荷向量将中国划分为 11 个区域, 它们各自具有不同的旱涝特征。干旱等级序列和代表站资料反映出近 50 a 东北、华北及河套地区的干旱明显加重, 而西北大部分地区降水量有显著的增加。

**关键词:** 气候分区; 降水量百分率; 干旱等级

**中图分类号:** S162.2

**文献标识码:** A

## 引 言

我国地处东亚, 是全球气候变异较大的区域之一。气候异常所造成的大范围干旱和洪涝是我国主要的自然灾害, 具有发生频率高、持续时间长、波及范围广的特点。为此, 了解区域降水的分布及变化规律, 有助于准确预报降水的时间、雨量及其分布, 为我国的经济建设提供保障, 对于趋利避害, 减少损失具有重大意义<sup>[1]</sup>。

目前, 对于我国降水量变化的研究已经取得了大量有意义的结果。李维京等<sup>[2]</sup>指出 20 世纪 70 年代末以后, 我国东部的的主要雨带纬度位置逐渐南移, 一直维持在 34°N 以南地区, 夏季降水的分布特征为北少南多, 长江流域及其以南大部分地区处于一个相对的多雨期, 而华北、东北大部分地区则处在一个相对的少雨期, 干旱频繁发生。王遵娅等<sup>[3]</sup>指出长江以南地区的夏季降水在 20 世纪 90 年代以后增加明显, 而华北、东北地区夏季降水显著减少, 体现了夏季风的减弱。施雅风等<sup>[4-5]</sup>研究指出, 西北地区气候在 1987 年开始由暖干向暖湿转型, 这一转型既可能是年代际的波动, 也可能是世纪性的趋势。而近 20 a 华北的干旱以及近 40 a 西部降水的增加, 可能都是降水量的年代际变化造成的。

为了详细研究中国不同地区的降水量变化特征, 很多学者已做了许多关于气候分区的工作, 尤其是针对某个地理区进行更加详细的气候分析。李栋梁等<sup>[6]</sup>根据西北地区夏季降水的异常特征将其划分为 6 个敏感区。就全国的气候分区来说, 有大致按气候区将全国分为 8 个区<sup>[3,7]</sup>, 陈兴芳等<sup>[8]</sup>采用降水指数根据地理位置和气候特征将全国分为 15 个区, 江志红等<sup>[9]</sup>指出, 全国降水量场可明显划分成 10 区域。但以往全国气候分区的研究使用的资料大都是中国 160 个地面测站, 站点位置相对稀疏, 尤其是青藏高原和西北地区的降水站点更少, 不足以很好反映干旱气候特征。本文采用 614 个气象站的月平均降水量资料, 并且根据《气象干旱等级》国家标准, 利用降水量百分率来进行客观分区, 进一步对我国干旱气候分区以及不同地区降水量的年代际变化特征和时间演变过程进行研究。

## 1 资料与方法

选用国家气候中心整编的中国 614 个气象台站 1974~2006 年历年降水资料。计算各站的年降水量距平百分率:

$$P_a = \frac{P - \bar{P}}{\bar{P}} \times 100\%$$

收稿日期: 2008 - 05 - 06; 改回日期: 2008 - 05 - 20

基金项目: 科技部科研院所社会公益研究项目“中国干旱气象灾害监测预警方法研究”(2004D B5J192)资助

作者简介: 杨绚 (1985 - ), 女, 辽宁朝阳市人, 硕士研究生, 主要从事气候变化和预测研究。E-mail: yx\_221@126.com

式中： $P$ 为某站某年降水量 (mm)； $\bar{P}$ 为该站 33 a 平均降水量 (mm)。

根据《气象干旱等级》国家标准 (表 1), 将全国的降水量距平百分率划分等级, 建立干旱等级序列。采用 REOF 方法分析中国年降水干旱等级的时空异常特征, 通过在气候分区的基础上, 选用区内载荷向量绝对值最大台站资料分析不同气候区降水量的变化趋势。

表 1 降水量距平百分率年尺度干旱等级划分

Tab 1 The drought grades classified by precipitation anomaly percentage

等级	类型	降水量距平百分率 / %
1	无旱	$-15 < P_a$
2	轻旱	$-30 < P_a < -15$
3	中旱	$-40 < P_a < -30$
4	重旱	$-45 < P_a < -40$
5	特旱	$P_a < -45$

## 2 中国降水量的年代际变化

陈兴芳等<sup>[10]</sup>对近 50 a 我国年降水的年代平均距平百分率分布趋势的分析, 表明年降水的分布趋势存在着一定的年代际变化, 但是其显著程度各年代有较大差别。我国东部主要多雨区位置随年代逐步南移, 因此华北地区在近 50 a 的降水为减少趋势。

图 1 给出了以年代为时间尺度的平均降水距平百分率的分布。从图中看出, 我国东部、南部以及西南大部分地区年代平均降水距平百分率的值基本为 0, 而主要差别的地区集中在北方地区, 尤其西北地区变化最大。这种特征说明了我国降水量的分布在 33 a 的时间演变过程中, 东部、南部以及西南大部分地区的年降水量的变化并不明显, 而北方地区, 尤其是西北地区降水的年代际变化特征十分突出。

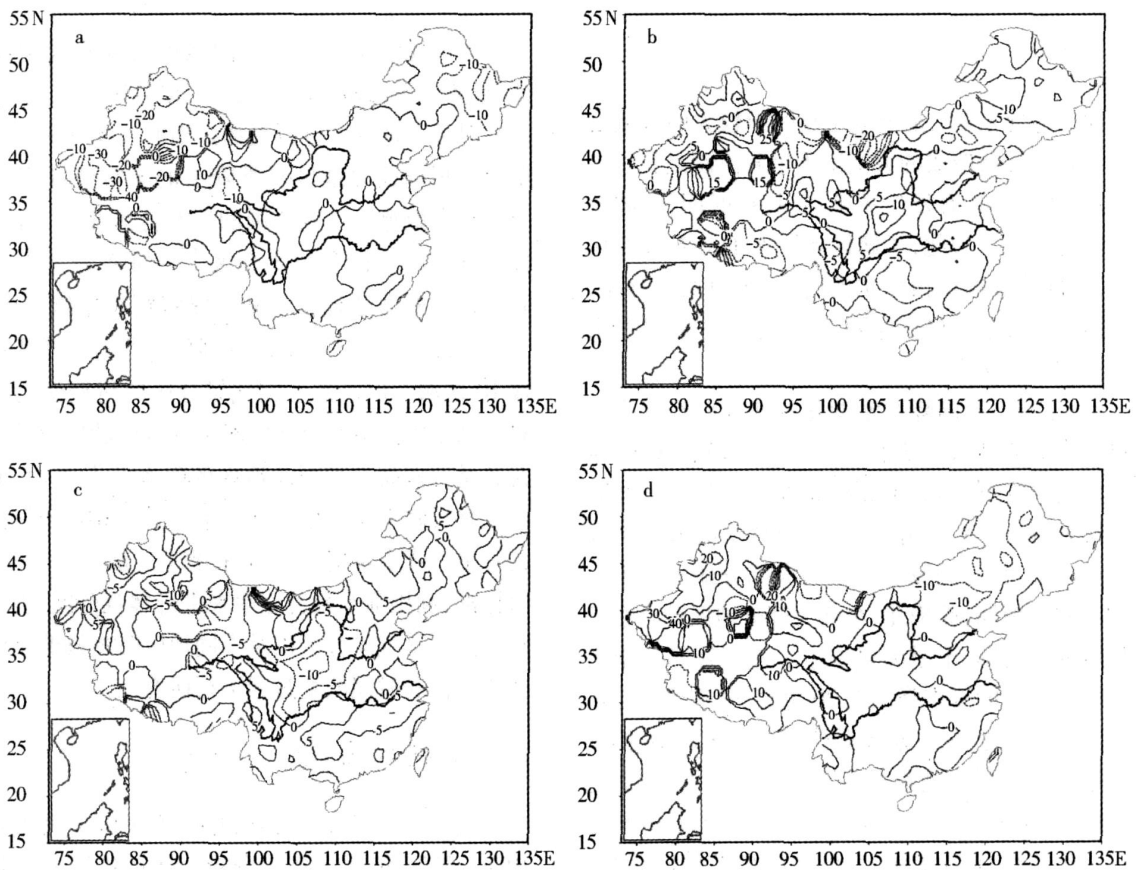


图 1 中国降水量距平百分率年代际分布

(a 1974 ~ 1980年; b 1981 ~ 1990年; c 1991 ~ 2000年; d 2001 ~ 2006年)

Fig 1 The decadal distribution of precipitation anomaly percentage in China

(a for 1974 - 1980, b for 1981 - 1990, c for 1991 - 2000 and d for 2001 - 2006)

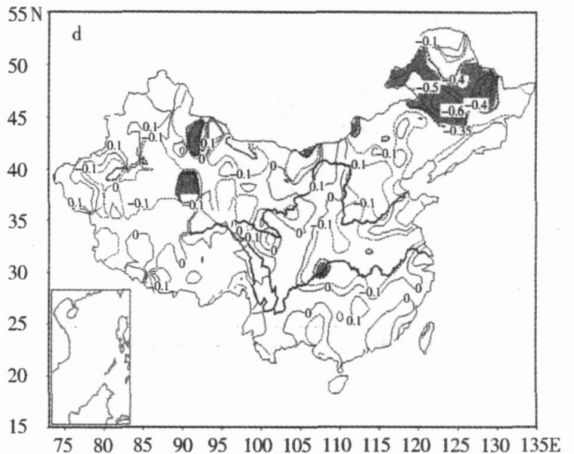
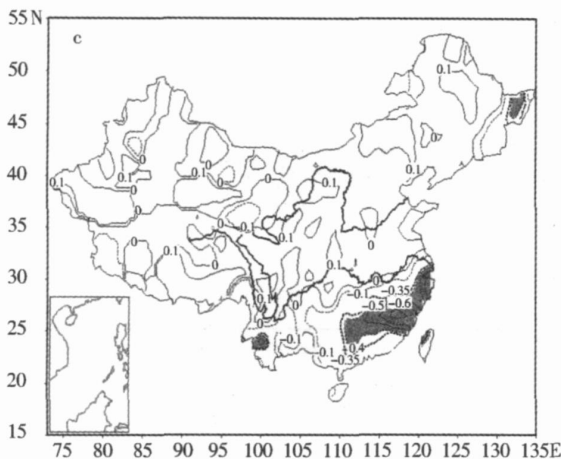
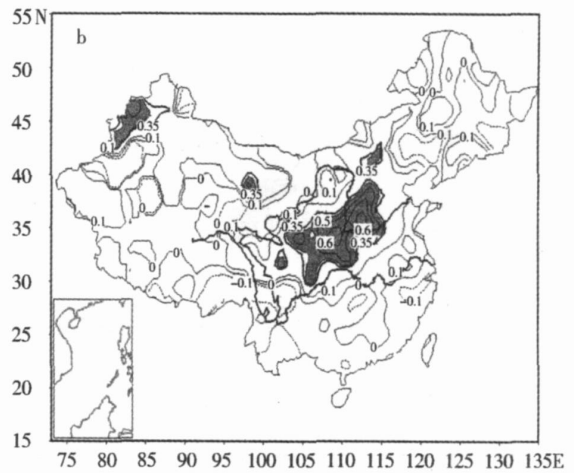
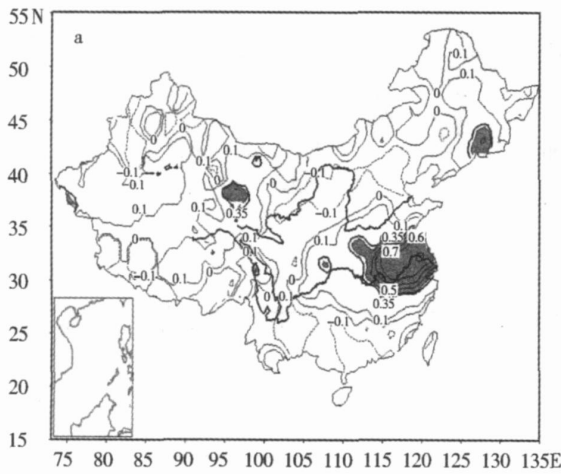
由图 1a 明显看出,新疆地区、青海部分地区以及东北东部地区的降水距平百分率为负值,尤其是新疆西部地区高达 -30% 以上,而全国其他地区基本为 0,说明了在 20 世纪 70 年代中后期,西北地区,尤其是新疆的干旱比较严重,东北部分地区也有干旱的情况。图 1b 则与图 1a 有很大差别,新疆地区的降水距平百分率由图 1a 的负值均变为正值,最大正值中心在新疆地区达到 20% 以上,东北大部分地区以及河套南部地区降水距平百分率均为 10% 以上,表现为上述地区在 20 世纪 80 年代降水量相对增加,而全国干旱的地区主要是内蒙西部地区。20 世纪 90 年代 (图 1c) 内蒙西部地区表现为降水量明显增加,降水距平百分率 >10%,南疆盆地以及新疆西部地区也有变湿润的特征,而降水距平百分率负值主要位于河套及其南部地区。图 1d 的降水距平百分率分布表现为新疆西部大部分地区有很高的正值,中心最大值达到 40% 以上,这充分说明了新

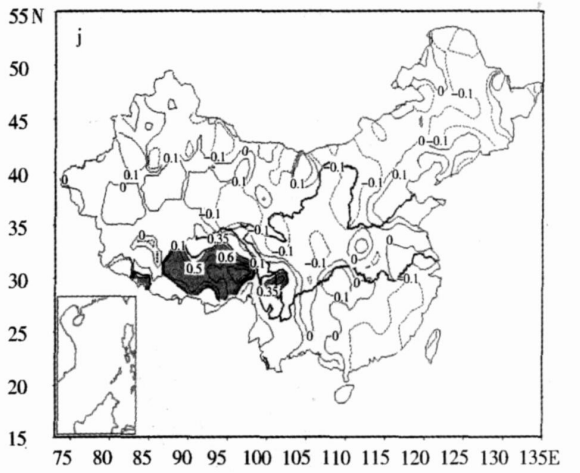
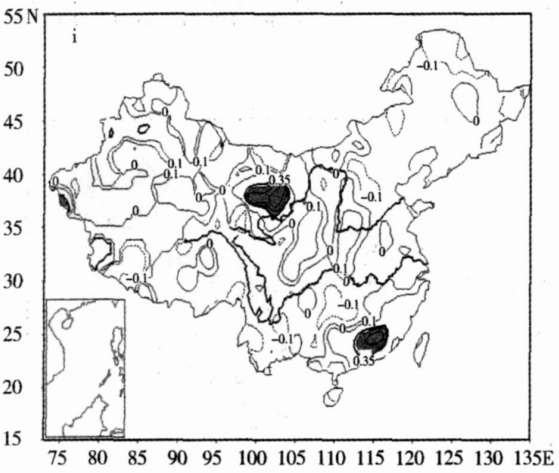
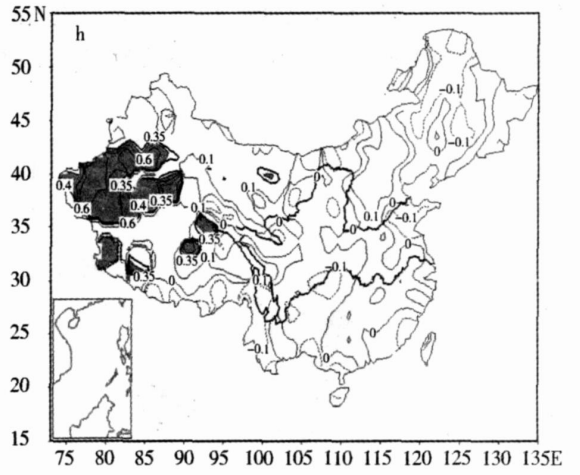
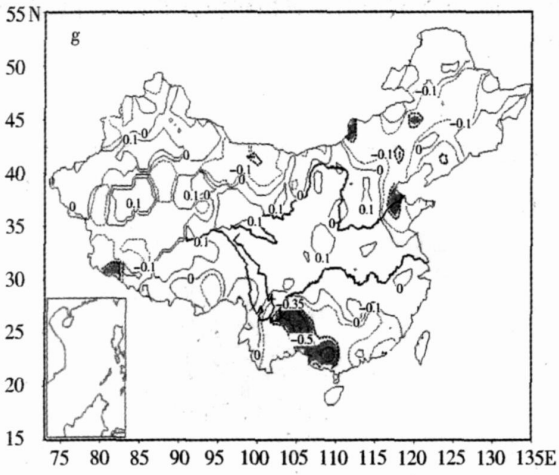
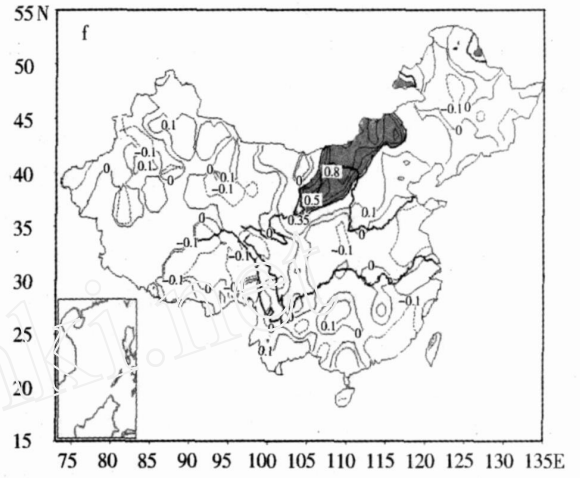
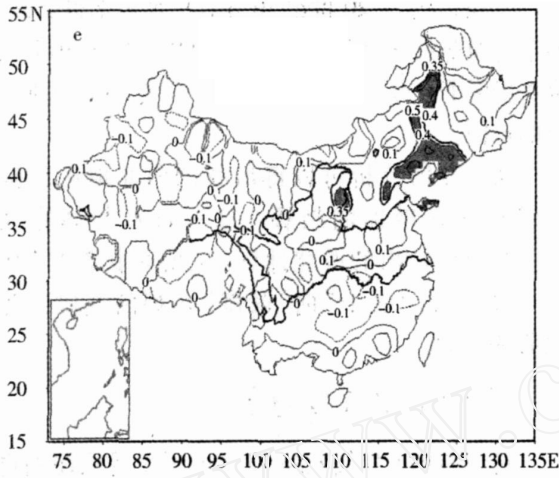
疆西部地区在进入 21 世纪以来降水量增加非常明显,变湿的程度是 20 世纪 70 年代中期以来最强的。而东北西部及华北部分地区在 2001 ~ 2006 年平均降水量距平百分率为负值,相对于过去 33 a 呈现干旱的特征。

从以上的分析可以得出我国西北地区的降水量呈明显增加的趋势。这一特点与施雅风等<sup>[4-5]</sup>研究指出的西北地区 (主要是新疆) 气候在 1987 年由“暖干”向“暖湿”转型的气候变化趋势相一致。

### 3 中国干旱气候分区

对全国 614 个气象站 33 a 的干旱等级序列进行 EOF 分析,其载荷量 LV 能够较好地反映降水场的空间异常特征。取前 20 个空间向量做正交旋转变换,前 20 个载荷向量累积解释方差贡献占总方差的 81.2%。





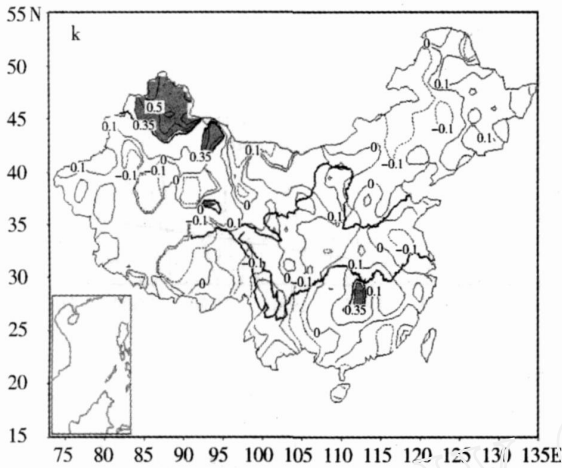


图 2 中国干旱等级序列的 11 个旋转载荷向量 (阴影区表示通过  $\alpha = 0.05$  显著性水平检验的区域)

Fig 2 The eleven rotated loading vector fields of drought grades (shaded areas representing  $\alpha = 0.05$  significant level)

图 2 给出了前 11 个旋转载荷向量场的空间分布,阴影区表示通过 0.05 显著水平检验 ( $\alpha = 0.05$ )。由图 2a 可见,RLV1 正的高值区在江淮及长江中下游地区,中心旋转载荷向量高达 0.90,其余地区载荷向量值都在  $-0.2 \sim 0.2$  之间,表明江淮及长江中下游地区的降水(干旱)异常是我国第 1 显著异常区(汛期降水的第 1 类雨带),其在我国汛期防汛抗旱的重要性不言而喻。图 2b 显示的 RLV2 大值区在西北东南部地区,旋转载荷向量高值中心(可达 0.83)位于陕西南部地区。主要包括青海的东南部、甘肃东部、陕西南部及四川盆地,该区域分属渭河流域和嘉陵江流域,旱涝异常活跃,如 2006 年的重庆大旱就发生在该区域。第 3 旋转载荷向量 RLV3 (图 2c) 分布的主要特征是以江南、华南为主的负高载荷向量区,中心值  $-0.85$ ,该区域是我国汛期降水的第 1 类雨带的位置所在。第 4 旋转载荷向

量的分布(图 2d)则以内蒙东北部和东北北部的大范围负高值区为主要特征,中心最大值为  $-0.82$ 。随着高纬度地区气候的显著变暖,降水减少,土壤失水加重,东北地区的干旱显现出其独特的地域性。第 5 旋转载荷向量的大值区位于东北南部以及华北东部一带(图 2e),中心站旋转载荷量值为  $-0.80$ ,该区域是我国汛期降水的第 1 类雨带的位置所在。随着全球变暖,东亚季风减弱,华北干旱愈加严重。图 2f 为 RLV6 的分布情况,由阴影区可见旋转载荷高值区为河套—华北北部地区,高值中心区可达 0.82,是干旱的显著区域。图 2g - k 分别表示 RLV7 - RLV11 的分布情况,这里不再详细描述。

根据旋转后前 11 个具有区域性特征的载荷向量的空间分布,将我国划分成 11 个气候区域(图 3),依照其方差贡献序号依次为:1 江淮及长江中下游区,2 西北东南部区,3 江南、华南区,4 东北北部区,5 华北东部—东北南部区,6 河套—华北北部区,7 西南区,8 新疆西部区,9 青—甘—阿盟区,10 高原区,11 北疆区。各区域所含代表站名,代表站的时间序列长度见表 2。

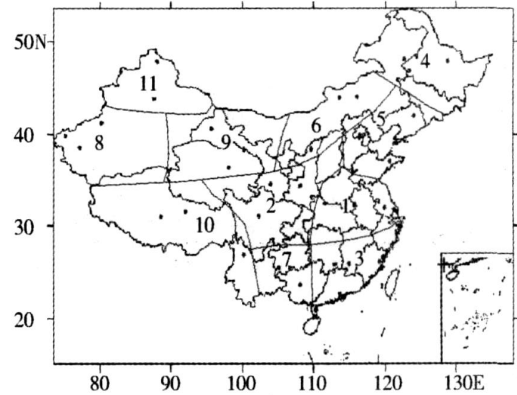


图 3 中国干旱气候分区图及各代表站分布  
Fig 3 Schematic representation of 11 precipitation areas in China and their representative stations

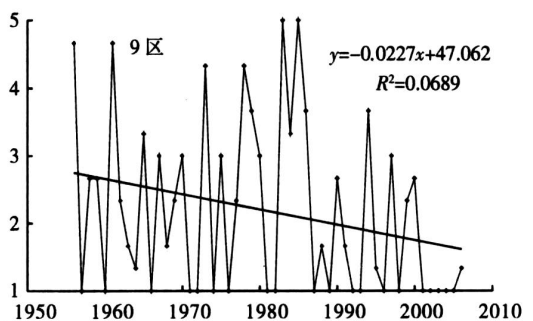
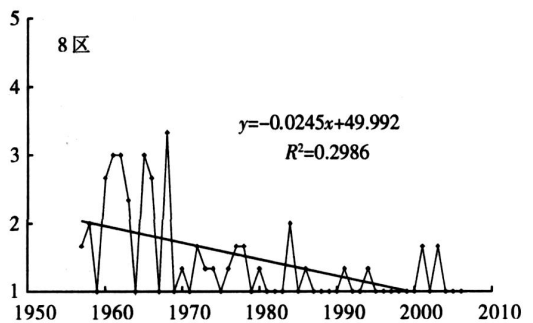
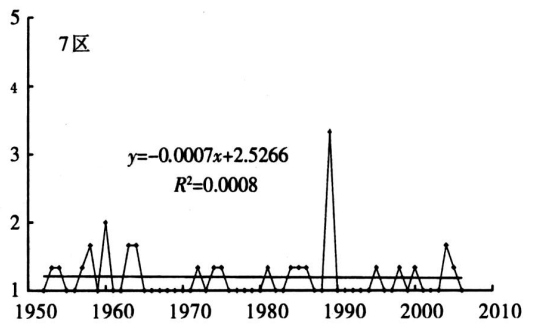
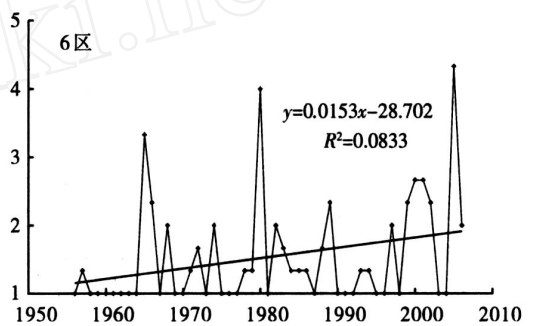
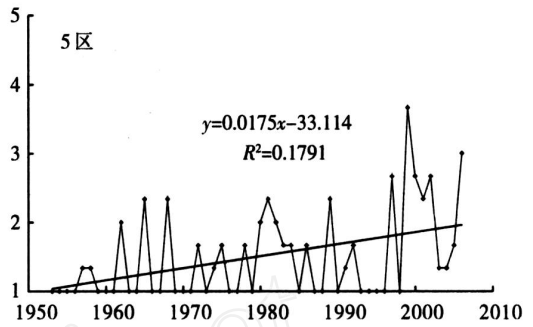
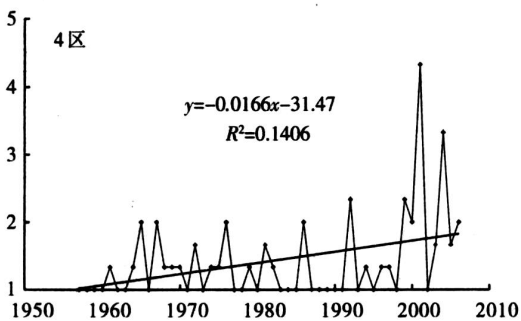
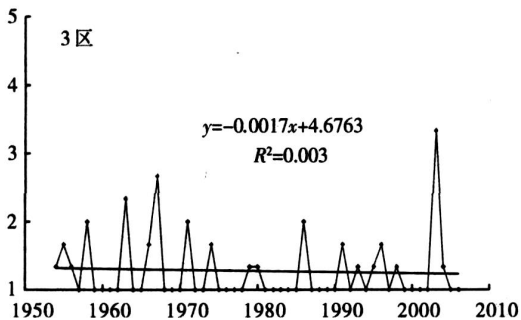
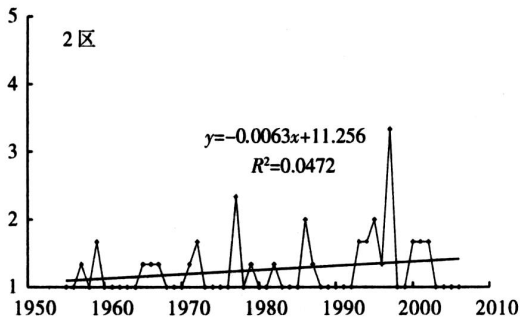
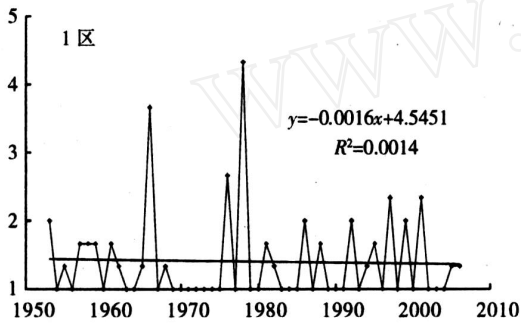
表 2 中国干旱气候分区代表站

Tab 2 Representative stations for 11 precipitation areas in China

区域	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
代表站	常州	小金	福州	扎兰屯	北京	苏力特左旗	兴义	莎车	祁连	申扎	塔城
及 RLV 值	1952	1952	1954	1953	1952	1956	1952	1953	1957	1961	1954
	0.86	0.67	-0.74	-0.82	0.63	0.82	-0.88	0.73	0.93	0.59	0.56
	固始	武功	柳州	满洲里	章党	榆林	南宁	阿克苏	安西	那曲	乌鲁木齐
	1953	1955	1952	1957	1952	1952	1952	1953	1952	1955	1952
	0.81	0.67	-0.73	-0.67	0.63	0.75	-0.65	0.62	0.39	0.57	0.52
	老河口	岷县	赣州	伊春	莱阳	锡林浩特	罗甸	乌恰	都兰	丽江	阿勒泰
	1952	1952	1952	1956	1953	1953	1952	1956	1954	1952	1955
	0.64	0.63	-0.67	-0.66	0.52	0.73	-0.56	0.56	0.36	0.39	0.51
序列长度 /a	54	52	53	50	54	51	55	51	50	46	52

### 4 分区干旱等级的时间演变特征

由于干旱等级的 RLV 高值表示出其 RPC 与该站原干旱等级序列的相关性,故综合考虑了每个异常区 RLV 的高值、站点的地理位置及资料长度,选取了代表站,分析各异常区的时间演变特征及趋势。图 4 给出了各区代表站的平均干旱等级曲线及其线性趋势,可以看出其年际振动及长期趋势的区域性特征均十分明显。由于干旱等级与降水量距平百分率的对应关系由表 1 列出,它们的关系是干旱等级越高,表示降水距平百分率越小,也就越干旱。



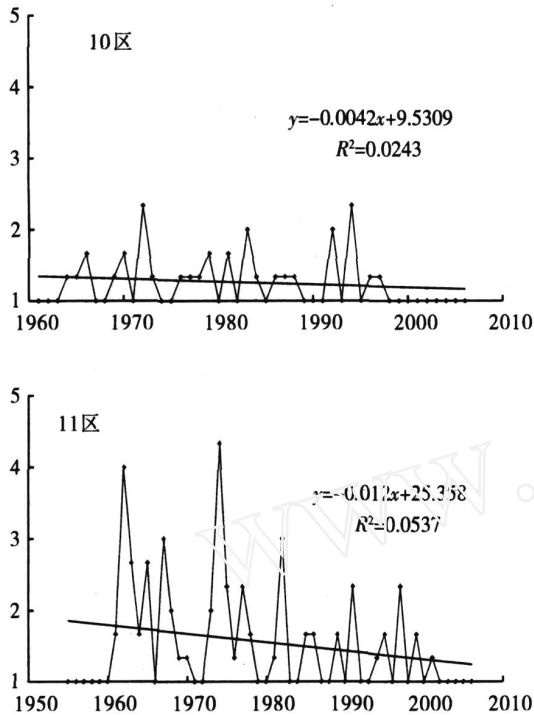


图 4 11 个气候区代表站的平均干旱等级序列及其线性趋势

Fig 4 The average drought grades of representative stations from 11 precipitation areas and their linear tendency

可以看出近 50 a 来,干旱等级序列呈显著上升趋势的区域有 3 个,即 4 区:东北北部区,5 区:华北东部—东北南部区,6 区:河套—华北北部区,降水量减少的趋势最明显,其线性趋势均接近 0.2/10 a,50 a 上升了大约 1 个干旱等级。表明这 3 个区域降水量呈显著减少,其中 5 区的干旱化最严重,干旱等级的线性趋势为 0.175/10 a。4 区和 6 区干旱等级的线性趋势分别为 0.166 和 0.0153,略小于 5 区。干旱等级序列略有上升趋势的区域还有 2 区,即西北东南部区,其线性趋势仅为 0.1/10 a,表现为降水量弱的减少,但不明显。总的来说,近 50 a 来变干的地区主要集中在东北、华北及河套地区。

进一步分析发现干旱等级序列呈明显下降趋势的区域主要有 8 区、9 区和 11 区,也就是这些区域在近 50 a 有年降水量增多的趋势。其中降水增多的程度最显著的区域为 8 区,即新疆西部区,干旱等级序列线性趋势系数为 -0.0245。9 区(青海北部、甘肃西部至内蒙阿拉善盟区)干旱等级的线性趋势系数为 -0.0227,主要位于青藏高原东北侧。罗哲贤<sup>[11]</sup>指出从气候上区分,其大体上属于东南季风的

边缘区域。同时又受到西风带环流、高原季风和高原天气系统的影响,夏半年有时还会受到在我国东南沿海登陆台风的间接影响,使得该地区的气候问题变得极其复杂。李栋梁等<sup>[6,12-13]</sup>指出西北地区全区降水差异大,存在多个不同的气候分区,高原东北侧是中国西北月总降水量异常的最敏感性区域,其年降水与高原冬季风遥相关关系显著。11 区(北疆区)降水量增多的趋势也很明显。由上述分析得出,8 区、9 区和 11 区,即西北大部分地区,降水量长期趋势呈显著的增加,这与施雅风等<sup>[4-5]</sup>得出的结论也是一致的。全国其他区域的降水量也略有增多的现象,只是其干旱等级序列线性趋势系数比上述 3 个显著地区小 1 个量级,说明在 50 a 左右的长时间尺度上变湿的程度没有西北地区显著。其中 1 区、3 区和 10 区,即江淮、长江中下游地区、江南、华南地区以及青藏高原地区均有降水增多的趋势。而 7 区(西南区)在近 55 a 的干旱等级序列的线性趋势异常最不明显。Zhai 等<sup>[14]</sup>利用中国 740 个站的逐日降水资料得到的最新研究表明,中国近 50 a 来年降水量显著减少的地区有东北南部、华北及四川盆地地区,而降水量明显增多的地区有中国西部、长江流域及东南沿海地区。这种降水量区域性的时间演变特征与 Zhai 等<sup>[14]</sup>研究的结果相一致。

比较最显著的变干和变湿区域的干旱等级序列线性趋势系数,8 区的系数绝对值比 5 区大,这表明在 50 a 的时间演变中,我国年降水量增加区域的降水增多程度大于年降水量减少区域的降水减少的程度。这也进一步说明近些年我国西北地区尤其是新疆地区年降水量增加相对明显。

为了进一步研究我国降水量的区域特征,试图分析各区干旱等级序列的周期情况。采用谱分析的方法,得出只有 1 区、2 区和 3 区分别有显著的准 21 a、20 a、13 a 的周期特征,其他区域没有明显的周期特征。得出这样的结果可能是因为根据以前学者的研究,中国降水的周期均表现为长周期的特征,李崇银等<sup>[15]</sup>研究表明从近 100 a 来看,降水量的变化就是以 20~30 a 循环为主。并对 1880~1999 年期间中国东部 6 个多雨期和 5 个少雨期中 5 a 平均降水量距平的研究中指出,降水量有准 27 a 周期变化特征。而本文干旱等级序列长度只有 50 a 左右,不利于计算降水量的长周期特征。对于西北东部年降水量的准 3 a 周期,正如李栋梁等<sup>[16]</sup>指出的自 1980 年代不再显著,目前仍未恢复。

## 5 结论与讨论

(1)根据 33 a的干旱等级序列作旋转主成分分析,将全国划分为具有不同旱涝特征的 11个区域。

(2)全国干旱等级具有显著的年代际变化特征,尤其是西北地区年代际特征十分突出,在 20世纪 80年代中期以来降水量增加非常明显,其干旱等级呈现明显下降的趋势,其中新疆西部地区每 4~5 a干旱降低 1个等级。东北、华北及河套区的干旱仍在持续,从干旱等级来看,变湿区域的变湿程度 > 变干区域的变干程度。

(3)随着区域的不同,测站数量的增减,资料长度的变化,干旱气候分区也有一定的差异。

(4)各区干旱等级变化的年际、年代际特点均不同,这一方面体现了气候分区的正确性,另一方面说明气候变化的复杂性。

### 参考文献:

- [1] 蒋国荣,陈奕德,张韧,等. 中国区域月降水量的多时间尺度特征[J]. 解放军理工大学学报(自然科学版), 2002, 3(4): 77 - 81.
- [2] 李维京,赵振国,李想,等. 中国北方干旱的气候特征及其成因的初步研究[J]. 干旱气象, 2003, 21(4): 1 - 5.
- [3] 王遵娅,丁一汇,何金海,等. 近 50年来中国气候变化特征的再分析[J]. 气象学报, 2004, 62(2): 228 - 236.
- [4] 施雅风,沈永平,胡汝骥. 西北气候由暖干向暖湿转型的信号、影响和前景初步探讨[J]. 冰川冻土, 2002, 24(3): 219 - 226.
- [5] 施雅风,沈永平,李栋梁,等. 中国西北气候有暖干向暖湿转型问题评估[M]. 北京:气象出版社, 2003.
- [6] 李栋梁,谢金南,王文. 中国西北夏季降水特征及其异常研究[J]. 大气科学, 1997, 21(3): 331 - 340.
- [7] 施晓晖,徐祥德. 中国大陆冬夏季气候型年代际转折的区域结构特征[J]. 科学通报, 2006, 51(17): 2075 - 2084.
- [8] 陈兴芳,赵振国. 中国汛期降水预测研究及应用[M]. 北京:气象出版社, 2000.
- [9] 江志红,丁裕国. 近 40年我国降水量年际变化的区域性特征[J]. 南京气象学院学报, 1994, 17(1): 73 - 78.
- [10] 陈兴芳,孙林海. 我国年、季降水的年代际变化分析[J]. 气象, 2002, 28(7): 3 - 9.
- [11] 罗哲贤. 西北干旱研究的若干问题[J]. 干旱气象, 2003, 21(4): 55 - 58.
- [12] 王遂缠,李栋梁,王谦谦. 青藏高原东北侧夏季降水的气候特征分析[J]. 干旱气象, 2005, 23(2): 13 - 18.
- [13] 白虎志,谢金南,李栋梁. 青藏高原季风对西北降水影响的相关分析[J]. 干旱气象, 2000, 18(2): 10 - 12.
- [14] Zhai PM, Zhang X, Wan H, et al Trends in total precipitation and frequency of daily precipitation extremes over China[J]. J Climate, 2005, 18(7): 1096 - 1108.
- [15] 李崇银,朱锦红,孙照渤. 年代际气候变化研究[J]. 气候与环境研究, 2002, 7(2): 209 - 219.
- [16] 李栋梁,谢金南,王蕾,等. 甘肃河东年降水量的周期变化[J]. 高原气象, 2000, 19(3): 295 - 303.

## Precipitation Variation Characteristics and Arid Climate Division in China

YANG Xuan, LI Dongliang

(Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China)

**Abstract:** The percentage of precipitation anomalies and the drought grades (DG) were calculated by using the monthly mean precipitation data for the period of 1974 - 2006 from 614 stations in China. The climate regions are divided according to DG based on REOF, and the temporal evolution characteristics of DG in each region were studied. The results show that there is obvious interdecadal variability in annual precipitation in China, especially in northwest China. Since the 21st century, a sharply increasing rainfall trend appeared in the west of Xinjiang. The first eleven rotated loading vector fields of DG represent eleven principal precipitation anomaly areas, and each marked by a dryness/wetness trend of its own. DG and the data at the representative stations show that annual total precipitation has obviously decreased in northeast China, north China and Hetao area, but significantly increased in northwest China in the recent 50 years.

**Key words:** climate division; percentage of precipitation anomalies; drought grades