

文章编号: 0375-5444 (2000) 03-0281-13

# 1880 年以来中国东部四季降水量 序列及其变率

王绍武<sup>1</sup>, 龚道溢<sup>2</sup>, 叶瑾琳<sup>1</sup>, 陈振华<sup>1</sup>

(1. 北京大学地球物理系, 北京 100871; 2. 北京师范大学资源科学研究所, 北京 100875)

**摘要:** 根据降水量观测记录及史料, 建立了我国 110°E 以东 35 个站 1880~1998 年完整的四季及年降水量序列。1880~1899 年主要依靠史料及少数站降水量观测; 1900~1950 年根据降水量等级图, 并用史料插补; 1951 年以后完全是降水量观测资料。3 段时间降水量观测记录分别占 22.6%、69.0% 及 100%。史料部分利用了近 30 多年公布的 15 种经过整编的旱涝记载。本文介绍了建立序列的方法及可能包含的误差大小。年降水量的功率谱分析结果显示年降水量的突出周期有两个, 分别是 3.3 a 和 26.7 a, 前者可能与 EN SO 的影响有关, 而后者则说明我国降水有显著的年代际尺度的变化。近百年来我国年降水量变化趋势, 只有约 +0.1% / 100a。我国降水近几十年的低频变化, 可能主要是年代际变化引起的, 而非全为气候变化趋势。

**关键词:** 中国; 降水量; 变率

**中图分类号:** P467 **文献标识码:** A

## 1 前言

降水的变化是影响我国工农业生产的一个重要因素。大范围的洪涝与持续性的干旱常可造成上百亿公斤粮食的减产以及大量生命财产的损失。因此, 旱涝变化是气候研究的一个重要课题。五百年旱涝的分析充分利用了我国丰富的史料, 并与观测资料结合, 建立了长期的连续序列, 为旱涝研究打下了良好的基础<sup>[1]</sup>。《中国近五百年旱涝图集》<sup>[2]</sup>的出版, 有力地推动了气候变化的研究, 各省均相继出版了有关史料或发表了研究报告。不过, 五百年旱涝图只反映了夏季的旱涝。实际上, 根据最近几十年的完整资料分析, 其它各季的旱涝也是比较频繁的<sup>[3]</sup>, 如 1982~1983 年冬季华南降水量比常年增加一倍以上, 给农业生产带来巨大危害; 1966 年是最近 40 多年中的大旱年, 其中春季与秋季的干旱严重程度也都超过了夏季<sup>[4]</sup>。因此, 除了对影响较大的夏季旱涝进行研究外, 对其它季节旱涝也要加强研究。

近来何素兰、马天健<sup>[5,6]</sup>, 王伯民<sup>[7]</sup>研究了我国四季及年降水量变化。但资料时间仅限于 1951~1990 年, 对研究气候变化, 序列尚不够长。有的作者研究了近百年降水变化, 但

收稿日期: 1999-11-15; 修订日期: 2000-01-22

基金项目: 国家重点基础研究发展规划首批资助项目 (G1998040900); 国家自然科学基金资助项目 (49635190)

[Foundation Item: National Key Developing Program for Basic Sciences: Research on the Formation Mechanism and Prediction Theory of Heavy Climatic Disasters in China, No. G1998040900; and National Natural Science Foundation of China, No. 49635190]

作者简介: 王绍武 (1932-), 男, 教授, 从事气候学研究。E-mail: swwang@pku.edu.cn

早期用站少,后期用站多,序列不均匀<sup>[8]</sup>。本文的目的就是建立一个均匀的降水量序列。一方面要对中国有较好的代表性,另一方面序列又有足够的长度,能够充分显示近百年中国降水量变化的特点。

## 2 资料

为了建立一个能反映中国降水量变化主要特征的序列,要考虑两个基本因素:对中国是否有较好的代表性;如何保证序列的均匀性,并有足够的长度。我们先利用近 40 年完整的月降水量观测资料讨论第一个问题。原始资料包括大陆上 160 个站,以及台湾 5 个站的月降水量记录,均自 1951-1~1990-12。先计算历年各站年降水量,再计算历年 165 个站的平均值,然后计算这个平均值与 165 个站的相关系数。图 1 给出相关系数分布图。很明显,大约在 105°E 以西的西部地区降水量变化与全国的降水量变化无明显关系。图中标出 0.2、0.4 等值线,对于 40 年资料来讲达到 90%、95% 及 99% 的信度的相关系数为 0.26、0.31 及 0.40。可见东部地区在 45°N 以南与全国的总趋势是比较一致的。关系最大是在江南地区,相关系数最高达 0.70 以上。

其次,再看观测资料,1951 年以前中国的降水量观测记录稍多于气温观测,但也有许多缺测。因此,如果早期用少数站,近期用较多的站,则序列前后不均匀。所以,考虑到地理分布的代表性,并尽可能利用所有有较长序列的测站,从 165 个站中选出 35 个站建立 1880~1998 年每个站的四季及年降水量序列,这些站在图 1 中用黑点标出。显然从图 1 中可以看出这 35 个站比较均匀地覆盖了我国东部地区,特别是与全国平均降水量相关比较大的地区。这 35 个站的资料开始年代列在表 1,同时给出 1880~1899 年及 1900~1950 年两段时间缺测年数及 1951~1990 年与全国平均降水量的相关系数。

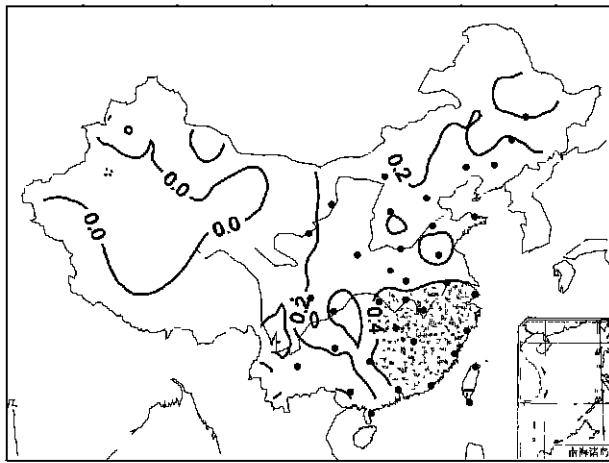


图 1 全国平均与各站年降水量的相关系数(据 1951~1990 年资料,黑点为 35 个站的位置)

Fig. 1 Correlation in precipitation between the annual mean of whole China and that at each station (1951~1990, black dots are the 35 stations)

表 1 35 站观测开始年份、缺测年数 (1880~ 1899 年及 1900~ 1950 年两个时段) 及与全国年平均降水量相关系数 (以 1951~ 1990 年资料计算)

Tab. 1 Beginning years of the observation, numbers without records and the correlation between the annual mean precipitation of whole China and that of 35 stations during the period 1951~ 1990

站名	起始年	缺测年数		相关系数	站名	起始年	缺测年数		相关系数
		1880~ 1899	1900~ 1950				1880~ 1899	1900~ 1950	
哈尔滨	1898	18	8	- 0.03	信阳	1922	20	41	0.19
长春	1909	20	13	0.27	宜昌	1882	2	12	0.39
沈阳	1906	20	10	0.42	汉口	1880	1	9	0.48
朝阳	1908	20	26	0.25	长沙	1909	20	16	0.54
呼和浩特	1920	20	21	0.29	吉安	1930	20	30	0.59
北京	1840	4	7	0.27	桂林	1916	20	16	0.40
太原	1916	20	29	0.19	南宁	1907	20	7	0.01
济南	1916	20	16	0.22	广州	1908	20	7	0.42
郑州	1931	20	41	0.36	汕头	1880	0	7	0.46
徐州	1915	20	28	- 0.02	湛江	1951	20	51	0.04
烟台	1886	16	12	0.29	银川	1935	20	47	0.28
南京	1905	20	6	0.39	兰州	1932	20	32	0.03
上海	1873	0	0	0.40	西安	1922	20	25	0.22
九江	1885	5	12	0.64	成都	1906	20	17	0.19
温州	1883	4	0	0.64	重庆	1891	11	0	0.00
福州	1880	7	0	0.46	贵阳	1921	20	0	0.23
台北	1897	17	0	0.07	昆明	1901	20	7	0.05
恒春	1897	17	0	0.42	合计		542	553	

把序列开始取为 1880 年, 又把表 1 中分两段时间统计资料缺测情况, 这取决于资料来源。从表 1 可知道 1880 年之前只有北京与上海两个站有观测记录, 所以, 如果希望建立的降水量序列中至少有一定数量的仪器观测记录, 实际上不大可能再提前了。另外之所以把 1900 年前另划一段与 1900~ 1950 年分开讨论, 是因为从 1900 年开始, 我们可以利用月降水量等级图。这是原中央气象局气象科学研究所 60 年代初期开始绘制, 后来由原中央气象台长期预报科继续补充, 包括 1900-1~ 1970-12 逐月我国东部降水量等级分布图。这份图的研制非常适合我国的具体资料情况。例如, 40 年代后期华南地区缺测, 但东面的福建及西面的云南、贵州及四川均有观测, 这样可以从大范围级别分布来内插。也有一些情况是相邻很近的站, 如吉安 (27°03'N, 114°57'E) 缺 1945~ 1950 年观测, 但在附近的泰和 (26°45'N, 114°30'E), 则有 1937-1~ 1950-12 的完整序列, 显然就可以用来插补吉安的级别。当然有时两个站相邻很近, 但降水级别经常不同, 例如北京与天津、南京与镇江、香港与广州。在这种情况下内插时, 就要特别小心。但是, 无论如何, 根据月降水量等级图比直接用某一个单站来插补另一个站降水量效果要好得多。但在西北部及西部边远地区, 就不容易只根据降水量等级图来插补了。在上世纪末至本世纪初史料十分丰富, 因此在插补各月级别时, 也参考了各地的史料。

从表 2 可见 1880~ 1899 年期间观测资料只占不到四分之一的比例, 因此, 这段时间主要依靠史料来决定降水量级别。不过, 由于史料往往在时间上一般精确不到月, 所以我们只插补了四季的级别。顺便说明, 这里无论月或季, 降水量级别均分为 5 级。1 级为

涝, 2 级为偏涝, 3 级为正常, 4 级为偏旱, 5 级为旱。月降水等级图主要考虑概率分布划级, 即 1 级与 5 级的概率为  $1/8$ , 其余 3 级的概率为  $1/4$ 。在绘制《中国近五百年旱涝分布图集》时也用的是同样的标准。因此, 在划分 1880~ 1899 年季降水级别时, 仍然采用同一原则。不过为了适应不同地区的气候特点, 概率往往有一些小的变化。例如北方地区冬、春季 4 级与 5 级的概率要高一些, 这在各种研究旱涝级别的工作中都几乎是共同的。由于这段时期主要以史料为基础, 在没有特别明显的灾害时, 史料多不记载, 所以, 这样划分出来的 3 级频率经常略高于 25%, 这一点也同《中国近五百年旱涝图集》一致。

### 3 根据史料划定季降水级别

因为许多的证据来源于史料, 因此如何根据史料来确定季降水级别成为一个首先要解决的问题。在作五百年旱涝研究时<sup>[1]</sup>, 对这个问题已经作过比较充分的讨论, 而且 1880 年以后旱涝图非常完整, 所以确定 1880 年以后夏季的降水量级别没有任何困难。只需要根据后来又整理发表的各种史料, 看一下对旱涝图有没有可以修改或补充之处。因此, 本文的主要问题是划分冬、春、秋三季的降水级别。下面先介绍一下我们所采用史料来源。这些资料大部分是未正式发表的材料, 一般由整编单位印发。下面表 3 按印发的时间先后列出 15 种资料。其中 2 及 7 两种是在五百年旱涝研究协作的基础上印的, 包括了我国东部大部分地区。其它各种资料又对长江上游、我国西北及西南地区作了重要的补充。

表 3 旱涝史料来源

Tab. 3 Sources of the flood/drought categories

编号	来 源
1	广东省自然灾害史料 文史研究馆编, 1963
2	华北、东北近五百年旱涝史料 北京大学地球物理系等, 1975
3	山东省气候历史记载初步整理 江苏省地理研究所, 1975
4	内蒙古及邻近地区气象灾害旱涝丰欠年表 内蒙古自治区气象科学研究所, 1975
5	甘肃、宁夏、青海三省区气候历史记载初步整理 江苏省地理研究所, 1976
6	河南省西汉以来历代灾情史料 河南省气象局科研所, 1976
7	华东地区近五百年气候历史资料 上海气象局等, 1978
8	宁夏回族自治区近五百年气候历史资料 宁夏气象局, 1978
9	青海东部近五百年气候史资料 青海省气象科学研究所, 1978
10	四川省近五百年旱涝史料 四川省气象局资料室, 1978
11	云南天气灾害史料 云南省气象科学研究所, 1978
12	安徽省近五百年旱涝分析 安徽省气象科学研究所, 1981
13	河南省历代旱涝等水文气候史料 河南省水文总站编, 1982
14	贵州历代自然灾害年表 贵州省图书馆编 贵州人民出版社, 1982
15	海河流域历代自然灾害史料 河北省旱涝预报课题组编 气象出版社, 1985

表 2 不同时期仪器观测降水量记录所占百分比

Tab. 2 Percentage of the observed records during the different periods

1880~ 1899	1900~ 1950	1951~ 1998	1880~ 1998
22.6%	69.0%	100.0%	73.7%

划分冬、春、秋三个季度降水量级别的方法基本与夏季相同,可参看文献 [1]。表 4、表 5 举出冬、春各一个例子。1886~1887 年冬季长江流域及其以北地区大范围多雨,沿江几个站降水量正距平均在 50% 以上。根据仪器观测记录,这个冬季烟台降水达 95.3mm (距平百分率为 114%),上海为 239.6mm (62%),芜湖 221.0mm (53%),汉口 209.3mm (64%),宜昌 107.9mm (54%)。关于这个冬季大雪的记载非常多,表 4 中给出了一些例子。1891 年春则是一个大范围干旱的例子,根据仪器观测记录,烟台降水 26.2mm (距平百分率为 -67%),上海为 172.7mm (-36%),芜湖 140.9mm (-59%),汉口 295.6mm (-29%),北京 11.8mm (-79%)。这年也有不少春旱的记载(表 5)。通过这两个例子,大体上可以看到根据史料来判断冬、春、秋季降水级别也是可能的。当然,并不是 35 个站中每个站每个季都能找到史料,一般在缺少降水量观测记录的季节中大约有一半时间有史料,而另一半时间则不得不依靠降水级别图内插。不过,从 1880~1998 年这 119 年来看,有降水量观测以及有史料的情况占了 86.9%,其中 73.7% 为降水量观测,13.3% 为史料。所以,应该说这个序列主要是根据降水量观测建立的。

表 4 1886~1887 年冬季旱涝史料

Tab. 4 Some examples of the flood/drought categories in the winter of 1886-1887

省份	站名	年份	记 载
江苏	淮阴	1886	宿迁,十二月十六日雪,明年正月初七始止。
	镇江	1886	句容,大雪,溧阳十二月大雪,树介。
	扬州	1887	兴化,正月大雨雪。
	南京	1886	南京冬十二月大雪经月,折木坏屋,平地深五尺。汇浦冬十二月大雪旬日,除夕尤甚,平地深六尺余。(1887)南京春正月山水发,冲圯东水关外石闸。
安徽	宿县	1886	五河冬大雪。
	六安	1886	舒城冬大雪,平地深六尺。
	安庆	1887	怀宁正月大雪,平地三、四尺。
湖北	汉口	1886	冬大雪,平地六、七尺,河港坚冰,上可通车。
	沔阳	1886	冬大雪,平地深四、五尺。
	枣阳	1886	十二月大雪,深数尺。
	安陆	1886	十二月二十四日至三十日大雪积深六尺。
河南	修武	1886	大雪深三尺,自(1886)十月十六日至(1887)正月二十日始消。
	获嘉	1886	大雪深二、三尺。
	鄢陵	1886	冬大雪寒甚,树木房屋皆生白毛。
	信阳	1886	十二月中连续大雪,路两边雪齐人肩。

表 5 1891 年春季旱涝史料

Tab. 5 Some examples of the flood/drought categories in the spring of 1891

省份	站名	年份	记 载
山东	临朐	1891	二月至五月不雨
	蒙阴	1891	春三月旱
陕西		1891	入春以来雨泽衍期,自四月以来未得透雨
上海	嘉定	1891	春夏大旱
江苏	溧阳	1891	自春徂夏旱
	盐城	1891	旱蝗
	兴化	1891	夏五月旱、蝗
湖北	利川	1891	春大饥

如上所述, 1880~ 1899 年期间绘制了四季降水级别图, 作为一个例子, 图 2 中给出了 1891 年 35 个站四个季的降水级别分布图。1900~ 1970 年有逐月降水级别图。接下来的问题就是如何把这两种级别转换为降水量。

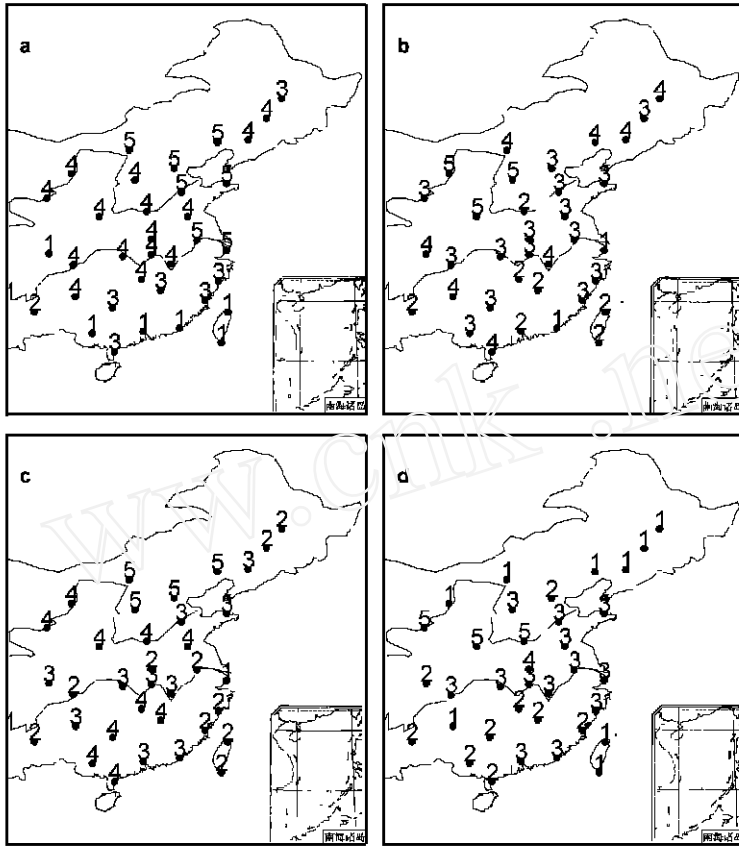


图 2 1891 年 35 站的降水级别

Fig. 2 Precipitation categories for the 35 stations in 1891

(a) 春季 (b) 夏季 (c) 秋季 (d) 冬季

(a) spring (b) summer (c) autumn (d) winter

#### 4 降水级别转换为降水量距平

首先我们作 1900~ 1950 年间的月降水量的转换。月降水级别是根据概率来划定的, 只不过当时的基本资料为 1919~ 1959 年。但 1951 年以前降水量序列长短不齐, 且有许多中断, 为了求得每个站每个级对应的降水量, 我们根据 1951 年以来的资料按相同概率分布重新划级, 得到 1951 年 1 月以来历年各月 35 个站的降水级别。这个级别序列与气象科学研究所 1900~ 1970 年的级别序列有 20 年 (1951~ 1970 年) 是重复的, 因此可以比较两个月降水级别序列。计算各站各月两种降水级别序列的相关系数, 一般在 0.78~ 0.92 之间, 平均 0.86。大部分时间级别相同或仅差一级。因此, 可以认为 1900~ 1970 年及 1951~ 1998 年两个月降水级别序列基本是一致的。这样就根据后一时期比较完整的降水量资料来把

1900~ 1950 年的月降水级别转换为降水量; 1951 年 1 月以后一律用实测降水量。这样就得到了完整的 35 个站 1899 年 12 月以来的降水量序列。然后按 12 月~ 2 月、3 月~ 5 月等合成为冬、春、夏、秋四季的降水量。其中在作月降水级别到降水量转换时, 根据有关资料补绘了 1899 年 12 月的降水量级别图, 使 1900 年冬 (即 1899-12~ 1900-02) 有一个完整的冬季资料。

图 3 给出了长沙站夏季降水的一个例子, 图 3b、c 和 d 分别为 6、7 和 8 月 1900~ 1950 年的降水级别。将 1951 以来观测记录 3 个月的降水量分别按划分级别同样概率分 5 级, 即 1 级与 5 级的概率为 1/8, 其余的 3 个级别的概率为 1/4。将各级所有年的观测降水平均即作为每级对应的降水。这样计算出 1900~ 1950 年长沙各月降水量, 6~ 8 月相加即为夏季的降水量。

其次, 再讨论 1880~ 1899 年降水量序列的重建。如上所述, 根据史料但也应用了所有可用的降水量观测记录, 建立了 1880 年冬 (代表 1879-12~ 1880-02) ~ 1899 年秋四季各 20 年 35 站的季降水级别。由于划分季降水级别的原则与绘制《中国近五百年旱涝分布图集》相同, 所以对 1951~ 1998 年的季降水量也按这个概率分级, 求出每级的平均降水量, 用这个级平均降水量对 1880~ 1899 年期间作转换, 这样就得到 1880~ 1899 年秋四季的降水量。

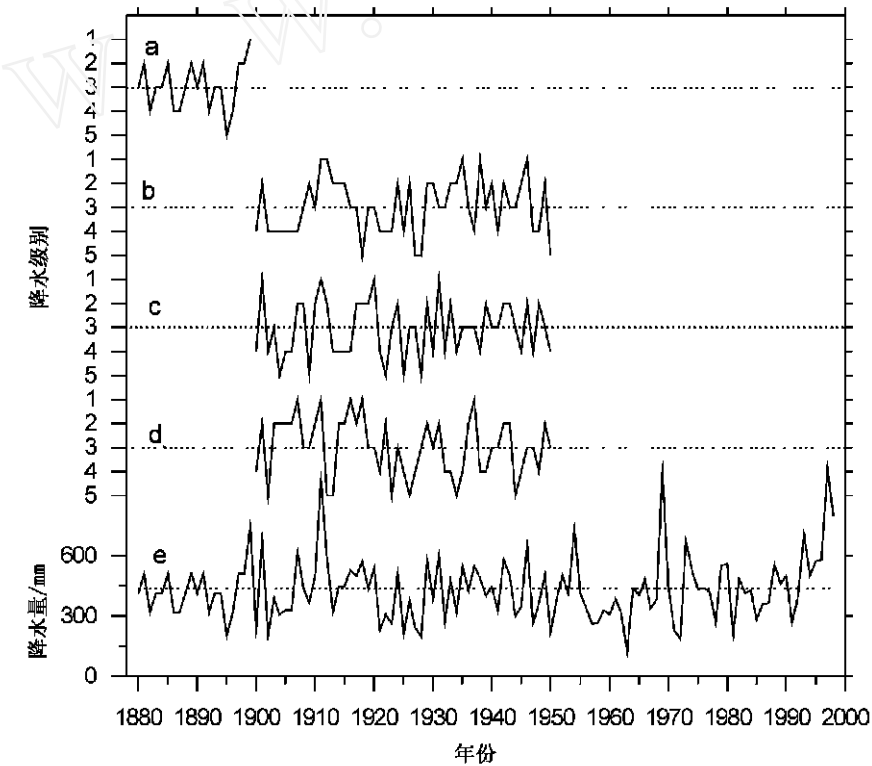


图 3 长沙站夏季降水序列

Fig. 3 Summer rainfall time series of Changsha station

- (a) 夏季降水级别 (b) 6 月降水级别 (c) 7 月降水级别 (d) 8 月降水级别 (e) 夏季降水量序列
- (a) categories of summer (b) categories of June (c) categories of July (d) categories of August
- (e) summer precipitation amount calculated from the categories, in mm

与前面得到的 1900 年冬以来的序列连接就得到四季近 119 年的降水量序列。把春、夏、秋、冬四季相加,就得到年降水量。由于冬季是 12 月~ 2 月,所以这个年降水量序列不是每年 1 月~ 12 月的和,而是当年 3 月~ 下年 2 月的和。

下面我们扼要讨论一下这个序列可能包含的误差,或者叫作不确定性。表 6 给出 3 段时间各级出现的频率。显然,频率的分布大体上是一致的,不过最后一段时期资料最完整,又是整个序列的标定时期,即用来求各级所对应的降水量的时期,所以频率分布最规整。顺便指出,一般求多年平均往往取 30 年平均。计算概率分布似乎也应该用 30 年,但考虑到 1900~ 1970 年的月降水级别定级时用了 40 年,同时,中国的降水有 30~ 40 年周期,所以我们用 1951 年以来的全部资料标定时期。1880~ 1899 年 1 级与 5 级频率稍低,3 级频率稍高,这是因为主要依靠史料的缘故。不过无论如何,总的分布趋势是一致的。因此,可以认为这 3 个时期的级别序列是可以衔接的。

表 6 不同时期降水量级别的频率 (%)  
Tab. 6 Frequencies of the precipitation categories (%)

时 期	1	2	3	4	5
1880~ 1899	9.3	24.4	35.3	22.4	8.6
1900~ 1950	9.1	26.8	27.8	26.9	9.4
1951~ 1998	10.9	26.0	26.2	26.0	10.9

当然,用级平均降水量作为该季降水量显然是有误差的。为了判断这个误差的大小,把 1951 年以来历年各站各季降水量对该季所对应的级的平均降水量求距平,然后分季计算标准差。最后把这个标准差与历年对多年平均计算的标准差比较,平均为 0.28。显然,这是一个可以接受的数字。

根据上述各种处理和计算,就得到了 1880 年以来我国东部 35 站四季和年降水量序列。图 4 给出了东部平均的降水量序列。为了比较此平均降水量序列的代表性,图 5a 给出 1951~ 1990 年 165 个站平均年降水量,与 35 个站比较,165 个站平均降水量要小一些,这是因为包括了西部大范围干燥区,但两者的变化趋势是很相似的。40 年的相关系数达到 0.95。我们还可以与更多站求得的中国降水量曲线比较。图 5c 为王伯民<sup>[7]</sup>给出的 384 个站的降水标准序列,两者的相关系数达到 0.86。可见用 35 个站确实能较好地反映中国降水量的变化。此外,35 个站平均降水序列,还能在相当大程度上反映中国的旱涝变化,图 5d 为文献 [3] 中给出的全国受旱站数减受涝站数曲线,为了便于比较,坐标向下为正,可以看出与图 3a 的关系相当好,两者的相关系数为 -0.84。因此,我们可以认为 35 个站的序列基本上能代表中国的降水变化。

## 5 1880~ 1998 年中国降水量变率的初步分析

普遍的观点认为近百年来气温变暖,可能已经造成全球平均降水量的增加。Hulme<sup>[9]</sup>根据 1900~ 1994 年资料计算,发现全球陆地平均降水与温度相关系数在年际尺度上为 +0.36,在年代际尺度上为 +0.51,显著性都超过 99.9%。对温室气体增加、全球变暖情景的模拟也显示,如果温度上升 1℃,全球平均降水增加量在 1.5%~ 3.0% 范围<sup>[10,11]</sup>。不



过, Hulme<sup>[9]</sup>也指出, 气温与降水的关系在各个地区有很大的差异。那么, 中国降水是否也与全球增暖有关呢? 这也是人们关心的一个问题。王伯民<sup>[7]</sup>根据 384 个站 1951~ 1990 年资料, 计算得到- 46.5 mm/100a。由于全国平均降水量大约在 850 mm 左右 (用不同站计算结果不同)。因此, 这大约相当百年减少 5.5%。但是这只是近 40 年的结果。用本文的平均序列, 同样对 1951~ 1990 年计算得到- 65.6 mm/100a。由于 35 个站平均降水量为

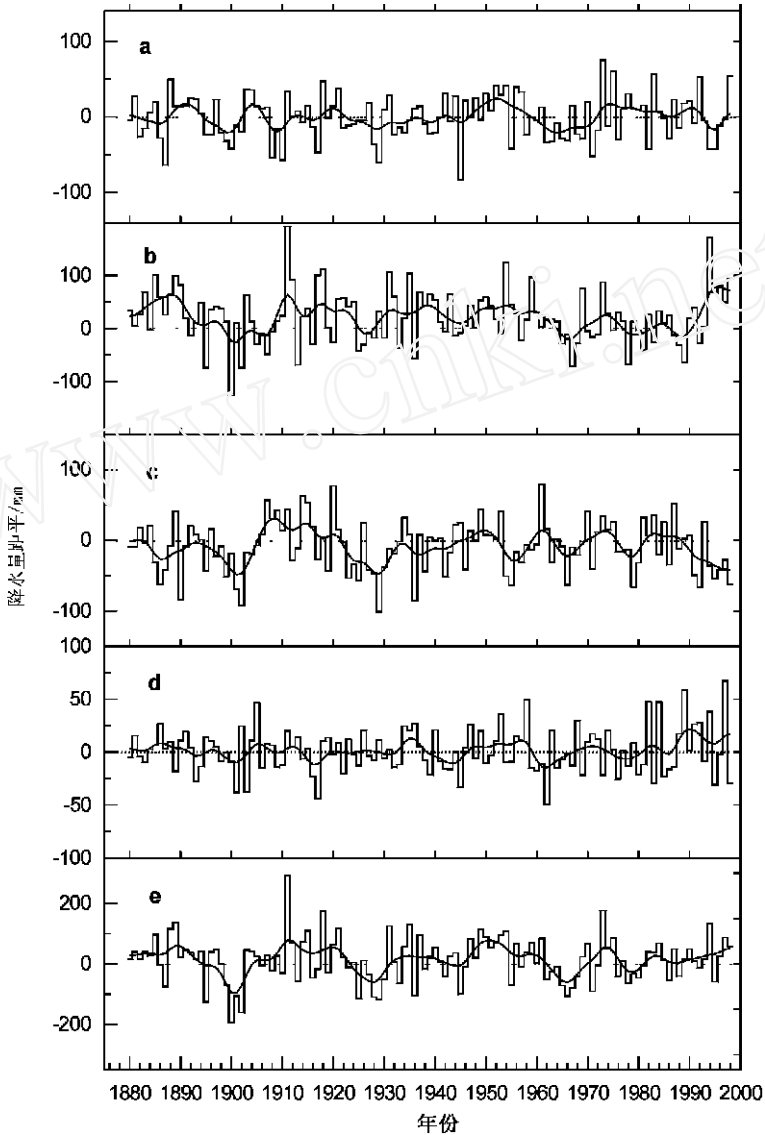


图 4 我国东部四季平均降水量距平

Fig. 4 A anomalies of the mean precipitation over the eastern China  
 (a) 春季 (b) 夏季 (c) 秋季 (d) 冬季 (e) 年降水量  
 距平为对 1961~ 1990 年平均  
 (a) spring (b) summer (c) autumn (d) winter (e) annual  
 respected to 1961~ 1990

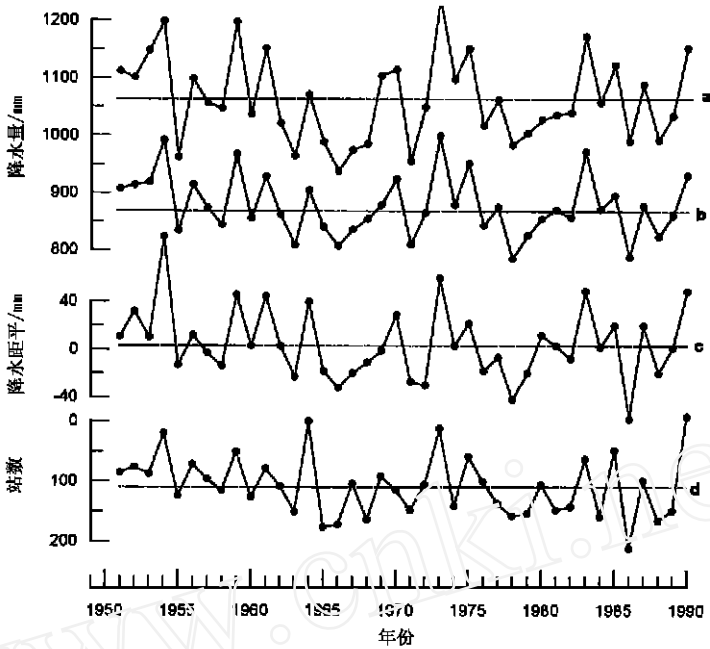


图 5 反映中国年降水的不同序列的比较

Fig. 5 Different annual precipitation series

(a) 165 站平均 (b) 35 站平均 (c) 384 站平均 (d) 旱减涝站数

In the terms of mean of 165 (a), 35 (b), 384 (c) stations and the numbers of flood stations minus drought stations (d)

1 052.4 mm, 相当于百年减少 6.2%, 与王伯民的结果相当接近。对东亚地区的 7 个气候模式模拟结果也表明, 当全球升温 1 时, 东亚各季的降水都有不同程度的增加, 春、夏、秋、冬四季幅度分别为 4.2%、3.8%、3.0% 和 3.5%<sup>[12]</sup>。对最近 30 a (1969~ 1998) 分析, 我国年降水量增加趋势达 5.0%/100a, 其中夏季和冬季降水增加尤其突出。文献 [13] 指出, 我国东部地区夏季的降水与北半球平均温度的变化趋势有很好的 consistency, 因此推测最近 20

多年来我国夏季的多雨可能与全球变暖的加剧有关。不过, 全球增暖至少是从 19 世纪后期即开始了, 已经持续了近百年。而计算 1880~ 1998 年我国年降水量趋势, 只有约 + 0.1%/100a。从图 4 中也可以看到, 各季和年的降水量除了有很强的年际波动外, 还有明显的低频变化。图 6 是对东部地区年平均降水量序列的功率谱分析结果。很显然, 突出的峰值集中在两个频率段, 一个极大值对应的是 3.3a, 另一个是 26.7a。前者说明我国东部地区的降水年际尺度变率可能与 ENSO 的影响有关; 而后者则说明我国降水有显著的年代际尺度的变化。这说明近几十年的低频变化, 主要是年代际变化引起的, 而非全为气候变化趋势。

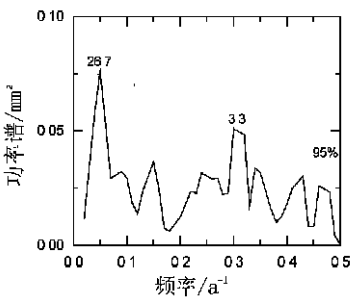


图 6 中国平均年降水量的功率谱分析

Fig. 6 Power spectral analysis of the averaged annual precipitation over eastern China

下面对我国东部平均降水与全球陆地平均降水的变化作一下比较。全球陆地平均降水资料有两个,一个是 IPCC1996 年报告中的序列<sup>[14]</sup>,另一个是 NOAA 的序列<sup>[15]</sup>。比较序列的波动可以发现,中国降水与全球陆地降水的年代际变化也有一些一致之处。计算两个序列与中国降水序列的相关系数,分别为 0.15 及 0.12。具体看,上世纪末全球降水偏多,在世纪交替时出现一个很强的少雨期,中国亦有类似之处。但是全球在 1920 年之前以少雨为主,而中国则是一段降水正常偏多时期。在 1903~1922 年的 20 年间,除 1913 年以外,无很强的干旱年。从 20 年代中期到 30 年代中全球陆地少雨,中国情况类似。但随后 30 年代出现了几个多雨年,而在全球反映不明显。从 40 年代中期到 60 年代初世界范围多雨,中国也出现了多雨期,特别是 1947~1954 年连续 8 年降水为正距平。但全球 80 年代到 90 年代前半期以少雨为主,而中国旱涝交替明显,强多雨年略多于强少雨年。因此,可以认为中国与全球陆地降水的变化趋势有一定的一致性,但是也有时不一致。严中伟曾经指出 60 年代中降水由多转少是一个行星尺度的现象<sup>[16]</sup>。分析表明不仅是 60 年代的干旱,19、20 世纪之交的干旱及 20 年代后期的干旱,中国也同全球陆地降水变化一致。不同的是中国的年代际变化更明显,而全球降水长期趋势较强。不过全球陆地降水中有 3.8 a 左右的比较突出的周期,这可能也反映了 EN SO 的影响。

## 6 结论

主要根据降水量观测资料,并用史料插补,得到了 1880 年以来在中国东部较均匀分布的 35 个站的四季及年平均降水量序列。分析表明 35 个站的平均值对中国有较好的代表性,不仅与 384 个站的气温序列有较好关系,与旱涝频率相关也很高。1880~1998 年我国年降水量并没有明显的趋势,只有约 +0.1%/100a。功率谱分析表明,我国年降水量变化的周期主要是 3.3 a 和 26.7 a,前者可能与 EN SO 的影响有关,后者则表明我国降水有显著的年代际变化。近几十年来我国降水的低频波动可能主要是年代际变化引起的,而并非全为气候变化趋势。

当然,降水的空间特征很小,要研究区域整体特征需要密集的站点资料。虽然 35 站较均匀地覆盖了我国东部地区,以此代表中国也必然会遗漏小尺度的一些特征,今后如果条件成熟,还应该恢复更多站的降水序列。此外,本文的重点是建立降水序列,因此对我国年降水量的变率这里只是初步做些分析,各季及其空间特征将在今后进行更具体的研究。

## 参考文献 (References)

- [1] Wang Shaowu, Zhao Zongci. A analysis of the drought/flood for the last 500 years in China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 1979, 34(4): 329~341. (In Chinese) [王绍武, 赵宗慈. 近五百年我国旱涝史料的分析[J]. 地理学报, 1979, 34(4): 329~341.]
- [2] Central Meteorological Bureau of China. A atlas of the drought/flood category for the last 500 years in China[Z]. Beijing: Map Press, 1981. (In Chinese) [中央气象局气象科学研究所 主编. 中国近五百年旱涝分布图集[Z]. 北京: 地图出版社, 1981.]
- [3] Institute of Atmospheric Physics, Institute of Geography, Chinese Scientific Academe, National Climatic Center. A atlas of the Climatic Disasters in China[Z]. Beijing: Ocean Press, 1997. (In Chinese) [中国科学院大气物理所, 地理研究所, 国家气象中心. 中国气候灾害分布图集[Z]. 北京: 海洋出版社, 1997.]
- [4] Feng Peilan, Li Cuijin, Li Xiaquan et al. Major Meteorological Disasters in China: 1951~1980[M]. Beijing: Meteorological Press, 1985. (In Chinese) [冯佩兰, 李翠金, 李小泉 等. 中国主要气象灾害分析, 1951~1980[M]. 北京: 气象出版社, 1985.]

- [5] He Sulan, Ma Tianjian Spatial characteristics of the precipitation and variability in the last 40 years over China [A] In: Cao Hongxing Short-term Climatic Changes and Causes in China [C] Beijing: Meteorological Press, 1996 25~ 32 (In Chinese) [何素兰, 马天健 近 40 年我国降水及变率的分布特征 [A] 见: 曹鸿兴 主编 我国短期气候变化及成因研究 [C] 北京: 气象出版社, 1996 25~ 32 ]
- [6] Ma Tianjian, He Sulan Characteristics of the drought/flood in the last 40 years over eastern China [A] In: Cao hongxing Short-term Climatic Changes and Causes in China [C] Beijing: Meteorological Press, 1996 33~ 42 (In Chinese) [马天健, 何素兰 近 40 年我国东部地区旱涝特征 [A] 见: 曹鸿兴 主编 我国短期气候变化及成因研究 [C] 北京: 气象出版社, 1996 33~ 42 ]
- [7] Wang Bom in Trends analysis for the standard precipitation time series of China [A] In: Proceeding of Climatic Changes and Numerical Modeling (Series A) [C] Beijing: Meteorological Press, 1996 200~ 206 (In Chinese). [王伯民 我国降水标准序列的趋势变化分析 [A] 见: 85-913 项目 02 课题论文编委会 编 气候变化规律及其数值模拟研究论文 (第一集) [C] 北京: 气象出版社, 1996 200~ 206 ]
- [8] Zhang Mingli Precipitation changes in eastern China during the last century [J] *Atmospheric Science*, 1993, 17(4): 451~ 461 (In Chinese) [章名立 中国东部近百年雨量变化 [J] 大气科学, 1993, 17(4): 451~ 461 ]
- [9] Hume M. Recent climatic change in the world's dry land [J] *Geophys. Res. Letters*, 1996, 23(1): 61~ 64
- [10] IPCC. Climate Change: the IPCC Scientific Assessment [M] Cambridge: Cambridge University Press, 1990 137~ 164
- [11] Hume M, Osborn T J, Johns T C Precipitation sensitivity to global warming: Comparison of observations with HadCM 2 simulations [J] *Geophys. Res. Letters*, 1998, 25(17): 3379~ 3382
- [12] Hume M, Wigley T, Zhao Zongci et al Greenhouse warming and induced impacts on China [R] CRU/WWF/SMA, Switzerland, 1992 57. [Hume M, Wigley T, 赵宗慈 等 温室效应引起的气候变化以及对对中国的影响 [R] CRU/WWF/SMA, Switzerland, 1992 57.]
- [13] Gong Daoyi Global warming and summer flooding risk in China [J] *J. Natural Disaster*, 1999, 8(3): 30~ 37. (In Chinese) [龚道溢 气候变暖与我国夏季洪涝灾害风险 [J] 自然灾害学报, 1999, 8(3): 30~ 37.]
- [14] IPCC. Climate Change 1995: The Science of Climate Change [M] UK: Cambridge University Press, 1996 152~ 156
- [15] WMO, UNEP. The Global Climate System, Climate System Monitoring, Dec 1988~ 1991, 1992 [M] Centrooffset, Siena, 1995 25~ 29
- [16] Yan Zhongwei, Ji Jinjun, Ye Duzheng Climatic jumps in late 1960s over the northern hemisphere (D) [J] *Sciences in China (B)*, 1990(1): 97~ 103 (In Chinese) [严中伟, 季劲钧, 叶笃正 60 年代北半球夏季气候跃变 (D) [J] 中国科学 (B), 1990(1): 97~ 103 ]

## Seasonal Precipitation Series of Eastern China Since 1880 and the Variability

WANG Shao-wu<sup>1</sup>, GONG Dao-yi<sup>2</sup>, YE Jin-lin<sup>1</sup>, CHEN Zhen-hua<sup>1</sup>

(1. Department of Geophysics, Peking University, Beijing 100871;

2. Institute of Resources Science, Beijing Normal University, Beijing 100875)

**Abstract** The seasonal and annual precipitation series of 35 stations over eastern China were established using the observations as well as proxy data. All the time series cover the period 1880~ 1998. During the period 1880~ 1889, the observed precipitation records are available only for several stations. The huge gap in the data were filled using the historical materials which are used in the past climate reconstruction fruitfully. During the period 1900~ 1950, the Precipitation Grade Map was applied, and some data gaps were resolved using the documentary evidence too. Since 1951, precipitation observations have been

available. During the 3 different periods of time, the observations account for 22.6%, 69.0% and 100% of the total amount of data respectively.

All documentary evidence used in this paper is transformed into 5 precipitation categories for every season. The standard is the same as that of used by the China Flood/drought Category Map for the Last Five Centuries, i.e., category 1 is heavy flood, 2 is flood, 3 is normal, 4 is drought and 5 is heavy drought. The frequency of the categories is  $1/8$  for categories 1 and 5 and  $1/4$  for the three others. Then, all precipitation categories are transformed into the precipitation amount by the specific functions determined using the recent observed data. Thus, the seasonal precipitation data of all the 35 stations are obtained, and added into the annual amount in the order of spring, summer, autumn and winter. And the possible errors in the transformation are estimated, in averaging less than 28% of the actual rainfall values.

The variability of the annual precipitation is preliminarily analyzed. There are no obvious trend, only  $+0.1\%/100a$  when calculated using the data of whole period 1880~1998. However, there are significant low-frequency variations for both the seasonal and annual precipitation series as shown in Figure 2. Power spectral analysis demonstrated that there are evident cycles of 3.3a and 26.7a. The annual-time-scale period of 3.3a may be related to the ENSO, and the period of 26.7a suggests that there is strong interdecadal variability in the precipitation of China. The significant rainfall variations in the past several decades may be caused by the interdecadal changes, and have no strong association with the global climate trends as expected in some diagnostic and modeling studies.

**Key words:** China; precipitation; variability