

长江 黄河

流域旱涝规律和成因研究

叶笃正

黄荣辉

等著

山东科学技术出版社

长江黄河流域 旱涝规律和成因研究

叶笃正 等著
黄荣辉

山东科学技术出版社

长江黄河流域旱涝规律和成因研究

叶笃正 黄荣辉 等著

*

山东科学技术出版社出版

(济南市玉函路 邮政编码 250002)

山东省新华书店发行

山东新华印刷厂德州厂印刷

*

787×1092 毫米 16 开本 25 印张 4 插页 560 千字

1996 年 12 月第 1 版 1996 年 12 月第 1 次印刷

印数:1—1000

ISBN7—5331—1903—7

P·19 定价:50.00 元

内容简介

本书系统地总结了近年来关于长江、黄河流域旱涝规律、成因和预测的研究。内容包括四部分：长江、黄河流域旱涝规律；造成长江、黄河流域旱涝的大尺度环流持续性异常；长江、黄河流域旱涝成因；长江、黄河流域旱涝的数值模拟和预测试验。本书不仅对长江、黄河流域的旱涝进行系统的分析，指出此两流域旱涝变化的阶段性和突变性；而且对于我国气候变化情况及其成因作了较详细的分析。本书从气候系中各图层面相互作用的新观点来阐述长江、黄河流域旱涝成因，不仅提出了此两流域旱涝形成的物理模型，而且从宏观事实、动力理论和数值模拟等方面指明并提出了热带太平洋热力状态，特别是西太平洋暖池热状态及其上空对流活动、青藏高原热源、季风及其低频振荡、西风带的瞬变扰动等对此两流域旱涝形成的作用及其理论；此外，还给出了旱涝的数值模拟和预测试验结果。本书可供气候研究，特别是从事旱涝研究和预测工作者使用，亦可供有关大专院校师生、天气和海洋的有关研究工作者、广大的气象台站业务工作者以及水利、农业、防灾减灾有关部门的人员使用和参考。

山东省泰山科技专著出版基金会

名誉会长 赵志浩 宋木文 陆懋曾 伍 杰

卢鸣谷 董凤基 宋法棠

会 长 陈光林 石洪印

副 会 长 宋桂植 何宗贵 吕可英 车吉心

孙肇琨 王为珍(常务副会长)

秘 书 长 王为珍(兼)

副 秘 书 长 尹兆长

理 事 (以姓氏笔画为序)

王为珍 王凤起 尹兆长 刘韶明

李道生 李德泉 张传礼 陈 刚

蒋玉凤

评审委员会 (以姓氏笔画为序)

王思敬 卢良恕 师昌绪

吴阶平 杨 乐 何祚庥

汪成为 高景德 唐敖庆

蔡景峰 戴念慈

山东省泰山科技专著出版基金会赞助单位

山东省财政厅

山东省出版总社

山东省科学技术委员会

山东科学技术出版社

山东泰山酿酒饮料集团总公司

董事长兼总经理张传礼

山东金泰集团股份有限公司

董事长兼总裁刘黎明

我们的希望

进行现代化建设必须依靠科学技术。作为科学技术载体的专著,正肩负着这一伟大的历史使命。科技专著面向社会,广泛传播科学技术知识,培养专业人才,推动科学技术进步,对促进我国现代化建设具有重大意义。它所产生的巨大社会效益和潜在的经济效益是难以估量的。

基于这种使命感,自 1988 年起,山东科学技术出版社设“泰山科技专著出版基金”,成立科技专著评审委员会,在国内广泛征求科技专著,每年补贴出版一批经评选的科技著作。这一创举已在社会上引起了很大反响。

1992 年,在山东省委、省政府的支持下,在原“泰山科技专著出版基金”的基础上,由山东省出版总社、山东省科学技术委员会和山东科学技术出版社共同成立了“山东省泰山科技专著出版基金会”,并得到企业界的热情赞助,为资助学术专著的出版提供了更加可靠的保证。

但是,设基金补助科技专著出版毕竟是一件新生事物,也是出版事业的一项改革。它不仅需要在实践中不断总结经验,逐步予以完善;同时,也更需要社会上有关方面的大力扶植,以及学术界和广大读者的热情支持。

我们希望,通过这一工作,高水平的科技专著能够及早问世,充分显示它们的价值,发挥科学技术作为生产力的作用,不断推动社会主义现代化建设的发展。愿基金会支持出版的著作如泰山一样,耸立于当代学术之林。

泰山科技专著评审委员会

1992 年 12 月

前 言

长江、黄河流域是我国工农业主要基地,在此两流域所发生的干旱和洪涝灾害是我国自然灾害中造成经济损失最严重的气候灾害,它每年造成数十亿公斤的粮食损失并影响其它工农业生产。据不完全统计,此两流域发生的旱涝灾害造成的经济损失约占全国气象灾害造成的总损失的 60%左右。为此,从 1987 年到 1992 年在国家自然科学基金委员会和中国科学院资源环境局资助下,由中国科学院大气物理研究所主持,联合北京大学地球物理系、南京大学大气科学系、国家气象中心、中国气象科学研究院和广东热带海洋研究所等有关单位,开展了对我国长江、黄河两流域旱涝规律、成因与预测研究。为了能使上述研究成果更好地应用到实践中,以便提高我国旱涝预测水平,我们把上述主要研究成果总结成此书。

本书系统分析了我国长江、黄河流域旱涝发生的历史、年代际、年际以及季节内变化规律和发生的环流条件;阐述了长江、黄河流域不同时间尺度旱涝发生规律以及它们的空间分布类型和变化特征,进一步认识了形成此两流域旱涝大尺度环流的持续性异常情况;并对此两流域旱涝成因进行了各种诊断和分析,对其旱涝成因提出了有物理依据的看法,指出:热带的 ENSO 事件、热带西太平洋暖池的热力状态与菲律宾周围的对流活动以及青藏高原上空的热源是影响这两流域旱涝的主要原因。本书还阐述了利用气候模式对影响两流域旱涝发生的东亚季风环流和东亚夏季风降水的数值模拟以及利用不同方法对此两流域夏季旱涝的分布进行的预测研究。

本书各章节分别由以下学者撰写:第一章,黄荣辉、王绍武、符淙斌、陈烈庭、叶笃正、严中伟;第二章,丁一汇、陈烈庭、孙淑清、黄荣辉、胡增臻;第三章,丁一汇、李月洪、宋正山、黄荣辉;第四章,李崇银、黄荣辉、吴国雄;第五章,符淙斌、黄荣辉、陈烈庭、季劲钧;第六章,宋正山、叶笃正、朱抱真、黄荣辉;第七章,袁重光、李崇银;第八章,黄荣辉、袁重光、胡增臻;第九章,叶笃正、黄荣辉。此外,孙柏民、杨辉、傅晓卫等同志也参加了有关章节的撰写。本书主要论点和章节安排是由叶笃正和黄荣辉与上述有关学者商讨后提出,最后又在胡增臻、余斌、陆日宇和刘爱娣协助下经过叶笃正和黄荣辉统一定稿,完成此书撰写工

作。陈于湘同志在本书的文字修改和联系出版,王婉文同志在本书打印、排版和绘图等方面做了大量工作,刘春燕同志承担部分文章打印工作,对于以上同志的鼎力相助,借此书出版之际,谨对他们以及参加本项目研究而未参加本书撰写的同志表示衷心的感谢。

本书插图中中国国界线系按照中国地图出版社 1989 年出版的 1:400 万《中华人民共和国地形图》绘制,并由李亚萍、洪本蕙两位先生在百忙中予以审校,在此亦表示谢意。

由于造成长江、黄河流域旱涝的环流与物理因子是相当复杂的,我们所做的研究只是初步的,故书中肯定有论述不充分、不全面之处,望读者批评指正。

作 者

1996 年 5 月 20 日

目 录

前 言	(1)
第一章 长江、黄河流域旱涝特征	(1)
§ 1.1 长江、黄河流域旱涝的气候背景	(1)
§ 1.2 近 100 年旱涝气候变化的阶段性和突变性	(11)
§ 1.3 旱涝的年际变化	(20)
§ 1.4 降水时空分布的基本类型	(35)
§ 1.5 降水的季节内变化	(46)
§ 1.6 我国降水与全球降水变化的关系	(53)
第二章 大尺度环流的持续异常与长江、黄河流域旱涝	(61)
§ 2.1 黄河流域旱涝发生的北半球背景环流异常特征	(61)
§ 2.2 黄河流域旱涝发生的主要大尺度环流型	(65)
§ 2.3 长江流域旱涝发生的主要大尺度环流场	(69)
§ 2.4 中纬度阻塞高压形势在旱涝形成中的作用	(77)
§ 2.5 副热带高压活动及其在旱涝形成中的作用	(80)
§ 2.6 季风变化与旱涝关系	(84)
§ 2.7 东亚冬季风与夏季江淮流域旱涝的关系	(93)
第三章 长江、黄河流域旱涝时期的热量和水汽收支分析	(105)
§ 3.1 亚洲季风区大气总热量和水汽潜热源汇的计算及其分布	(105)
§ 3.2 亚洲季风区大气总热量和水汽潜热源汇的 10 年平均分布	(107)
§ 3.3 大气总热量和水汽潜热源汇的年际变化及其与长江、黄河流域 夏季旱涝分布的关系	(111)
§ 3.4 夏季东亚季风区水分输送异常与长江、黄河流域旱涝发生的关系	(126)
§ 3.5 典型旱涝时期的热量收支	(131)
§ 3.6 典型旱涝时期的水分平衡	(140)
§ 3.7 长江、黄河流域夏季降水异常的综合分析	(158)
第四章 长江、黄河流域旱涝形成的动力学分析	(169)
§ 4.1 大气低频振荡与旱涝的关系	(169)
§ 4.2 瞬变涡动输送在旱涝形成中的作用	(185)
§ 4.3 热带西太平洋对流活动对旱涝的影响	(194)
§ 4.4 东亚—北美型行星波列与我国东部旱涝的关系	(205)
§ 4.5 大气内部反馈过程的影响	(216)
第五章 海洋和地表热状况在长江、黄河流域旱涝形成中的作用	(222)
§ 5.1 ENSO 事件与旱涝	(222)

§ 5.2	西太平洋暖池海温变化与旱涝	(237)
§ 5.3	印度洋和南海海表温度变化与旱涝	(243)
§ 5.4	地表状况和干湿气候区对于气候异常持续的影响	(258)
第六章	青藏高原的气候效应及其对长江、黄河流域旱涝的影响	(264)
§ 6.1	青藏高原的气候效应	(264)
§ 6.2	青藏高原在降水年际变率中的作用	(273)
§ 6.3	青藏高原在异常环流维持中的作用和对我国东部大陆旱涝 气候的影响	(285)
§ 6.4	青藏高原对行星尺度环流维持与异常的热力作用	(290)
第七章	东亚夏季风和旱涝的数值模拟研究	(302)
§ 7.1	东亚夏季风的数值模拟	(302)
§ 7.2	夏季旱涝的数值模拟	(312)
§ 7.3	大气对外源强迫响应的数值模拟	(321)
第八章	旱涝预测研究	(337)
§ 8.1	可用于旱涝预测的大气、海洋前期强信号	(337)
§ 8.2	简化动力学模式在旱涝预测中的应用研究	(343)
§ 8.3	环流模式在旱涝预测中的应用研究	(352)
§ 8.4	旱涝预测试验与问题	(358)
第九章	总 结	(366)
§ 9.1	关于长江、黄河流域旱涝发生的规律和特征	(366)
§ 9.2	长江、黄河流域旱涝的大尺度环流条件	(367)
§ 9.3	长江、黄河流域旱涝成因	(367)
§ 9.4	东亚夏季风和旱涝的数值模拟及其预测	(370)
§ 9.5	今后的研究	(371)
参考文献		(372)
公式中所用符号说明		(385)
英文缩写索引		(388)

第一章 长江、黄河流域旱涝特征

长江、黄河流域地处东亚,由于受季风的影响,其降水时空变化是很大的。本章从不同时间尺度和空间分布来分析研究长江、黄河两流域旱涝发生的时空特征;从千年以上的降水史料和记载来分析旱涝的历史背景;从近百年降水资料和其它气候资料来分析旱涝变化的阶段性和气候变化的突发性;从近 40 年降水详细资料来分析旱涝的年代际、年际和季节内变化以及空间分布的规律和特征。此外,还分析了我国旱涝和全球旱涝的关系。

§ 1.1 长江、黄河流域旱涝的气候背景

为了研究长江、黄河流域旱涝特征,有必要了解此两流域旱涝的历史状况,以便对长江、黄河流域旱涝发生的气候背景有所认识。

1.1.1 长江、黄河流域旱涝的经济影响

长江流域西起西藏、云南,东到江苏、浙江,包括其支流涉及 18 个省市,约覆盖 $1.8 \times 10^6 \text{ km}^2$ 。黄河流域经青海至山东的 9 个省及自治区,约覆盖 $0.8 \times 10^6 \text{ km}^2$,两者合计约占我国国土面积的 $1/4$ 强,而且流域之内多良田、城镇。因此,长江、黄河流域的旱涝研究对工农业的发展有举足轻重的意义。

习惯上人们一般把气候灾害和天气灾害统称为气象灾害。不过,它们还是有区别的。气候灾害是指大范围、持续性的气候异常所造成的灾害,它主要是旱灾、涝灾、低温冷害等;而天气灾害是指局地性、短时间发生的强烈天气而带来的灾害,它主要有台风、暴雨、冰雹等,下面给出根据 30 余年灾害损失情况的大概统计结果。

从图 1.1.1 中可以看到旱涝灾害所造成的经济损失最为严重,约占气象灾害造成的总损失中的 78%,其中干旱造成的经济损失约占 50%,而洪涝造成的经济损失约占 28%。

根据许多研究表明,旱灾多发生在华北、黄河流域,其次是长江中游、南岭附近和云贵高原;而涝灾主要集中在长江中下游、淮河流域和东南沿海。图 1.1.2 是我国各区域气候灾害造成的粮食减产占全国粮食总减产的比例,可以看到长江、黄河流域是我国旱涝灾害最严重的两个区域,而区域的旱涝灾害所造成的粮食减产约占全国由于气象灾害造成的粮食总减产的 60% 左右。

例如,近百年来长江流域的 3 次大涝就曾造成巨大的经济损失(表 1.1.1)。受灾耕地以百万公顷计,受灾人口以亿计。1991 年单此一项的经济损失就超过了 80 年代末我国各种自然灾害一年损失的总和(约 500 亿元),可见影响巨大。

黄河流域的洪涝灾害也是很频繁的。据统计自周定王五年(公元前 602 年)到 1938 年共 2540 年期间,黄河决口泛滥的竟有 543 年,即平均约 5 年决口一次,其中大改道达 26 次之多。

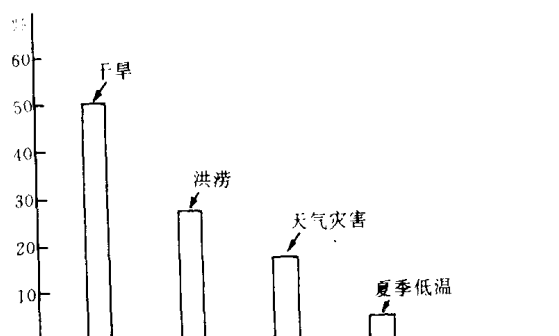


图 1.1.1 由于天气气候造成的经济损失中各种气候灾害所造成的经济损失的比例

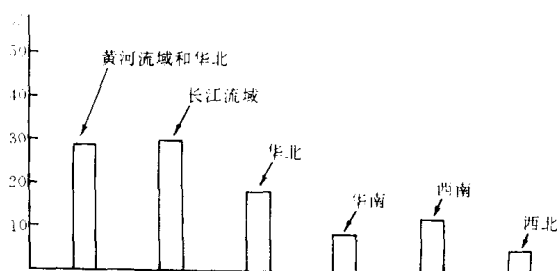


图 1.1.2 各区域气候灾害造成的粮食减产的比例

表 1.1.1 1931 年、1954 年及 1991 年长江流域洪涝的影响*

年份	受灾耕地 (10^6hm^2)	受灾人口 (亿)	降水特征	经济损失 (亿元)
1931	18.5	1.0	超过常年 100%	
1954	3.7	0.2	超过常年 100% 以上	200
1991	14.8	1.2	下游比常年多 100%~300%	600~800

* 经济损失均按当时价值评估。

同时,干旱的影响也十分严重,如 1978 年长江中下游的干旱,受旱农田达 $5.4 \times 10^6 \text{hm}^2$,仅仅因为播种面积的减少,水稻即损失 $2 \times 10^9 \text{kg}$ 。蓄水量减少 $10 \times 10^9 \text{m}^3$ 以上。新安江水电站发电量比常年减少 60%。又如 1986 年黄河流域受旱 $20 \times 10^6 \text{hm}^2$,成灾率达 50% 以上。粮食减产 8%,损失粮食 $8.6 \times 10^9 \text{kg}$ 。1972 年黄河流域也是一个大旱年,仅秋粮就减产 $3.9 \times 10^9 \text{kg}$ 。京、津、冀、晋地区水资源比常年减少 $20 \times 10^9 \text{m}^3$ 。估计造成经济损失 100 亿元(王绍武、黄朝迎等,1993)。

由此看来,加强对长江、黄河流域旱涝的研究,提高旱涝气候预报的水平,对防御与减轻旱涝所带来的灾害有重要意义。

1.1.2 从史料分析近千年的旱涝变化

由于降水量观测资料序列较短,不可能研究旱涝的长期变化。但我国有大量的史料,特别关于旱涝的记载十分丰富,因此,有可能用来重建旱涝的古气候序列。但是,这里有两个重要的技术问题:一个是如何把定性的史料量化;另一个是如何与现代观测资料同化。这两个问题是相辅相成的。解决好这两个问题才能建立一个均一的旱涝序列。

首先,要确定旱涝分为几级,并确定各级之间的界限。在气候研究中一般以 $\pm 25\%$ 及 $\pm 50\%$ 为界,分为大涝、涝、正常、旱及大旱 5 级,通常以 1、2、3、4、5 表示。在长期预报中习惯于根据概率分级,也分为 5 级,1 级与 5 级的概率约 $1/8$,其余 3 级概率分别为 $1/4$ 。研究表明,这两种分级的结果,基本上是彼此相容的。所以在旱涝分级时,也采用 5 级,并认为各种定义基本上是等价的(表 1.1.2)。

表 1.1.2

旱涝级的定义

级 别	旱 涝	夏季降水距平 $\Delta R(\%)$	概率(变化范围)(%)	夏季降水距平 ΔR
1	涝	≥ 50	12.5(10~15)	$\geq 1.2\sigma$
2	偏涝	25~50	25(20~30)	$0.3\sigma \sim 1.2\sigma$
3	正常	-25~25	25(30~40)	$-0.3\sigma \sim 0.3\sigma$
4	偏旱	-50~-25	25(20~30)	$-1.2\sigma \sim -0.3\sigma$
5	旱	≤ -50	12.5(10~15)	$\leq -1.2\sigma$

此外,有时人们也利用均方差 σ 分级。但考虑到降水量分布的非正态性,我们不倾向于使用这种定义。不过由于曾有人应用过,因此也附在表 1.1.2 中。

现在,重建旱涝古气候序列的问题,就是怎样根据史料来判断某年应该属于哪一级。表 1.1.3 给出一个例子,这是适用于河北省保定地区的标准。它是根据有降水观测资料时期的史料,参考当地的经验,反复调查研究制定的。

表 1.1.3

史料划分旱涝级的标准

旱涝级	1	2	3	4	5
旱涝史料记载	大水,陆地行舟 大水,夏秋淫雨 大水,淫雨月内 大水,水深数尺 局地涝	夏大水 局地大水 夏旱,秋大水 春旱,夏大水	局地大旱年和大水 大旱年 无旱涝记载 局地大旱年,旱蝗 大旱,六月始雨	大雨雹 蝗 局地夏旱 局地大旱	大旱,七月始雨 大旱炎热 大旱,终年无雨

这样,对全国 120 个站划定了 1470~1979 年的旱涝级,并绘制了 500 年旱涝图(中央气象局气象科学研究院,1981)。对这份旱涝资料作 EOF 分析,并结合其它聚类分析划分出 6 种旱涝型(表 1.1.4),图 1.1.3 给出 6 个个例。

表 1.1.4

旱涝型的特征

型	旱涝特征
1a	全国涝,以长江为主
1b	长江涝,华北、华南旱
2	南涝北旱
3	长江旱,华北、华南涝
4	北涝南旱
5	全国旱

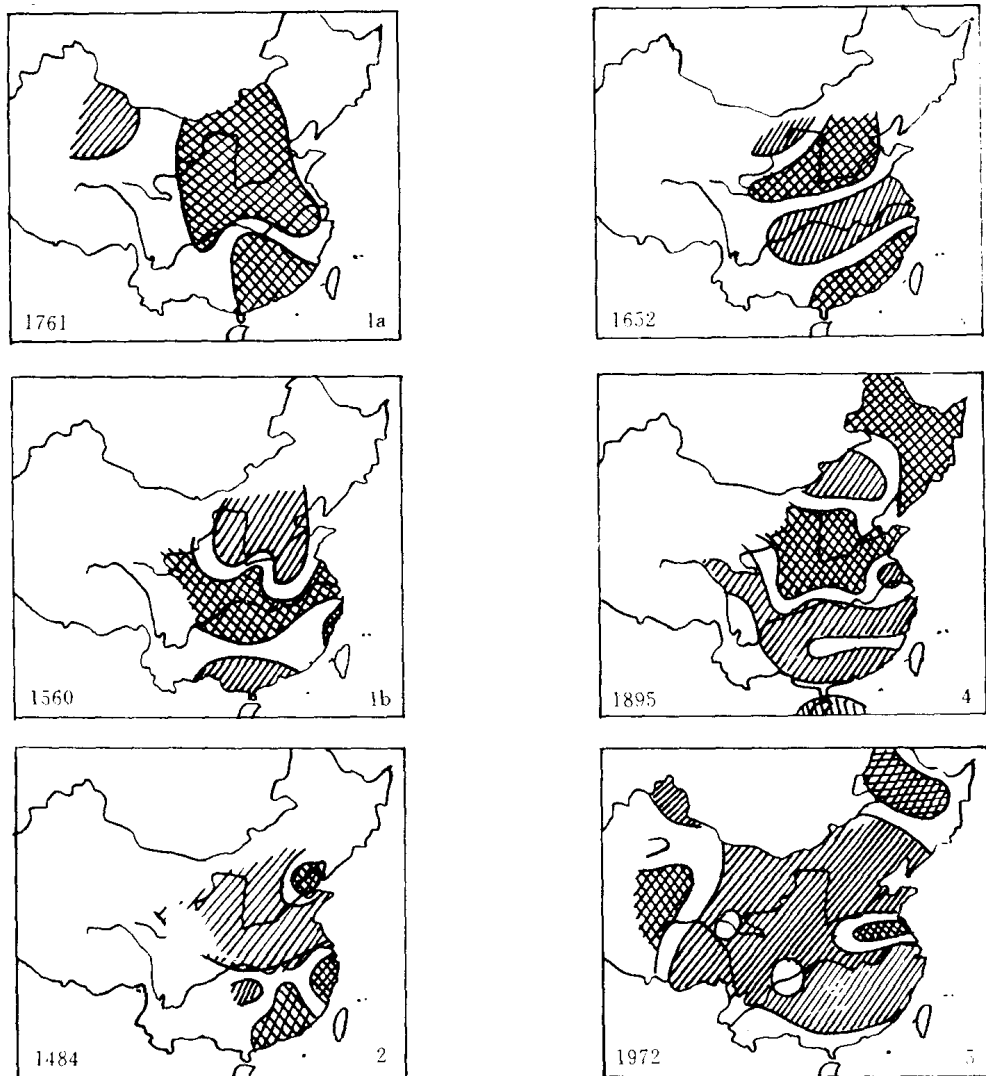


图 1.1.3 旱涝典型年的旱涝分布

方格区为涝(1级、2级),斜线区为旱(4级、5级)。

这样就得到一份 1470~1979 年的旱涝型序列。1979 年之后用国家气象局长期科的夏季降水距平图补划出旱涝型。而 1470 年之前资料较少,因此把全国分为 10 个区(图 1.1.4)。根据 10 个区的旱涝定出公元 950~1469 年的旱涝型。由于篇幅所限,这里不再详细介绍 1470 年以前分型的方法。表 1.1.5 给出两段时间分型的结果。总之,各型的频率相当的稳定。尽管前一个 500 年包括了中世纪暖期(公元 900~1300 年),后一个 500 年

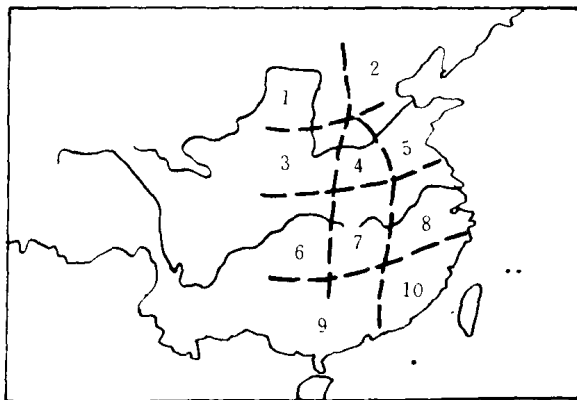


图 1.1.4 1470 年之前的旱涝分区

包括了小冰期(1550~1850年)。

两段时期旱涝型的频率差别不大,这表明 500 年时期足够长,提供了一个标准的“正常”气候状况。表 1.1.6 为公元 950 年以来每 50 年各型频率。但最后一段时期(1950~1991 年)只有 42 年。

表 1.1.5 公元 950~1991 年旱涝型频率

年代 频率 型	950~1469		1470~1991		950~1991	
	次	%	次	%	次	%
1a	87	16.7	83	15.9	170	16.3
1b	73	14.0	80	15.3	153	14.7
2	122	23.5	112	21.5	234	22.5
3	93	17.9	105	20.1	198	19.0
4	94	18.1	83	15.9	177	17.0
5	51	9.8	59	11.3	110	10.5

表 1.1.6 每 50 年旱涝型出现频率

世 纪	年 代	旱 涝 型				
		1	2	3	4	5
10	950~999	19	14	6	10	1
11	1000~1149	17	14	7	6	6
	1050~1099	15	12	9	9	5
12	1100~1149	10	8	11	12	9
	1150~1199	13	10	15	9	3
13	1200~1249	11	15	8	4	12
	1250~1299	19	11	10	8	2
14	1300~1349	19	12	7	9	3
	1350~1399	13	13	5	15	4
15	1400~1449	19	8	9	9	5
	1450~1499	14	19	10	4	3
16	1500~1549	13	10	12	6	9
	1550~1599	23	10	9	5	3
17	1600~1649	10	16	7	9	8
	1650~1699	18	5	13	11	3
18	1700~1749	19	10	8	9	4
	1750~1799	19	9	11	8	3
19	1800~1849	16	11	8	9	6
	1850~1899	12	10	15	11	2
20	1900~1949	12	11	10	6	11
	1950~1991	12	5	9	8	8

表 1.1.6 中把 1a 型与 1b 型合为 1 型,这样便于研究长江流域的旱涝,1 型长江涝,3 型长江旱。因此,把 3 型频率与 1 型频率之比作为长江流域干旱指数。同样 2 型与 5 型均反映黄河流域旱,而 3 型及 4 型反映黄河流域涝,所以把 2 型+5 型频率与 3 型+4 型频率的比值作为黄河流域干旱指数。图 1.1.5 为两个流域每 50 年的干旱指数。可见近千年来长江流域有三段干旱时期,即 1100~1200 年、1450~1550 年及 1850~1950 年。湿润期在公元 950~1050 年、1250~1450 年及 1700~1850 年。黄河流域的干旱期似乎稍短,一般不超过 50 年。湿润期则较长,在 1100~1200 年、1250~1450 年及 1650~1800 年。纵观图 1.1.5 中两个序列,虽也有一致之处,例如 1250~1450 年间两个流域均偏涝,1450~1550 年均偏旱,但相反的趋势还是占优势,两个序列的相关系数为一 0.15。数值的大小虽低于近 40 年的降水年际变化,但反映的是同一个特点,即两个流域旱涝相反的情况略占优势。

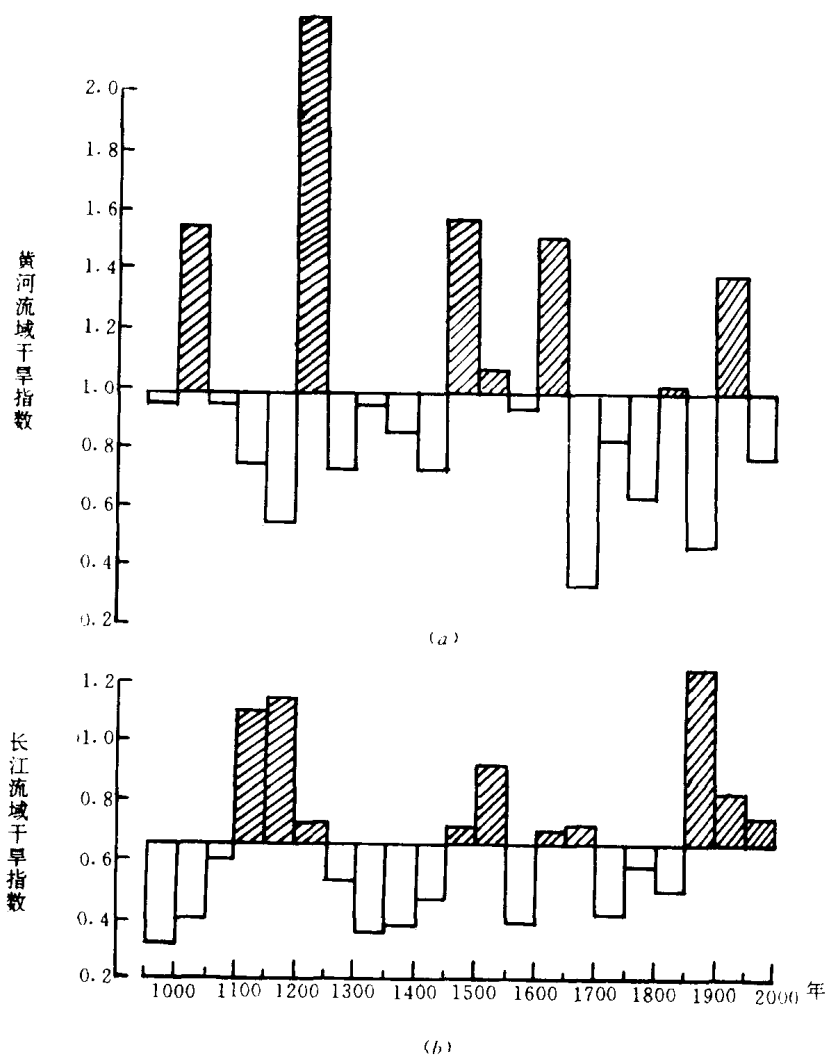


图 1.1.5 每 50 年长江流域及黄河流域干旱指数

(a) 黄河流域 (b) 长江流域