

长江下游地区夏季旱涝演变趋势的研究

蔣德隆 嚴济远
(上海中心气象台)

一、引 言

夏季旱涝的演变规律,近年来已为许多气候工作者所注意。我们认为研究旱涝演变规律时须重视下列四个方面的问题:

1. 研究的范围必须在同一个天气气候区和同一个自然季节。
2. 广泛搜集古今气象资料,进行各种数据的处理和鉴定,使其成为统一的序列。
3. 运用气候学分析和数理统计相结合的方法,把历史时代和近代的旱涝演变密切联系起来,再进而提出当代演变的趋势。
4. 探讨旱涝演变的各种物理成因。

根据上述观点,我们研究了长江下游地区夏季旱涝的演变规律,并且获得了三个主要结果:

1. 对古今旱涝资料进行了处理和鉴定,得出旱涝度量尚可相互比较的长期序列。
2. 探讨了旱涝演变的迴转周期群的存在及其与太阳活动的关系。
3. 作出今后三十年旱涝趋势的展望。

二、长江下游气候的同一性问题

我们这里所指的长江下游地区,是淮河以南、四明山和会稽山以北、南京以东、长江口以西的地区。这地区属亚热带季风气候。从六月上、中旬至七月上、中旬是梅雨季节,如雨水过多、雨期过长,常有洪涝;梅雨结束后进入盛夏,除台风雨及局部雷阵雨外,以晴热少雨天气为主,如出梅过早,盛夏过长,常有干旱发生。

雨量的相关和自然季节的起迄是气候同一性的重要判据。我们计算了南京、杭州与上海逐月雨量的相关系数均达 0.7,相关较好。根据参数假设检验的 U-检验法^[1],检验结果表明,上海—南京和上海—杭州的逐月雨量分布,在置信度为 0.01 情况下,其数学期望之间没有显著性差异。

再以梅雨和盛夏¹⁾这两个自然季节为例,我们统计上述三地 1951—1960 年 10 年自然季节的起迄期,发现各地基本上是接近的。

可见全区气候确实具有同一性,属于同一个天气气候区域。因此各年间,凡是正常气

1) 凡初夏期间(日平均气温 22°—28°C),连续 5 天内有三个或三个以上雨日,且以后仍有雨日维持,在任何 10 天内至少有四个雨日(日雨量 > 2 毫米),不得有连续五个非雨日,且梅雨期内至少应有六个雨日,则其第一个雨日即为梅雨开始日;雨季后期,若连续 5 天内雨日不足 3 天,天气转为晴热,则最后一个雨日的次日即为盛夏开始日。

表 1

季 节	地 名	年 份									
		1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960
梅 雨	杭 州	7日/7月	14/6	21/6	6/6	6/6	6/6	5/6	—	28/6	9/6
	上 海	7/7	8/6	20/6	6/6	6/6	6/6	11/6	—	2/7	9/6
	南 京	7/7	(8/6)*	20/6	5/6	6/6	5/6	4/6	—	27/6	8/6
盛 夏	杭 州	19/7	24/7	1/7	30/7	8/7	21/7	7/7	30/6	8/7	25/6
	上 海	19/7	23/7	29/6	3/8	9/7	20/7	10/7	30/6	8/7	26/6
	南 京	23/7	23/7	28/6	30/7	9/7	15/7	13/7	30/6	6/7	30/6

* 1952年南京梅雨期内雨日间断超过5天,故加括号;1958年梅雨期不足6天,定为空梅,用“—”表示。

候的出現,或者比較严重的主要气候灾害的发生,一般应该是全区共有的。

三、气象資料的整理和分析

(一) 历史时期气象資料的整理及其灾害的判別

我国见于史、书、志、集的历代气象灾害的材料很丰富。本文的历史气象資料,取自三十五部文献,包括:上海、南汇、崇明、宝山和金山县志,松江、杭州和苏州府志,江苏、江南通志,資治通鉴,文献通考,古今图书集成,十国春秋,南唐书,清史稿及其他有关資料。收录内容,以本区旱涝为主。纪录年代自公元前903年,即周孝王七年开始,至公元1909年清宣統元年止,共2812年。

我国古代所用历法,除太平天国頒行的“天历”为阳历以外,其余的历法,种类虽多,但按其性质来说,都是阴阳历。四季的计算,以一至三月为春,四至六月为夏,七至九月为秋,十至十二月为冬。而本文是以阳历3—5月为春,6—8月为夏,9—11月为秋,12—2月为冬。故对古代划分四季的月份作如下调整,以便统一:二至四月为春,五至七月为夏,八至十月为秋,十一月至翌年一月为冬。

对古代气象灾害程度的判別有不少困难。我們在普查基础上,寻求各种灾象的不同表达方式,从而訂出气象灾害的判据。

关于旱、涝程度的分級,包括正常在内,采用五級分法,即大旱、旱、正常、涝、大涝,分別用代号[-2]、[-1]、[0]、[1]、[2]表示。上述代号,不仅具有“降水量距平”的气候概念,也便于进行某些数学运算工作。

1. 旱的判据:

古籍中,旱情的表达方式有三大类型:一是旱象描述,二是早期长短,三是旱区大小。经过研究,得出如下判据。凡符合下列之一者,即定义为“旱”或“大旱”。

甲、旱象:

旱——沒有旱象描述,一般仅記載“旱”、“大旱”、“亢旱”、“祈雨”、“零”,等等。

大旱——除記有“旱”或“大旱”等以外,尚有描述下列三种严重旱象之一者:

(1) 因大旱致湖、河、井、泉干涸者,如:“湖井尽涸”、“柳湖涸”、“赤地千里湖涸”,等

等。

(2) 因大旱致植物枯死者,如:“萍藻皆枯”、“大旱无禾”、“草木焦槁”,等等。

(3) 大旱为稀見者,如:“大旱,言××年来所未見”,等等。

下列两种記載,虽然为数不多,但与当时社会情况、政治背景关系更为密切,故作为大旱判据的参考:

(1) 因大旱人多餓死或流亡者,如“大旱千里絕烟死者蔽野”,等等。

(2) 因大旱而免稅者,如“以旱災蠲全稅”、“以旱免一年稅”,等等。

乙、旱期:

旱——沒有旱期的特別記述,一般仅記載“×月旱”、“×月大旱”、“夏旱”,等等。

大旱——旱期有明确記述,且持續在 40 天以上者,如:“×月大旱,自×月不雨至于 是月”、“四十余日未見点滴”,等等。

丙、旱区:

旱——一般只单独記述某地“旱”或“大旱”等,而反映不出长江下游全区有大旱者,如“苏州旱”、“江阴大旱”,等等。或虽有区域性旱或大旱的記述,但不全是本文所指的长江下游地区者;或虽有本区一、二地“旱”同时記述,但非“大旱”者,如“淮南旱”、“浙西旱,丹阳旱”,等等。

大旱——从各地“大旱”的記述中,能反映旱区特大者,如“江南大旱”、“江东大旱”、“江淮大旱”、“淮揚、建康、上海、嵯县等州县大旱”,等等。或者虽然区域性“大旱”不全是长江下游地区,但另有本区一地以上有“大旱”同时記述者,如“淮南大旱,苏州大旱”,等等。

2. 涝的判据:

古籍中,涝的表达方式和旱一样,也有三大类型,即涝象、涝期和涝区。凡符合下列之一者,即定义为“涝”或“大涝”。

甲、涝象:

涝——沒有涝象描述,一般仅記載“涝”、“大涝”、“水”、“大水”、“霏(滂)雨”、“潦”、“祈晴”,等等。

大涝——除記有“涝”或“大涝”等以外,尚有描述下列三种严重涝象之一者:

(1) 因大涝,内陆成巨浸者,如“平地水深×尺”、“城内一望汪洋”、“舟行岸上”,等等。

(2) 因大涝,作物严重受害者,如“大水稻稼蕩沒”、“大水,郭邑庐里屋宇田稼皆尽”,等等。

(3) 大涝为稀見者,如:“今年水災,数十年来未尝見此”、“盖××年仅見之災”,等等。

下列两种記載,虽然为数不多,因为与当时社会情况、政治背景关系更为密切,不能直接反映实际情况,故作为大涝判据的参考:

(1) 因大涝,人多死亡或流移者,如“大水流×千余家”、“水災民多流移”,等等。

(2) 因大涝而免稅者,如“以水悉蠲其稅”,等等。

乙、涝期:

涝——沒有涝期的特別記述，一般仅記載“×月涝”、“×月大水”、“夏涝”，等等。

大涝——涝期有明确記述，且持續跨一月以上者，如“××連雨百余日大水”、“×月雨至×月乃霽”，等等。

丙、涝区：

涝——一般只单独記述某地“涝”或“大水”等，而反映不出长江下游全区有大涝者，如“嘉定涝”、“松江大水”，等等。或虽有区域性涝或大涝的記述，但不全是长江下游区者；或虽有本区一、二地“涝”同时記述，但非“大涝”者，如“淮南大水”，“浙西水，苏州水”，等等。

大涝——反映“大涝”区域特大者，如“江南大水”、“江淮大水”、“建康、湖州、杭州等州县皆大水”，等等。或者，虽然区域性“大涝”不全是长江下游区，但另有本区一地以上有“大涝”同时記述者，如“淮南大水，湖州大水”，等等。

3. 正常的判据：

凡該年沒有旱涝記述，或是反映禾稼丰收者，均定义为正常。

(二) 現代气象資料的整理及早涝指标

我們根据下列三項原則，利用現代气象觀測資料，研究了旱涝指标：

(1) 應該联系作物对象；

(2) 应有物理依据，并能較正确地反映客观实况；我們主要考虑了作物需水状况、土壤水分特性和降水情况以及三者的关系；

(3) 所用資料及計算方法，力求簡單方便。

关于旱涝程度的分級，仍按五級分法。

旱涝指标的求算方法：

1. 旱的指标：

在一个相当长的时期內，由于雨水稀少，土壤有效水分貯存量大大降低，使作物从土壤中吸收的水分，不能維持正常生长的需要，以致作物开始受到了危害，称为旱。

长江下游地区的夏季作物，以水稻和棉花栽培面积最大。从作物对干旱的抗御程度而言，則棉花最易受害。根据上海中心气象台的調查，如果盛夏期間連續干旱二、三十天，則棉叶下垂，鈴易脫落；三十多天不雨，旱象比較严重，蕾鈴脫落較多。棉花的适宜土壤湿度(絕對干土重的%，以下同)，蕾期为 17—20%，花鈴期为 20—23%，低于 15% 时生育逐渐恶化，高于 25% 时，也是不利。

长江下游地区大部为冲积平原，其土壤基本类型，为砂壤灰化土与粘壤灰化土，以全区大部分情况而言，則以粘壤灰化土为主。根据大多数科学家的結論，认为农作物吸收水分的能力差不多是一样的，因此大多数作物的永久雕萎都出現在相同的土壤湿度情况下，亦即雕萎湿度基本上决定于土壤类型^[17]。砂壤灰化土の雕萎湿度为 1—3%，粘壤灰化土为 4—7%，黑鈣土則更大一些^[18]。按长江下游的土壤类型，以及若干实验，我們取雕萎湿度为 7% (即达到“旱”的程度)。此外，当土壤干涸到低于雕萎湿度而到达最大吸湿量(致死水量)或以下时，植物地上部分即因失水而死亡。根据某些专家的研究指出，雕萎湿度大約平均比最大吸湿量大 34%^[17]。我們取最大吸湿量的土壤湿度为 5% (即达到“大旱”

程度)。

連續无雨期中，土壤湿度的变化以底墒的不同而有差异。以上海 1958 年及 1960 年 6—7 月早期中土壤湿度(0—20 厘米土层)的变化曲线来看(图 1)，土壤过湿(>25%)或

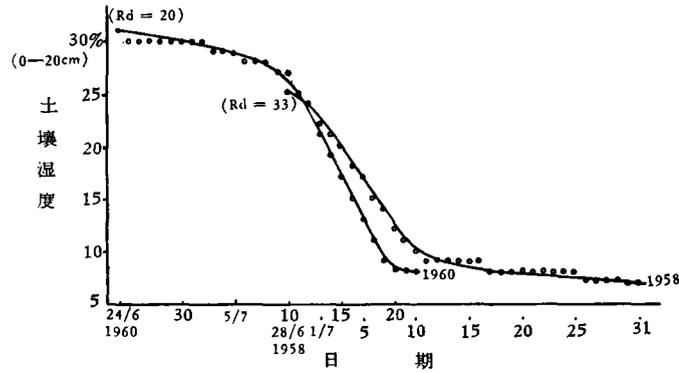


图 1 上海夏季早期中土壤湿度(0—20 厘米土层)的变化

过干(<10%)时，变化缓慢，只有自 25% 降至 10% 的一段变化最快。土壤湿度由 25% 降至萎蔫湿度(7%)大约需一个月左右，降至 5% 大约需四十天以上。

长江下游夏季干旱的发生，常常由于梅雨结束过早(甚至没有梅雨)，盛夏持久晴热所致。一场雨究竟多大才能使旱情缓和或者旱象解除？我们利用了上海 1957—1960 年 0—20 厘米土层的土壤湿度资料制成图 2。图中横坐标是雨前底墒，纵坐标是雨后墒情对雨前底墒的变量，并按日雨量 (Rd) 的大小，分成 $Rd < 5$ ，5—10，10—15，15—30，30—50，及 > 50 毫米六级，分别用符号 Δ ， \blacktriangle ， \square ， \blacksquare ， \circ ， \bullet 表示。从图 2 曲线变化规律，可以看出下列事实：

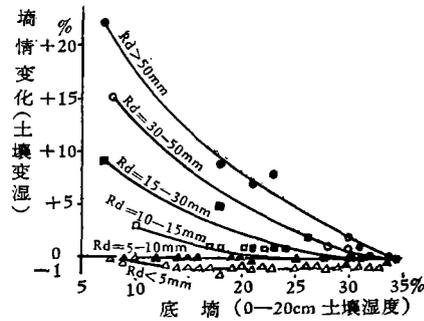


图 2 日雨量和土壤湿度变化的关系

(1) 日雨量 > 10 毫米时，土壤湿度均有不同程度增加，且同一量级的雨，底墒愈小，增量愈大；不同量级的雨，如果底墒相等，则雨量愈大，增量也愈大。不同的底墒对不同量级的雨的反应是不同的，底墒愈大，对雨量的反应愈不显著，而底墒大至一定极限时，即达到所谓“全蓄水量”(例如上海的土壤湿度 $\approx 34\%$)时，任何最大量级的雨也不再使土壤湿度增高。现在我们根据图 2 资料，试取底墒为 10%，20%，25% 分别代表干、正常、较湿三种基本类型，要使它各增 5% 以上，应分别有 $Rd > 15$ ， > 30 ， > 50 毫米。由此可知，当旱象露头时(底墒为 10% 左右)，只有日雨量 > 15 毫米时，才能使旱象有所缓和或者解除。

(2) 日雨量为 5—10 毫米时，大致与蒸发平衡，故墒情基本无变化。这种量级的雨，不能缓和旱象。

(3) 日雨量为 5 毫米以下时，因不够补偿蒸发需要，故墒情不能保持，仍有下降。这

种量级的雨,旱象有继续发展的趋势。

根据上述分析,我们得出成旱指标共有三条,必须同时成立(表2):

表 2

	旱	大旱
最长连旱日数	30—40	>40
连旱期间总雨量(毫米)	≤30	<30
连旱期间最大日雨量(毫米)	≤15	<15

2. 涝的指标:

在一个相当长的时期内,由于降水的时间长,暴雨频繁,巨大的地面径流严重地淹没了土地的低洼部分,或者使土壤长期保持过湿状态,以致作物受到了重大损伤和显著减产,称为涝。

根据上海中心气象台的调查,棉花地的土壤湿度,如果 >25%,已感过高,

>30%时,对生长就十分不利了。

在梅雨季中,土壤湿度一般较高。由图2可知,当土壤湿度很高时,即使要出现一个不大的湿度增量,也需要有较大的雨量。以底墒为25%而言,如果要增至30%,就必需有大雨或暴雨不可。而土壤处于高湿度情况下,如果雨止(或者雨量微小),湿度下降也很缓慢,由图2可知,在日雨量<5毫米情况下,每日平均降低1%左右。这样推算,产生持久涝象,使土壤湿度保持在30%以上,或者最低也不能小于25%的条件,必须雨季长,大雨或暴雨频繁,而且最长连续无雨日数只能允许在5天以内。

长江下游地区的夏涝,主要由梅雨异常所致。正常情况下,梅雨自6月中旬开始至7月上旬或中旬前期终止,历时二、三十天,总雨量约200毫米,大雨或暴雨日数3天。但如果该年梅雨持久,雨量特多,超过正常年份的50%,涝象就会发生;超过正常年份的100%以上,就成为大涝。

根据上述分析及若干涝年的对照,我们得出成涝指标共有三条,必须同时成立(表3)。

3. 正常的指标:

凡该年夏季不符合旱涝指标所规定的条件者,均定义为正常。

(三) 历史时期气象纪要资料的真实性探讨

关于我国历史时期文献资料所载气象灾情是否可靠问题,竺可桢已经提出了肯定的看法^[2],我们很同意。为了进一步证实,我们又从历代有关诗、文、日记、见闻录以及各种奏疏中间摘录了许多气象灾害的片段,逐一对照以后,看来很多是符合的。限于篇幅,详情从略。

另外,我们又把它与现代气象观测资料相对应的时期作了对比分析。上海的气象观测资料始于1873年,自1875年起,正式刊布了逐日记录。我们根据旱涝指标鉴定自1875年以来逐年夏季的旱涝程度。1875—1909年(即清光绪元年宣统元年)35年的鉴

表 3

	涝	大涝
最长连雨日数*	30—40	≥40
连雨期间总雨量(毫米)	≥300	≥400
连雨期间日雨量≥25毫米日数	≥5	≥7

* 连雨期间,连续无雨日数不超过4天的最长持续期。

定結果与文献資料相对比,情形如表 4:

表 4

	1875	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92
1. 来自文献气象纪要	先涝 后旱	大旱			大旱	涝	旱	大涝						旱				旱
2. 来自现代气象资料	先涝 后旱	大旱			大旱	涝	大旱	大涝			涝	旱	涝	旱		旱		大旱
	93	94	95	96	97	98	99	1900	01	02	03	04	05	06	07	08	09	
1. 来自文献气象纪要		旱	旱		大旱	大旱			大涝		旱				旱			先涝 后旱
2. 来自现代气象资料		旱	旱	涝	大旱	大旱			大涝		旱				旱			先涝 后大旱

由表 4 看出,来自文献資料中的旱涝共有 16 年,与现代气象資料对应年份的旱涝相同,而且程度上也基本一致,只有两年(1881、1892 年)相差一級。此外,来自现代气象資料的,尚有五个旱涝年在文献資料中沒有反映。因此,有理由认为:

1. 文献資料所載,是真实的,但是尚有遺漏。

2. 以旱涝判据与旱涝指标作为測量古今旱涝程度的度量,两者基本上是可以相互比較的,因而古今旱涝資料可以銜接起来,成为完整序列。

四、旱涝演变的表达曲綫及其世紀性迴轉周期羣的宏观分析

我們用积分方法将逐年旱涝代号点繪成图 3。曲綫下降的年代主旱,上升的年代主涝。

由图 3 看出,旱涝演变具有明显的周期性振动,說明旱涝年的出現,并不是完全随机的,而是遵循着一定的規律。从曲綫上可以看出周期性振动,以大約一千年左右为一个完整过程,然后周而复始,相似地迴轉出現。在这个一千年左右的完整过程中,又可划分为三个阶段,每一个阶段的旱涝規律,都由各自不同长度的周期羣組成。为了叙述方便,我們称公元 291 年(开始有比較系統的資料)至 399 年为第一过程的第三阶段,記作 I₃; 400 年至 1399 年为第二过程,其中 400—618 年为第一阶段 (II₁), 619—939 年为第二阶段 (II₂), 940—1399 年为第三阶段 (II₃); 1400 年以后,估計到 2400 年前后为第三过程,其中 1400—1618 年为第一阶段 (III₁), 1619—1953 年为第二阶段 (III₂), 1954 年以后为第三阶段 (III₃)。

在一个过程中,凡是具有較明显的周期振动,图中都加編号。

第一阶段 [II₁ (400—618) 与 III₁ (1400—1618)] 各持續 219 年。以一个由旱轉涝明显的周期开始。在这一阶段內,涝象頻現。从第 1 号至第 6 号的各个周期在对应的时段附近諧时出現。第 7 号周期开始,由于第二过程中該时段文献資料貧乏,根据其有限的旱涝資料与第三过程相应时段对照,也基本符合一定的周期規律。

第二阶段 [II₂ (619—939) 与 III₂ (1619—1953)] 各持續 321 年和 335 年。以一个

由涝轉旱明显的周期开始,在这一阶段内,連續的旱和涝时有相間出現。从第 25 号至 36 号的各个周期,在对应时段附近都諧时出現。25 号周期以前的一段时期,同样由于第二过程中文献資料貧乏关系,根据其有限的旱涝資料与第三过程对应时段对照,結果也符合一定的周期規律。

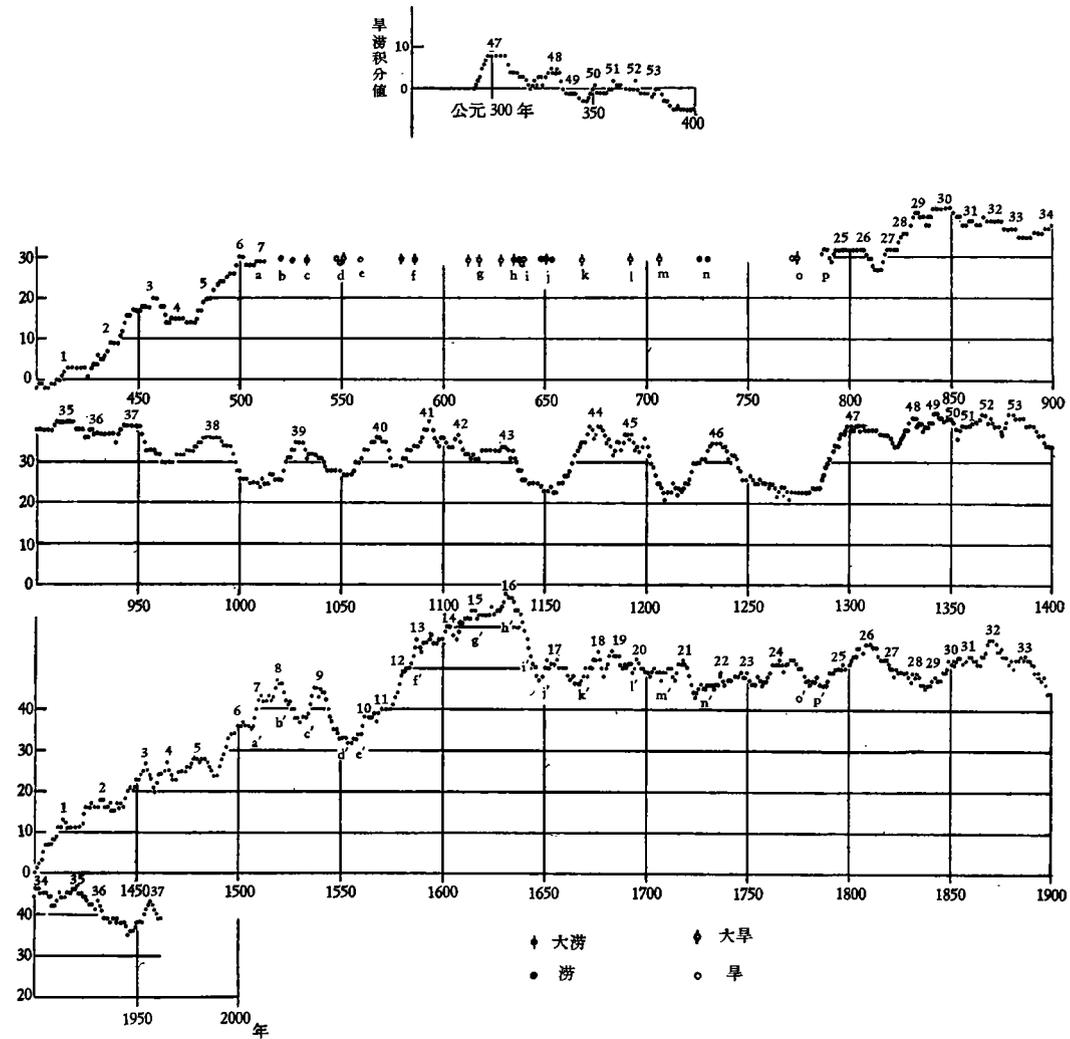


图 3 长江下游地区历史旱涝演变曲线

第三阶段 [II₃ (940—1399) 与 I₃ (?—399)], 約持續 460 年。在这阶段内, 周期很长, 显然与前两阶段不同。由于第一过程中只有 291—399 年資料, 与第二过程相应时段对照, 其第 47 号至 53 号的各个周期都諧时出現。

根据以上宏观性质的分析, 可見下列旱涝演变阶段的迴轉規律可能是存在的:

$$I_3 \rightarrow II_1 \rightarrow II_2 \rightarrow II_3 \rightarrow III_1 \rightarrow III_2 \rightarrow .$$

五、周期羣的譜分析

为了进一步考查各阶段迴轉周期羣的存在，又作了周期譜的分析。由于旱涝資料中有若干年代殘缺，不能加入运算，只能抽取各阶段中若干对应时段作为代表。其抽样年代如下：

I_3 (291—399)；

II_1 (400—500)， II_2 (791—940)， II_3 (1291—1399)；

III_1 (1400—1500)， III_2 (1791—1940)。

周期譜的分析結果見图 4。曲線中的各个峯值，分別标以 1, 2, 3, … 号碼，可看出同

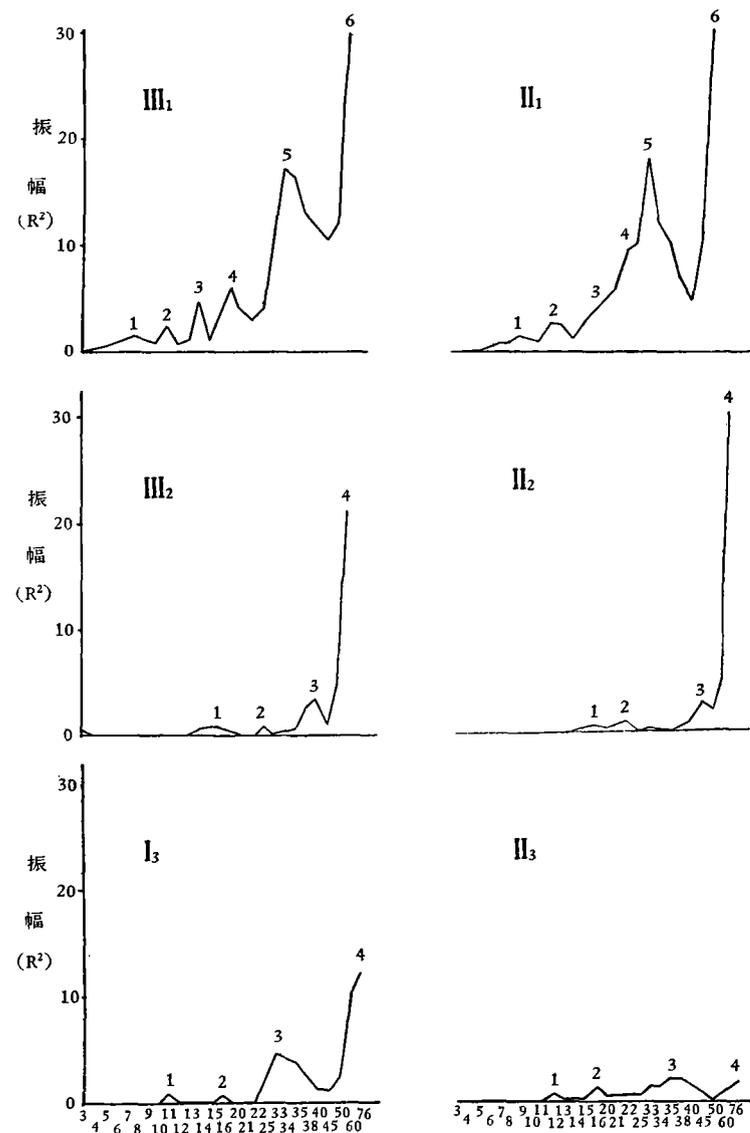


图 4 各阶段旱涝周期的谱分析

一过程中各阶段周期羣的主要成分是有差别的,而各过程相互对应的阶段的周期谱特点,颇为相似。说明各阶段的周期羣具有千年左右的迴转性是存在的。

六、应用相似理论证明旱涝演变规律中迴转周期羣的存在

设有时序数列:

$$a_1, a_2, a_3, \dots, a_q,$$

按其不同振动特性,分成若干时段 $A_1, A_2, A_3, \dots, A_m$ 作为 m 种现象。

$$\begin{aligned} \text{使} \quad & A_1(a_1, a_2, a_3, \dots, a_i), \\ & A_2(a_{i+1}, a_{i+2}, a_{i+3}, \dots, a_j), \\ & \vdots \\ & A_m(a_{p+1}, a_{p+2}, a_{p+3}, \dots, a_q). \end{aligned}$$

采用三角多项式逼近每一种现象:

$$Y = R_1 \sin\left(\frac{2\pi}{T_1} t + \alpha_1\right) + R_2 \sin\left(\frac{2\pi}{T_2} t + \alpha_2\right) + \dots$$

式中, R_1, R_2, \dots 为振幅; T_1, T_2, \dots 为周期长度;
 t 为时序; $\alpha_1, \alpha_2, \dots$ 为初相角。

上述每一种现象,都可看成由周期羣组成。如果能证明上述现象之间,例如 A_1 与 A_4 相似, A_2 与 A_5 相似, A_3 与 A_6 相似,等等,则现象全体之中即认为有与 A_1, A_2, A_3 相似的迴转周期羣存在。

我们求得上述现象的相似准数为:

$$D_0 = \tan\left(\frac{2\pi}{T}\right) \cot \alpha,$$

由本文周期羣的谱分析结果,取 $R^2 \geq 2$ 的各周期中的峰值(因资料太短,50年以上的长周期未予考虑),其相似准数如表 5。

表 5

阶段	$R^2 \geq 2$ 的各周期中的峰值编号			
	2	3	4	5
III ₁	0.3	0.1	0.1	0.1
II ₁	0.0	0.0	0.0	0.0
III ₂		-0.1		
II ₂		-0.1		
II ₃		-0.5		
I ₃		-1.0		

从这个计算结果看,各个过程相互对应阶段的相似准数都有一致的符号,数值都比较接近,可以认为这些现象比较相似。由此,我们有理由认为,在现象全体之中,有与一组 II₁, II₂, II₃ 相似的迴转周期羣存在。

七、旱涝演变的数学近似

谱分析表明各个阶段存在主要的周期羣,因此可以用三角多项式来近似地表达旱涝

演变的总趋势。同时，我们在第二和第三阶段的样本中发现，同一阶段中不同的历史时段起主要作用的周期是不尽相同的。以 Π_2 为例，当 $t = 1, 2, 3, \dots, 191$ 时，以 40 年周期最明显； $t = 192, 193, \dots, 399$ 时，则以 60 年周期最明显； $t = 400, 401, \dots, 460$ 时，又以 22 年周期最为主要。因而在第二和第三阶段中，我们采用了分段近似办法，得出式子如下：

$$f_{\Pi_1}(t) = \frac{1}{2} \left\{ \left[\sin^2 \frac{360}{160} t \right]^{\frac{1}{2}} + \left[\sin^2 \left(\frac{360}{22} t + 204^\circ 54' 32'' \right) \right]^{\frac{1}{2}} + \right. \\ \left. + \sin \left(\frac{360}{11} t + 297^\circ 36' 32'' \right) + \sin \left(\frac{360}{2.5} t + 72^\circ \right) \right\} + \\ + \frac{1}{10} \left\{ \sin \left(\frac{360}{33} t + 33^\circ 29' 03'' \right) + \sin \left(\frac{360}{15} t + 7^\circ 24' \right) + \right. \\ \left. + \sin \left(\frac{360}{8} t + 221^\circ 30' \right) \right\} + A_t', \quad t = 1, 2, \dots, 219. \quad (1)$$

$$f_{\Pi_2}(t) \left\{ \begin{aligned} &= \sin \left(\frac{360}{11} t + 196^\circ 12' \right) + 0.9 \sin \left(\frac{360}{22} t + 229^\circ 08' \right) + \\ &\quad + 0.3 \left[\sin \left(\frac{360}{40} t + 135^\circ \right) + \sin \left(\frac{360}{16} t + 90^\circ \right) \right] + A_t', \\ &\quad t = 1, 2, \dots, 159. \end{aligned} \right. \quad (2)$$

$$f_{\Pi_2}(t) \left\{ \begin{aligned} &= \sin \left(\frac{360}{11} t + 196^\circ 12' \right) + 0.4 \left[\sin \left(\frac{360}{22} t + 180^\circ 02' \right) + \right. \\ &\quad + \sin \left(\frac{360}{40} t + 225^\circ \right) + \sin \left(\frac{360}{16} t + 67^\circ 30' \right) \left. \right] + \\ &\quad + 0.3 \sin \left(\frac{360}{60} t + 342^\circ \right) + A_t', \quad t = 160, 161, \dots, 335. \end{aligned} \right. \quad (3)$$

$$f_{\Pi_2}(t) \left\{ \begin{aligned} &= \sin \left(\frac{360}{40} t + 126^\circ \right) + \frac{1}{2} \left[\sin \left(\frac{360}{120} t + 111^\circ \right) + \sin \left(\frac{360}{16} t + 45^\circ \right) + \right. \\ &\quad \left. + \sin \left(\frac{360}{11} t + 163^\circ 40' \right) \right] + A_t', \quad t = 1, 2, \dots, 191. \end{aligned} \right. \quad (4)$$

$$f_{\Pi_3}(t) \left\{ \begin{aligned} &= 1.5 \sin \left(\frac{360}{60} t + 240^\circ \right) + \frac{1}{2} \sin \left(\frac{360}{33} t + 155^\circ 24' \right) + \\ &\quad + \frac{1}{4} \left[\sin \left(\frac{360}{40} t + 243^\circ \right) + \sin \left(\frac{360}{16} t + 157^\circ 30' \right) \right] + A_t', \\ &\quad t = 192, 193, \dots, 399. \end{aligned} \right. \quad (5)$$

$$f_{\Pi_3}(t) \left\{ \begin{aligned} &= \sin \left(\frac{360}{22} t + 114^\circ 34' \right) + \frac{1}{2} \left[\sin \left(\frac{360}{40} t + 297^\circ \right) + \right. \\ &\quad \left. + \sin \left(\frac{360}{24} t + 150^\circ \right) + \sin \left(\frac{360}{16} t + 337^\circ 30' \right) \right] + A_t', \\ &\quad t = 400, 401, \dots, 460. \end{aligned} \right. \quad (6)$$

式中系数是用谐波分析的方法求得后，经多次尝试作了适当调整而确定的；120 年周期是用观察法加入的。由这组公式求得的计算值与实况对照，基本上能反映旱涝演变的总趋势。其次，我们还发现，每一阶段的数学近似式，在经历了一段时期后，如(1)、(2)式一般经过 15 年左右，(3)式经过 20 年左右，(4)式经过 45 年左右，(5)式经过 14 年左右，

(6)式經過 7 年左右,实际出現的旱涝災害与計算值对照,要发生一次強烈的跳动,其持續期通常为 2—3 年,此后又恢复正常規律。这表明旱涝的演变除了基本周期振动外,尚有随机性因素。我們將这个因素作为随机激发常数 A_i' 来处理。根据嘗試法确定,在一定阶段中, A_i' 是定值。在(1)、(2)式中, $A_i' = -1.5$; (3)—(6)式中, $A_i' = 1.5$ 。

由(1)—(6)式各阶段的計算值与实况对照,其正誤百分率見表 6。

表 6

实 况 计 算	III ₁			III ₂			II ₂		
	涝	正常	旱	涝	正常	旱	涝	正常	旱
涝	25.1%	20.1	4.1	12.0	10.5	5.3	12.6	20.6	2.4
正常	9.1	19.6	6.4	11.3	17.8	9.8	7.1	17.8	8.7
旱	1.8	4.1	9.6	4.0	12.0	17.8	2.5	12.1	16.1
符 合	54.3			47.7			46.2		
差一級	39.7			43.2			48.9		
相 反	5.9			9.2			4.9		

从上表看出,計算值与实况完全相反的,只有 5%—10%; 相差一級的虽然有 40%—50%,但由于資料样本本身尚有 15% 左右的失載誤差,因而实际上可能只有 25%—35%。

八、旱涝演变与太阳活动的关系

我們发现旱涝演变的阶段与太阳活动有密切关系。陈彪^[20]指出,自 1619 年以来太阳活动已經出現过四次高峯(图 5),且逐次峯值是递降的,这說明长期以来在这一阶段中太阳活动的水平是下降的。最近又将出現第(五)号峯值,估計能达到空前未有的高峯,他認為这是另一长期活动的开始。上述論点基本上支持了我們关于阶段划分的看法。因为 1619—1953 年我們划为 III₂,正好是陈彪論著中的太阳第 1 到第 15 磁周,即属于太阳长期活动的一个完整阶段。而 1954 年开始,我們划为 III₃,这与太阳活动的特点也完全吻合。

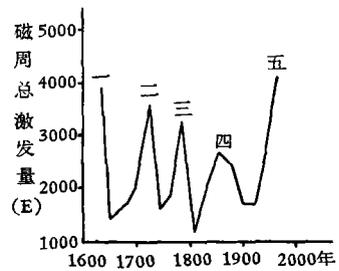


图 5 太阳磁周总激发量的历史变化

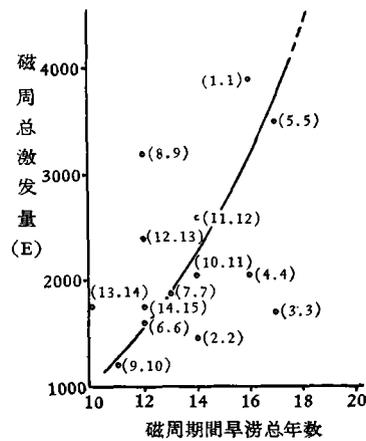


图 6 太阳磁周总激发量与旱涝总年数的关系

H. W. 克劳夫 (Clough)^[24] 曾研究太阳活动与极光频率、严冬频率、尼罗河泛滥、树木年轮等等的关系，他推算自公元 295 年以来太阳长期活动的情况，认为除了中短周期以外，尚有 300 年和更长周期。查考该文附图，看出这 300 年周期是平均情况，其世纪性变动大致为：

序 号	1	2	3	4
周 期 起 迄	361—603 年	604—933	934—1384	1385—1615
长 度	243 年	330	451	231

由此可见，无论周期的起迄期和长度，均与我们所划阶段基本相同。

我们又统计各个太阳磁周期间的旱涝总年数，也发现太阳活动强的年代，旱涝灾害多，弱的年代，就相对地少一些(图 6)。

九、今后三十年旱涝趋势的展望

根据迴转周期群的相似分析，从 1954 年开始，已经进入 III₃，这一阶段的旱涝演变趋势，可用 II₃ 的模式[公式(4)一(6)]相似推算。进行相似分析的结果，III₃ 的旱涝年数将比 II₃ 有所增多。特别在 1954—1979 年这个太阳磁周中，推论磁周总激发量要达到 5097 的空前强度^[20]，由图 6 推算，该磁周内旱涝总年数要高达 18—19 年；从已经出现的将近半个磁周的 9 年来看，有四个涝年(1954—1957)和四个旱年(1958—1961)，也许反映这个推论基本上是正确的。按其出现程序，也是符合公式(4)所表达的应有规律。

未来三十年夏季旱涝趋势，我们认为前期以旱为主，后期逐渐转涝。从 1963 年起，有可能继续向干旱方向发展，估计其中以 1966—1968 年最为严重；1969 年起逐渐转向正常；至 1973 年前后开始再度转旱，其中 1978—1980 年间，干旱可能较重；1982 年起，逐渐向涝(或多雨)的趋势发展，估计将持续 10—15 年，其中 1985—1987 年，特别是 1986—1987 年水涝可能相当严重；1991—1993 年间也可能有较重水涝。

上述展望，只是根据我们的分析提出的。至于确定逐年的具体旱涝情况，并不是本文所能解决的。

十、后 记

本文定稿以后，到现在已经过了两个夏季。从实况验证来看，基本上是符合旱涝趋势的展望的。1963 年夏季，梅雨很短，上海自 7 月 8 日起连续 34 天基本无雨，旱象明显。1964 年夏季，梅雨来得迟，去得早，雨期短，雨量少，自 6 月 28 日出梅起，连续 31 天基本无雨；8 月份雨量又很少，旱象也很显著。

另外，本文还存在一些问题，必须加以说明：

1. 各种历史的社会原因，如政治、经济、战争，对劳动生产力的破坏以及农田水利的失修等，均能使旱涝灾害加剧，然而这些问题，我们在处理资料时，虽然考虑到了，但还无法加以修等以更好的区分和更多的修正。

2. 旱涝趋势曲线的数学近似式，因为手算，同一阶段内还不能联贯起来；其中随机项

的处理是純經驗的,不够严格,有待今后进一步研究。

3. 各种周期的物理成因,还未分析;未来旱涝趋势的展望,論据还有待充实,这些都准备作进一步努力加以研究。

我們在写作过程中,得到了各方面的支持和协助,束家鑫同志給我們很多督促,特別是在初稿完成以后,得到程純枢同志的鼓励和帮助,陶詩言同志热情地提出了宝貴的修改意見,我們表示十分感謝。

(收稿日期: 1964年9月)

参 考 文 献

- [1] 竺可桢: 中国历史时代的气候变迁,中国近代科学论著丛刊(气象学),科学出版社,1955年。
- [2] 竺可桢: 历史时代世界气候的波动,气象学报第31卷第4期,1962年。
- [3] 张汉松: 明代水旱灾周期的初步探讨,气象学报第18卷,1944年。
- [4] 谢义炳: 清代水旱灾之周期研究,气象学报第17卷,1943年。
- [5] 徐长望: 关于二十世纪气候变暖问题,1961年1月26日人民日报。
- [6] 卢 鋈: 关于旱涝的周期性問題,1961年4月9日人民日报。
- [7] 肖廷奎等: 河南省历史时期干旱规律的初步探讨,1961年8月25日河南日报。
- [8] 文焕然: 秦汉时代黄河中下游气候研究,商务印书馆,1959年。
- [9] 杨鉴初: 近五十年来我国温度演变的一些特点,气象学报第31卷第4期,1961年。
- [10] 史久恩等: 长江中下游夏季降水长期预报的初步研究,气象学报第32卷第2期,1962年。
- [11] 王绍武: 上海气候振动的分析,气象学报第32卷第4期,1962年。
- [12] B. П. 阿里索夫等: 气候学教程,高等教育出版社,1957年。
- [13] 么枕生: 气候学原理,科学出版社,1959年。
- [14] 中国科学院自然区划委员会: 中国自然气候区划草案,科学出版社,1959年。
- [15] 复旦大学数学系: 概率论与数理统计,上海科技出版社,1961年。
- [16] Brooks, C. E. P. and Carruthers N., Handbook of Statistical Methods in Meteorology, (1953).
- [17] B. B. 西涅里席柯夫: 普通农业气象学,高等教育出版社,1959年。
- [18] M. M. 郭里佐夫等: 实用农业气象学,科学出版社,1956年。
- [19] 大后美保: 农业气象学通论,科学出版社,1962年。
- [20] 陈彪: 论太阳活动的规律,天文学报第10卷第1期,1962年。
- [21] 沈自求: 相似理论及其在化工上的应用,高等教育出版社,1959年。
- [22] 沈自求: 相似理论中若干问题的讨论,科学通报1962年8月号。
- [23] П. К. 科纳科夫: 相似理论及其在热工上的应用,科学出版社,1962年。
- [24] Clough, H. W., The 11-year Sun-spot Period, Secular Periods of Solar Activity, and Synchronous Variations in Terrestrial Phenomena, Monthly Weather Rev., 60 (1933), 99—108.

**ON THE TRENDS OF SUMMER-TIME DROUGHTS AND
EXCESSIVE RAINFALL IN THE LOWER
YANTZE REGION**

CHIANG TE-LUNG AND NIEN TSE-YUAN
(*Shanghai Meteorological Observatory*)

ABSTRACT

Based on a chronicle list of droughts, excessive rainfalls and floods (903 B.C.—1909 A.D.) compiled from the materials in classics, chronicles and annals, along with the meteorological records of Shanghai (1875—1962), the historical trends of droughts and excessive rainfalls in the Lower Yantze are studied. Using certain intensity criteria, the events are classified and return periods are analysed. It appears that there may exist some kind of thousand-year cycles, each with three intervals of different characteristics, which show fairly good correspondence with the solar activities. An outlook of the trend in the coming 30-years is made, tentatively.