

1736年以来长江中下游梅雨变化

葛全胜^① 郭熙凤^{①②} 郑景云^① 郝志新^{①*}

(^① 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; ^② 中国科学院研究生院, 北京 100049. * 联系人, E-mail: haozx@igsnr.ac.cn)

摘要 利用清代雨雪分寸资料, 复原了 1736~1911 年长江中下游地区的梅雨入出日期、雨期长度, 重建了 1736 年以来长江中下游地区梅雨雨量变化序列, 分析了梅雨的变化特征; 并根据梅雨期长度与东亚夏季风指数之间的关系, 分析了 1736 年以来东亚夏季风的强弱及与之对应的雨带位置阶段性变化特征. 结果表明: 长江中下游地区入、出梅日期及雨期长度均存在明显的年-年代际变化, 雨期长度除具有 2, 7~8, 20~30 及 40 a 的年际与年代际周期外, 还具有百年波动的信号. 1736 年以来, 雨期长短、中国东部季风雨带位置移动与东亚夏季风强弱变化有较好的对应关系, 1736~1770, 1821~1870 及 1921~1970 年等时段东亚夏季风偏强, 中国东部夏季风雨带多位于华北和华南, 梅雨期偏短; 1771~1820, 1871~1920 及 1971~2000 年等时段东亚夏季风偏弱, 雨带多位于长江中下游地区, 梅雨期偏长.

关键词 雨雪分寸资料 重建 过去 300 a 梅雨变化 长江中下游

梅雨指的是每年 6~7 月在我国长江中下游地区、朝鲜半岛最南部(称为Changma)和日本中南部(称为Baiu)出现的以持续多雨为主要特征的气候现象. 它是一种季风气候现象, 且为东亚地区所特有, 其出现的早晚和强度与东亚大气环流的季节变化, 特别是夏季风的变化特征紧密关联^[1,2]. 揭示梅雨的变化特征对于深入认识东亚季风气候系统的演变具有重要意义.

我国对梅雨的气候学探讨, 始于 20 世纪 30 年代^[3]. 但由于受观测资料长度的限制, 大多数研究关注的时段是近现代^[4,5]. 我国拥有丰富的历史文献资料, 其中蕴涵着大量有关梅雨变化的信息. 张德二等人^[6]根据清代晴雨录记载重建了 1723~1800 年长江下游地区的梅雨变化序列, Jiang 等人^[7]利用文献资料揭示了过去 1000 a 长江流域旱涝突变特征, 这些成果为如何利用史料中的气候信息研究梅雨的长期变化特征提供了成功案例.

本文拟利用清代雨雪分寸记载与器测降水资料重建 1736 年以来长江中下游地区的梅雨变化, 分析 18 世纪以来东亚夏季风的强弱及与之对应的雨带位置阶段性的变化.

1 资料简介

本研究选取安庆(安庆府)、南京(江宁府)、上海

(松江府)、杭州(杭州府)和武汉(武昌府)作为长江中下游地区的代表站(图 1). 利用的资料包括两部分: 一是清代奏折中的雨雪分寸记载; 二是器测降水资料. 雨雪分寸记载自清代乾隆元年(1736 年)起至宣统三年(1911 年)止, 内容包括: 每次降雨之后的雨水入渗深度(雨分寸)和每次降雪之后的积雪厚度(雪分寸)记录, 以及一些特定时段(如汛期或农事活动关键期)或月、季、年等降水状况的描述. 其中雨分寸的观测方法是指发生一次降雨过程之后, 选择一块地势较为平坦的农田向下掘土, 当看到有明显的干湿交界层时停止, 测量此时的深度即为雨分寸; 而雪分寸是直接测量发生一次降雪过程之后的地面积雪厚度. 由于二者均以清代的“寸”与“分”作为计量单位, 故合称雨雪分寸. 雨雪分寸记载时空分辨率高(每次降水过程, 全国 273 个站点)、定量记录标准统一, 是世界上现存最早的、系统的雨量观测记录^[8]. 由于火灾、偷盗及自然损失等原因, 1752, 1815, 1819~1820, 1833, 1845, 1860~1861, 1870~1871 和 1884 年等 11 a 雨雪分寸记载缺失较多, 本文作为缺载处理. 清代江河洪涝档案记载了有清一朝全国典型大涝年的降雨状况^[9~11], 其中 1849, 1851 年长江中下游梅雨的记载未见于雨雪分寸记载中, 本研究用该档案记录对雨雪分寸进行了插补.

器测降水资料自 1912 年起, 至 2000 年止. 安庆

2007-05-28 收稿, 2007-08-13 接受

中国科学院知识创新工程重要方向项目(批准号: KZCX2-YW-315-2)、国家自然科学基金项目(批准号: 40331013, 40625002)和中国科学院地理科学与资源研究所领域前沿课题(批准号: O66U0105SZ)资助

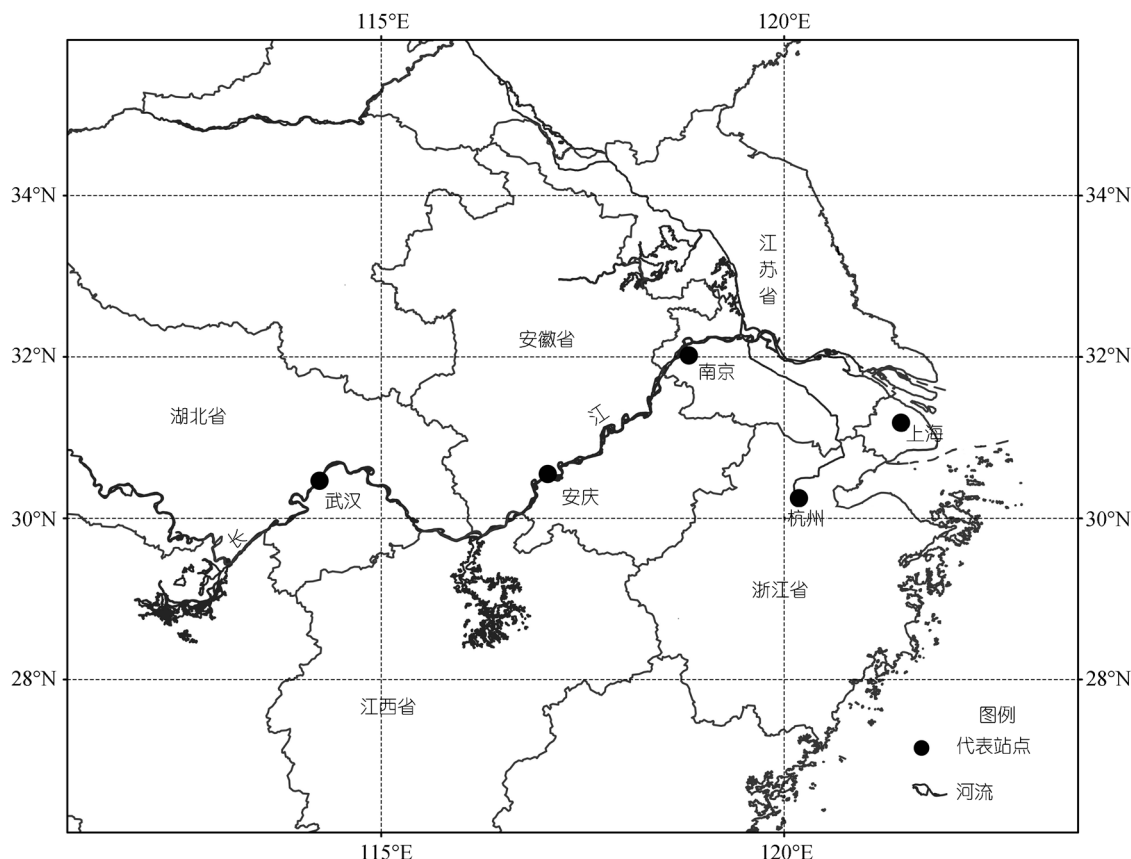


图 1 研究区域及代表站点分布示意图

站在 1912~1950 年没有观测, 本研究用芜湖站资料代替, 1950 年以前各站资料缺失情况是: 南京缺 1920~1921, 1923, 1938~1940, 1944~1945 年, 武汉缺 1937~1946 年, 安庆(芜湖)缺 1912~1923, 1927~1928, 1936~1950 年, 杭州缺 1919~1932, 1938~1941, 1943~1949 年。

2 梅雨期的确定与验证

2.1 梅雨期的确定

梅雨期是由长江中下游 5 个代表站(南京、上海、九江、芜湖、汉口)的雨日、雨量及副高位置等因素综合确定的^[4]。梅雨具有 3 个明显特征: 一是连续性降水并具有明显的季节性(每年 6 月中旬至 7 月上中旬); 二是大尺度环流作用的产物, 降水区域较大(覆盖了长江中下游大部分地区); 三是雨日、雨量及副高位置具有极强的相关性^[2]。雨雪分寸资料有明确的雨日记载, 本文将依据雨日记载来确定梅雨期, 并采用逐日器测降水资料进行交叉验证。

(i) 单站梅雨期的确定。在 5~8 月间, 任何连续

10 d 内, 降水日数不少于 6 d, 称为降水集中期。由于长江中下游地区在 5~8 月间, 部分年份往往春雨、梅雨和夏雨相连, 因而仅从发生天数判断, 很难确定梅雨的确切发生日。故本文又参考其他文献的雨期划分方法^[12~15], 将 6 月 15 日以前结束的降水集中期定为春雨; 7 月 10 日后开始的降水集中期定为夏雨; 其余的降水集中期称为梅雨期。现以乾隆四年(1739 年)安庆的有关记录(表 1)为例, 对梅雨期的确定方法加以说明。从表 1 中可以看出, 安庆该年在 11/6(日/月, 下同)之前降水较少, 但 11/6~8/7, 曾多次连续降水; 8/7 之后, 降雨日数则明显减少。故可判定安庆 1739 年梅雨期为 11/6~8/7。采用同样方法可确定该年南京和上海的梅雨起止日期均为 11/6~30/6, 杭州为 11/6~6/7, 武汉为 10/6~24/6。而为保持重建序列的均一性, 对 1912~2000 年的梅雨期, 也采用上述方法进行确定。

另外, 因各站之间的入(出)梅日期具有较高的相关性, 相关系数均大于 0.8, 所以可根据 1951~2000 年各站之间入(出)梅日期的回归方程(详见网络版附表 1), 对个别年份资料缺失的站点(详见网络版附表

表 1 单个站点梅雨期的确定示例: 安庆, 1739 年

奏报人	资料来源	雨雪分寸中对降水的描述	降水集中期 (日/月)	梅雨期
安徽布政使晏斯盛	清. 乾隆朝奏折. 《军机处录副》	“上江地方除徽州府属外, 各属自三月至五月初旬(8/4~5/6)又复少雨……本月初六(11/6)、十一、十二、十三(16/6~18/6)等日得雨……”	11/6 以前少雨	11/6~8/7
两江总督那苏图	清. 乾隆朝奏折. 《硃批奏折》	“两江地方五月初八、初九(13/6, 14/6)及十三(18/6)等日大沛甘霖之后, 十六至十九(21/6~24/6)等日又获大雨滂沱”	13/6~14/6, 18/6, 21/6~24/6	
两江总督那苏图	清. 乾隆朝奏折. 《硃批奏折》	“……安庆府属初六、初八、十一、十二(11/6, 13/6, 16/6, 17/6)得雨数次, 入土未深, 十七、十八、十九(22/6, 23/6, 24/6)得雨”	11/6~17/6 22/6~24/6	
安庆巡抚孙国玺	清. 乾隆朝奏折. 《硃批奏折》	“安庆地方五月十六(21/6)得雨三寸, 十七、十八日(22/6, 23/6)得雨八寸, 十八日(23/6)午时至酉时得雨六寸, 十九日(24/6)得雨二寸……”	21/6~24/6	
安庆巡抚孙国玺	清. 乾隆朝奏折. 《耕作档》	“安庆等府州属地方, 自五月十六至十八(21/6~23/6)等日得雨之后, 至六月初三日(8/7)一直雨泽频沾”	21/6~8/7	
安庆巡抚孙国玺	清. 乾隆朝奏折. 《硃批奏折》	“各府州属六月三十(8/7)以前雨泽普遍, 六月初十日(15/7)后至七月初旬(4/8~13/8)雨水短少, 七月初五、初六(8/8, 9/8)、十五至十八(18/8~21/8)得雨, 大小、分寸不等”	8/7 以后少雨	

2)进行插补.

(ii) 长江中下游地区的梅雨期确定. 如果 5 站中有 4 站已经入梅, 则认为整个长江中下游地区的梅雨期开始; 5 站中有 4 站出梅, 则认为整个长江中下游地区的梅雨期结束. 如根据这一标准, 可确定 1739 年长江中下游地区的梅雨期为 11/6~6/7.

(iii) 空梅年的确定. 梅雨期内, 如果在任何连续 10 d 内总降水日数均少于 6 d, 则认为该年为空梅年. 由于空梅年份, 长江中下游地区这一季节往往会出现明显干旱, 而雨雪分寸记载中也有大量灾情记载可兹依据, 因此对于空梅年的确定实际上要相对容易一些. 如乾隆五十年(1785 年), 查找该年长江中下游地区的全部雨雪分寸记载, 其中浙江省有 94 条, 安徽省 174 条, 江苏省 259 条, 湖北省 125 条, 但大多数未记载 5~8 月的降水情况, 反之却记载大旱和赈灾等. 该年上谕档也载: “无锡一带运河, 两岸民田车戽灌溉, 昼夜不停, 以致干涸……本年夏秋缺雨, ……但官渠之水原以济运通商, 与农民田均关紧要, 当天气亢旱时, 固不能禁民车戽……”; “……湖北灾区急需客米接济……安徽、江苏、浙江等省必须川米接济……”; “安省入夏以来雨泽愆期, 未能就时沾足, 惟徽州府属六县已得透雨, 秋田可望丰收, 其余各府属均缺雨日久, 大田受旱”; “安庆省城虽于六月二十六日(31/7)得雨二寸, 久晴之后地土燥裂, 未能赶种荞麦杂粮, 及望甘膏渥沛”; “本年浙西地方天气久晴. 杭州、嘉兴一带河道间段消涸……浙省雨泽愆期, 河道浅涸……”, 由此可推断 1785 年为空梅年. 依此方法, 还可确定 1736~1911 年时段内 1856, 1897 和 1905 年亦为空梅.

2.2 梅雨期划分标准的合理性验证

我们将利用上述方法所得到的 1951~2000 年梅雨期划分结果与利用雨日、雨量及副高位置等因素所综合确定的梅雨期结果 [4,5]进行了对比. 本文所得到的 1951~2000 年长江中下游地区平均入梅日期为 16/6, 出梅日期为 12/7, 梅雨期平均长度为 26 d; 而利用综合方法所确定的平均入梅日期为 18/6, 出梅日期为 14/7, 雨期长度为 26 d. 利用本文方法所确定的入、出梅平均日期较利用综合方法所确定的结果均早 2 d, 但二者的雨期长度一致. 逐年对比(表 2)可以看出: 二者所确定的入、出梅日期相差 3 d 之内的年份分别占总年数的 60%和 85%, 入、出梅日期相差天数≤5 d 的年份分别占总年数的 75%和 87%. 当然, 也有一些年份二者的差异较大, 如 1960, 1974, 1987 和 1991 年的入梅期, 1963, 1973, 1980 年的出梅期, 究其原因主要有以下 2 个: 一是个别年份降水过程较为特殊, 雨带停留时间与副高的移动并非完全一一对应, 如 1987 年笔者确定的入梅期为 13/6, 而文献[5]确定的入梅期为 1/7, 这是因为尽管连续性降水在该年开始于 13/6, 但副高脊线在 11/6~13/6 到达 20°N 以北后, 又出现南退, 至 6 月下旬才稳定在 23°~25°N 的位置上. 因此仅根据雨日确定的入梅日期较早, 而综合雨日、雨量及副高确定的入梅日期明显晚于实际降水出现的日期 [2]. 二是限于历史资料的特点, 我们无法区分历史上的二度梅, 因而本文也没有对 1951~2000 年的二度梅进行区分. 如 1980 年, 笔者确定的梅雨期为 7/6~18/7, 而文献[5]确定的梅雨期为 2

表 2 笔者划分的入、出梅日期与徐群等人^[5]划分结果的对比(不包括空梅年)

二者相差天数 /d	入梅日期		出梅日期	
	出现年数/a	占总年数的百分数(%)	出现年数/a	占总年数的百分数(%)
≤3	27	60%	38	85%
4~5	7	15%	1	2%
6~10	7	15%	4	9%
≥11	4	9%	2	4%

段, 分别是 9/6~21/7 和 29/7~22/8。二者相比, 出梅日期相差明显。然若不考虑 29/7~22/8 的第二段梅期, 二者则基本一致。此外, 所选代表站点不完全一致可能也是导致产生这些差别的另一原因。

根据上述 2 种方法确定的逐年入、出梅日期序列的相关系数分别达 0.77 和 0.96, 即方差解释量分别达 59.4%和 91.3%, 置信水平平均超过 99.9%。因此, 以雨日为主要指标, 采用上述标准来确定梅雨期是基本合理的。二者在入、出梅平均日期的差别可能是因 2 种方法不同造成的系统性误差。因本文的重建方法前后一致, 这种误差并不会对入、出梅日期及雨期、雨量变化的分析工作造成明显影响。

此外与文献[6]重建的 18 世纪长江下游地区梅雨变化结果相比, 二者的平均入梅期均为 15/6; 文献[6]的平均出梅期为 6/7, 笔者的平均出梅期为 8/7, 平均梅雨长度差 2 d; 二者的梅雨期长度趋势变化较为一致, 即 1765 年以后梅雨期长度较前期明显偏短, 并呈逐渐变短的趋势, 1790~1800 年, 梅雨期又逐渐转长。

3 结果与分析

3.1 梅雨期特征量的年-年代际变率

根据 2.1 方法重建的 1736~2000 年长江中下游地区逐年入(出)梅日期、雨期长度及雨量序列示于图 2。其中雨量根据该地区 1951~2000 年雨量与雨期长度的回归关系($P_m=9.8463 \times L_m-10.086$; 式中 P_m 为梅雨量, L_m 为梅雨期长度; 方程的样本长度为 49 a, 相关系数为 0.876, 方差解释量达 76.7%, 通过 $\alpha=0.001$ 显著性水平)重建。从 3 个不同时段重建结果的主要统计量(表 3)对比可以看出: 1736~1911 年, 长江中下游地区平均入梅期为 14/6, 平均出梅期为 8/7, 梅雨期平均长 24 d, 与 1951~2000 年的统计结果相近; 而 3 个时段的结果都表明: 最早与最晚年的入、出梅日期以及最长与最短年的雨期长度与雨量差异很大, 说明梅雨的年际变率明显。功率谱分析表明梅雨长度具有 2 及 7~8 a 的年际尺度周期。

表 3 3 个不同资料时段长江中下游地区梅雨重建结果的主要统计量对比(不包括空梅年)

时段	1736~1911 年	1912~1950 年	1951~2000 年
入梅日期 (日/月)	最早(出现年) 27/5(1759)	28/5(1913)	19/5(1991)
	最晚(出现年) 9/7(1900)	1/7(1912)	9/7(1982)
	平均 14/6	17/6	16/6
出梅日期 (日/月)	最早(出现年) 14/6(1757)	16/6(1931)	16/6(1978)
	最晚(出现年) 2/8(1755)	31/7(1947)	5/8(1954)
	平均 8/7	8/7	12/7
雨期长度 /d	最长(出现年) 57(1764)	43(1913)	58(1991)
	最短(出现年) 8(1782, 1838)	6(1940, 1942)	7(1978)
	平均 24	21	26
雨量 /mm	最多(出现年) 551(1764)	413(1913)	695(1991)
	最少(出现年) 69(1782, 1838)	49(1940, 1942)	61(1978)
	平均 226	197	246

1736 年以来, 梅雨期的特征量具有明显的年代际变化特征。1830 年以前入梅以偏早为主; 1831~1920 年, 存在 3 个明显的周期性波动, 每个周期长约 30 a; 1921~1970 年, 以偏晚为主; 而 1971 年以后, 又明显提前。出梅日期在 1820 年以前以偏早为主; 1821~1890 年, 年代际变幅增大, 且有明显的周期性波动, 周期长度为 20~30 a; 1891~1940 年, 年代际变幅减小; 1941 年以后, 年代际变幅又增大, 梅雨期长度与雨量变化始终存在较大的年代际变幅, 且周期性变化显著。小波谱分析(计算时缺值年份用整个序列平均值代替)结果表明: 梅雨期长度在不同时段, 年代际周期的信号长度、强弱虽各不相同, 但以 20~30 和 40 a 较为显著(图 3)。除此之外, 百年的波动信号也很显著, 其中 1771~1820, 1871~1920 及 1971~2000 年 3 个时段梅雨期较长, 而 1736~1770, 1821~1870 及 1921~1970 年 3 个时段梅雨期较短。

从入梅期与出梅期的早晚对应关系看, 在某些时段二者的相关性较好, 如 1736~1895 年和 1931~1970 年, 相关系数分别为 0.5729 和 0.3839, 通过 $\alpha=0.05$ 显著性水平, 即入梅期与出梅期共同偏早或偏晚; 而在某些时段二者的相关性较差, 如 1896~1930 年和 1971~2000 年, 相关系数仅为 0.0817 和 0.1514, 即入梅偏早或偏晚, 出梅不一定偏早或偏晚。这说明入、出梅日期之间的关系存在阶段性变化, 并不是一直稳定的。

3.2 梅雨与东亚夏季风强弱变化的比较

图 4 对比了 1873~2000 年间长江中下游地区梅雨长度与东亚夏季风指数^[16]变化。从图 4 中可以看出: 除年际与年代际变化信号外, 东亚夏季风强弱也存

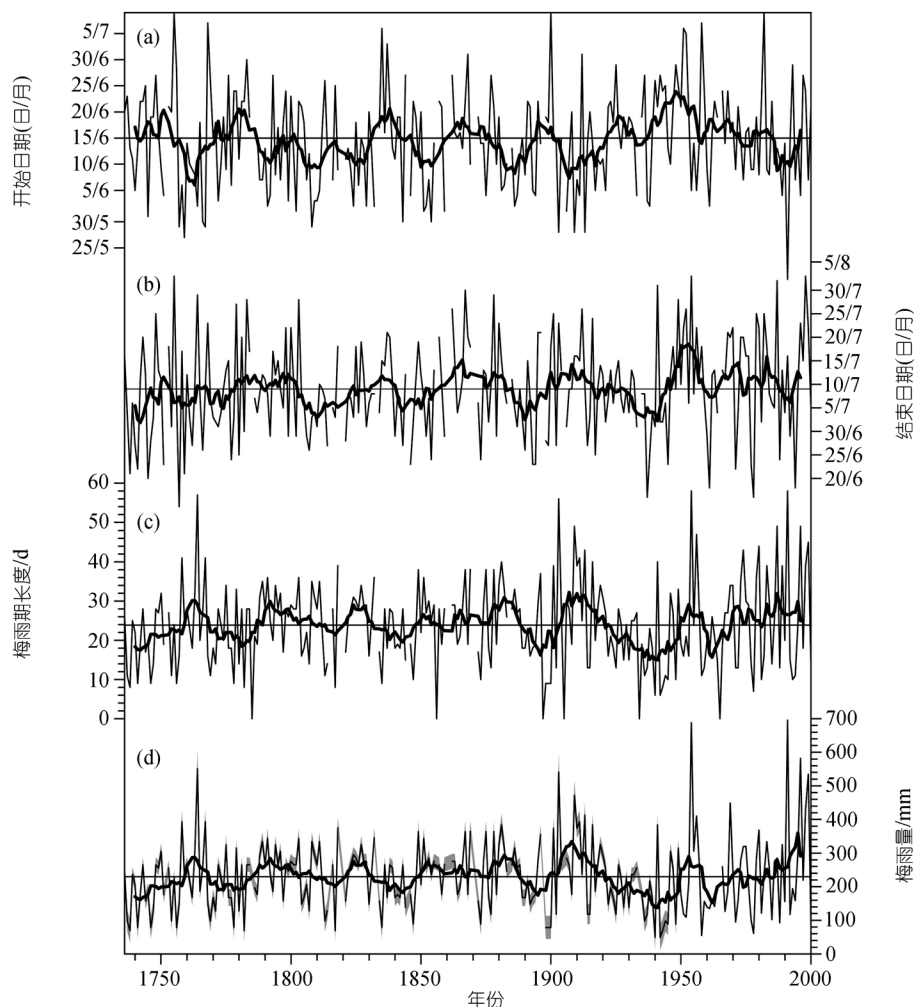


图2 1736~2000年梅雨的特征量

(a) 入梅日期; (b) 出梅日期; (c) 梅雨期长度; (d) 梅雨量; 粗曲线示9 a滑动平均值; 直线示整个序列的平均值; 灰色区域示95%置信区间

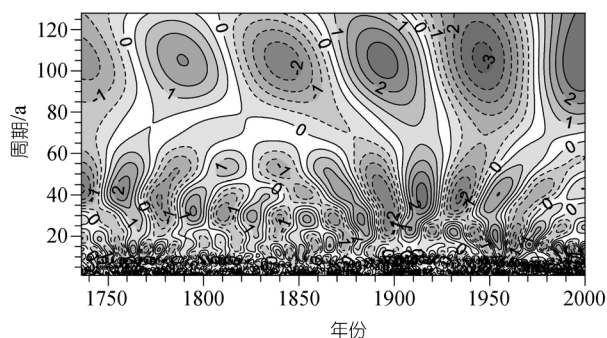


图3 长江中下游地区梅雨期长度变化的小波分析

虚线围成的区域表示梅雨期偏短, 实线围成的区域表示梅雨期偏长

在明显的多年代(Multi-decadal)阶段性变化, 其中1873~1920年东亚夏季风偏弱, 1921~1970年较强,

1971~2000年又明显减弱. 这与梅雨期长度的3个多年代阶段性变化有很好的对应关系: 其中东亚夏季风偏弱(指数平均值为1.13)的1873~1920年, 梅雨期平均长度为26 d; 较强(指数平均值为1.30)的1921~1970年, 梅雨期平均长度为21 d; 而最弱(指数平均值为0.81)的1971~2000年梅雨期平均长度最长, 达27 d; 即梅雨期长度与东亚夏季风强弱的阶段性变化相对应, 东亚夏季风强的阶段, 梅雨期短; 反之则梅雨期长. 郭其蕴等人^[16]研究结果表明: 东亚夏季风强的阶段, 中国东部夏季更容易出现华北与华南双多雨带的降雨格局, 而在夏季风弱的阶段, 多雨带则更容易发生在长江中下游地区. 据此可推测过去300 a各个阶段中国东部夏季风雨带的位置变化如表4. 这一结果与王绍武等人^[17]根据近五百年旱涝图集

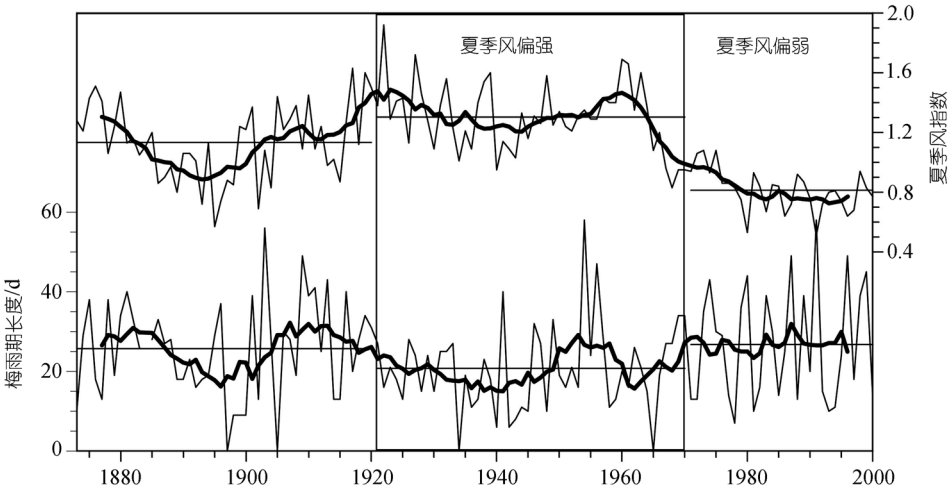


图 4 东亚夏季风指数 [16] 与梅雨期长度的关系
粗实线示 9 a 滑动平均; 细直线示对应时段的平均值

表 4 过去 300 a 中国东部季风区夏季雨带的位置变化

时段	梅雨期	东亚夏季风	雨带位置
1736~1770	偏短	偏强	华北和华南
1771~1820	偏长	偏弱	长江中下游地区
1821~1870	偏短	偏强	华北和华南
1871~1920	偏长	偏弱	长江中下游地区
1921~1970	偏短	偏强	华北和华南
1971~2000	偏长	偏弱	长江中下游地区

资料推测得到的 18 世纪雨带在黄河流域的频次较多、19 世纪雨带在长江流域的频次较多这一结果基本一致。

4 结论

上述研究结果表明: 长江中下游地区梅雨存在明显的年-年代际变化。梅雨期长度有显著的 2, 7~8, 20~30, 40 a 及近百年的周期变化信号。且其长期的阶段性变化与东亚夏季风强弱变化及中国东部季风雨带位置移动等都有较好的对应关系。在过去近 300 a 中: 1736~1770 年、1821~1870 年及 1921~1970 年等时段东亚夏季风偏强, 副高多偏北, 中国东部季风雨带位置多位于华北和华南, 梅雨期偏短; 而 1771~1820 年、1871~1920 年及 1971~2000 年等时段东亚夏季风偏弱, 副高多偏南, 雨带多位于长江中下游地区, 梅雨期偏长。这一认识说明, 自 20 世纪 70 年代以来黄河中下游降水减少、长江中下游降水增多 [18] 可能是气候年代际自然波动的结果。

参 考 文 献

1 Ding Y H. Monsoons over China. Boston: Kluwer Academic Pub-

lishers, 1994
2 周曾奎. 江淮梅雨. 北京: 气象出版社, 1996. 63
3 竺可桢. 东南季风与中国之雨量. 地理学报, 1934, 1(1): 1—27
4 徐群, 杨义文, 杨秋明. 近 116 年长江中下游的梅雨(一). 见: 刘志澄, 编. 暴雨. 灾害(五). 北京: 气象出版社, 2001. 44—53
5 杨义文, 徐群, 杨秋明. 近 116 年长江中下游的梅雨(二). 见: 刘志澄, 编. 暴雨. 灾害(五). 北京: 气象出版社, 2001. 54—65
6 张德二, 王宝贵. 18 世纪长江下游梅雨活动的复原研究. 中国科学 B 辑, 1990, 20(12): 1333—1339
7 Jiang T, Zhang Q, Blender R, et al. Yangtze Delta floods and droughts of the last millennium: Abrupt changes and long term memory. Theor Appl Clim, 2005, 82(3-4): 131—141 [DOI]
8 Ge Q S, Zheng J Y, Hao Z X, et al. Reconstruction of historical climate in China: High-resolution precipitation data from qing dynasty archives. Bull Am Meteor Soc, 2005, 86(5): 671—679 [DOI]
9 水利水电科学研究院. 清代江河洪涝档案史料丛书-清代长江流域西南国际河流洪涝档案史料. 北京: 中华书局, 1991
10 水利水电科学研究院. 清代淮河流域洪涝档案史料. 北京: 中华书局, 1993
11 水利水电科学研究院. 清代浙闽台地区诸流域洪涝档案史料. 北京: 中华书局, 1998
12 林春育. 关于梅雨问题讨论中的几个问题. 气象, 1981, 7(7): 12—14
13 林之光. 我国东部地区夏季风雨带进退规律的进一步研究. 见: 国家气象局气象科学研究所, 编. 气象科学技术集刊第 11 号: 东亚夏季风. 北京: 气象出版社, 1987. 24—31
14 陈菊英. 中国旱涝分析和长期预报研究. 北京: 农业出版社, 1991
15 段月薇, 许孟英. 我国东部地区的雨季起讫. 见: 中国科学院地理所, 编. 地理集刊第 11 号: 长期天气预报. 北京: 科学出版社, 1979. 40—49
16 郭其蕴, 蔡静宁, 邵雪梅, 等. 1873—2000 年东亚夏季风变化的研究. 大气科学, 2004, 28(2): 206—215
17 王绍武, 黄建斌. 近千年中国东部夏季雨带位置的变化. 气候变化研究进展, 2006, 2(3): 117—121
18 Wang H J. The Weakening of the Asian Monsoon Circulation after the end of 1970's. Adv Atmos Sci, 2001, 18(3): 376—386