

1736 年以来南京逐季降水量的重建及变化特征

伍国凤^{1,2} 郝志新¹ 郑景云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)

摘要: 基于清代雨雪档案和现代气象观测资料, 利用自然降水入渗试验结果及雨雪分寸与降水量统计关系, 重建南京 1736~2006 年逐季和年降水量。分析显示: (1) 18 世纪春、冬季为多雨期, 秋季为少雨期; 19 世纪秋、冬季和全年为多雨期, 春季为少雨期; 20 世纪上半叶 4 季和全年均为少雨期; 自 20 世纪末期始夏季和全年进入多雨期。(2) 年降水变化存在 2~5 a 周期, 经历 1851~1860 年和 1893~1894 年两次突变。研究结果与区域内其他旱涝等级或降水量序列有较好可比性。绝大多数粮食欠收年对应于降水异常年, 生长期为干旱异常的欠收年数量多于为洪涝异常的欠收年。

关键词: 南京; 清代雨雪档案; 逐季降水量; 过去 300 a

中图分类号: P467 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2010)06-0936-07

高分辨率历史气候序列的重建^[1,2]为改进气候模式、增加气候预测的准确性、深入认识人类社会与气候变化之间的相互关系等提供科学依据^[3,4]。中国拥有连续而丰富的历史文献, 其中包含大量与气候变化有关信息, 是利用历史文献开展高分辨率气候重建的理想区之一^[5~8]。自 20 世纪 70 年代以来, 国内学者已利用文献资料重建中国 120 个站过去 500 a 旱涝等级, 中国 48 个站过去 2 000 a 旱涝指数, 及中国东部过去 2 000 a 冬半年温度变化等气候序列, 被国际学术界广泛引用^[9~11]。

在众多的历史文献中, 清代雨雪分寸因具有覆盖范围广、定量化程度高等优点, 被认为是重建高分辨率降水序列最可靠的资料之一, 其中的雨分寸、雪分寸分别代表每次降雨后雨水渗入土壤的深度和每次降雪的积雪厚度, 测量单位用分和寸表示^[12]。基于水量平衡与土壤物理学模型等方法, 该资料已成功重建了黄河中下游地区 17 个站点过去 300 a 降水量^[13~15]。为建立入渗深度与降水量的关系, 恢复更多站点的历史降水变化过程, 2004 年 8 月至 2006 年 8 月, 中国科学院地理科学与资源研究所有关人员模仿清代观测方法, 在中国东部设 10 个自然降水入渗试验观测站, 对降水入渗深度和降水量关系进行模拟, 取得满意结果^[16,17]。本文拟利用该入渗试验的模拟结果, 结合清代雨雪

档案和现代气象观测资料, 在南京进行 1736~1909 年逐季降水量重建方法探讨, 分析 1736 年以来降水变化特征。这较以往该地区降水等级或旱涝等级的重建方法有很大改进^[18]。

1 资料来源及处理方法

本文使用的资料主要有两种: 一是清代的雨雪分寸记录; 二是南京 1905~2006 年的降水观测资料, 其中 1937~1945 年因战争原因缺测。系统的雨雪分寸记录起自乾隆元年(1736 年), 止于宣统三年(1911 年), 覆盖了全国 273 个站点, 以前的相关文章已详细介绍过该资料的基本特征^[18,19], 本文仅对南京雨雪档案的基本情况加以说明。南京乾隆-宣统的记录共约 8 000 件, 其中乾隆-道光末期(1736~1848 年), 每年记录在 30 条以上, 道光末期-宣统(1849~1911 年), 每年记录约 15 条左右。由于火灾、战乱、偷盗和自然损失等原因, 部分年份(如 1751、1819~1820、1832~1833、1838、1860~1864、1910~1911)记录完全丢失, 还有一些年份(如 1802、1834~1835、1839、1845、1847~1848、1852、1870~1871、1900)记录缺失一半以上, 二者(24 a)共占记录全长(176 年)的 14%。

南京的雨雪分寸记录按内容的量化程度可分为定量、半定量和定性 3 种形式, 其中定量记录具

收稿日期: 2009-12-28; 修订日期: 2010-05-29

基金项目: 国家自然科学基金项目(40701021、40625002)、中国科学院知识创新工程重要方向项目(kzcx2-yw-315-2)资助。

作者简介: 伍国凤(1985-), 女, 重庆北碚人, 硕士研究生, 气象学专业。E-mail: wugf.08s@igsnrr.ac.cn

通讯作者: 郝志新, 副研究员, 硕士生导师, 主要研究方向为气候变化。E-mail: haozx@igsnrr.ac.cn

有准确的降水时间及分寸数, 约占全部记录的 35%。如据两江总督陈大文奏报“江宁省城于十一月初九日(阳历日/月/年: 22/12/1803)丑时大雪缤纷, 至午时止, 除融化外积厚三四寸不等”(来源于清代奏折《硃批奏折》); 半定量记录只有降水时间, 降水状况用“甘霖渥沛”、“瑞雪频沾”等词语描述, 约占全部记录的 40%。如据江宁织造四格奏报“江宁府属入夏以来望雨, 五月十七、二十七、三十日(10、20、23/6/1740)连得大雨三次”(《耕作档》); 定性记录则无明确的降水日期及分寸数, 通常使用“雨均调”、“雨泽愆期”等词语描述阶段性的降水状况, 或用“或得阵雨, 或断续得雨一至三寸有余不等”等语句描述逐月的降水情形, 约占全部记录的 25%。如据江苏巡抚裕谦奏报“江苏各属本年(1840)入春以来天气阴寒, 雨水较多”(《耕作档》)。总体上看, 乾隆至道光末期, 以定量记录为主; 道光末期至宣统则以阶段性降水描述为主。

通过逐条阅读雨雪分寸记录, 提取出降水事件的起讫时间(或阶段性降水的发生时段)、雨分寸、雪分寸和降水情况描述等信息。然后对 3 种形式的雨雪分寸进行量化处理, 其中定量记录如“得雨一寸五分”, 直接量化为 1.5 寸(1 寸 $\approx$ 3.3 cm), 如“得雪(雨)三四寸至七八寸”, 取其最小(3 寸)与最大(8 寸)值的平均值, 记为 5.5 寸; 半定量记录需根据具有相同描述词的定量记录来进行量化, 如关于“透雨”的定量记录有“均得透雨自四五寸以至八九寸(6.5 寸)”、“复得透雨自五六寸至尺余(7.5 寸)”等, 取其平均状况, 可将“透雨”对应的雨分寸定为 7 寸; 定性记录的量化方法则相对复杂, 在第 2 部分详细介绍。

2 逐季降水量的重建方法和过程

由于 1736~1848 年和 1849~1909 年雨雪分寸的记录形式存在显著差异, 因此本文将采用不同方法重建两个时段的逐季降水量。

2.1 1736~1848 年

1) 降雨量的转换。已开展降水入渗试验的霸州、栾城、太原、延安、禹城、郑州、宿州、咸阳、襄樊和金坛等 10 个点中^[12], 位于江淮流域的金坛农业气象试验站距离南京约 120 km, 两地区同属低山丘陵地貌和亚热带湿润季风气候, 自然环境相似, 土壤质地均为粉土^[20], 因此本文利用金坛降水量与雨分

寸的关系方程重建南京的降雨量。其公式为:

$$\text{当 } \theta \leq 21\% \text{ 时 } P_r = 0.015 Z_f^2 + 1.73 Z_f \quad (1)$$

$$(N=12, R^2=0.83, p<0.001)$$

当 $\theta > 21\%$ 时, 无法对入渗深度进行模拟。式中, P_r 为降雨量(mm); Z_f 为每次降雨的入渗深度(cm), 即雨分寸; θ 为前期土壤含水量; N 为样本量, 方程的方差解释量(R^2)通过 $\alpha=0.001$ 显著性水平检验。

南京的全年降水量主要发生在夏季, 约占 43% (1951~2000 年的波动范围为 40%~46%), 春季和秋季次之, 分别约占 24% (22%~25%) 和 27% (25%~30%), 冬季仅占 6%。夏季的 6~7 月份为梅雨季节, 降水过程频繁, 雨量丰沛且时有暴雨发生, 土壤长期处于含水量较高的湿润状态, 次降雨过程的雨分寸无法反映真实的降水量, 因此不能用式(1)进行模拟。但其他 3 个季节的降水量相对较少, 土壤含水量较夏季偏低, 故本文将利用式(1)重建春、秋、冬季的降水量。

2) 降雪量的转换。雪分寸与现代气象观测中积雪厚度的记录方式一致, 因而可直接利用现代降雪量与积雪厚度之间的转换关系恢复历史时期的降雪量, 其关系式为:

$$P_s = 10 H_s \times \rho_s \quad (2)$$

式中 P_s 为降雪量(mm); H_s 为每次降雪的积雪厚度(cm), 即雪分寸; ρ_s 为积雪密度(g/cm^3)。统计分析南京 1951~1990 年日降雪量和积雪厚度的观测数据表明: $\rho_s = 0.15 \text{ g}/\text{cm}^3$ (图 1)。

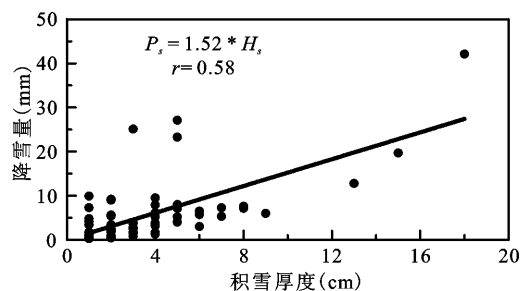


图 1 南京现代降雪量和积雪厚度的统计关系

Fig. 1 Relationship of snowfall and snow depth in Nanjing

对于雨雪分寸中的逐次定量记录, 直接利用式(1)、(2)分别将雨分寸和雪分寸转换为降水量。对于定性的季节降水记录, 根据描述词所表达的意思如“亢旱日久”、“晴多雨少”、“雨旸时若”、“晴少雨多”和“雨水过多”等, 将其归类为“少雨”、

“偏少”、“正常”、“偏多”和“多雨”5个降水等级;同时将前面定量计算出的春、秋、冬季降水量从小到大排序,按15%、20%、30%、20%和15%的分布概率划分为与之对应的1~5级,求出每个等级的平均降水量用以转换相应的定性记录。对于记录缺失的月份,则采用1951~2000年现代气象观测资料的月均降水量进行插补。若某季节内的缺失月份多于2个月,则不对该季节的降水量进行重建,直接作为缺值处理。

依照上述方法即可重建出1736~1848年(包含113个春、秋季,112个冬季)的逐季降水量序列,其中定量重建结果以冬季最多约占68%,秋季最少约占40%,春季约占60%。

2.2 1849~1909年

该时段的记录属于逐月降水描述,诸如“正月内或得微雪、或得雪三四寸不等”、“四月内或得阵雨、或得雨一至四寸不等”,极少次降雨或降雪过程的定量记录,因此无法用1736~1848年逐次降水量的重建方法进行恢复。

利用逐月降水描述中雨雪分寸最大与最小值的平均值代表该月的雨(雪)分寸数(如上述例子中,正月的雪分寸为3.5寸、四月的雨分寸为2.5寸)。又因一年中降雨占降水事件的绝大多数,为了保证整个时段分寸数的均一性,进一步将少数的月雪分寸转换为月雨分寸。方法是将雪分寸带入公式(2)中,得到降雪所产生的降水量,然后将该降水量带入式(1)得出对应的雨分寸。通过上述处理,即可建立1849~1909年逐月雨分寸序列,并发现该时段月均雨分寸的年内分布呈倒U型,与南京夏季潮湿多雨、冬季干燥少雨的降水变化特征一致(图2),并与1951~2000年月均降水量的相关系数高达0.91($N=12$, $p<0.001$)。因此,本时段的降水量可尝试通过建立月雨分寸与月降水量的关系方程来恢复。

南京在1905~1909年同时具有雨雪分寸与降水观测记录,这为建立月雨分寸与月降水量的统计关系提供了可能,得出的方程为:

$$P_{rm} = 0.80 Z_{fm}^2 + 24.7 Z_{fm} \quad (3)$$

($N=58$, $R^2=0.57$, $p<0.001$)

式中 P_{rm} 为月降水量(mm); Z_{fm} 为月雨分寸(cm)。

式(3)即可定量恢复出1849~1904年逐月的降水量;然后利用1736~1848年降水量重建的类似方法处理定性记录,进行缺失月份数据插补;得

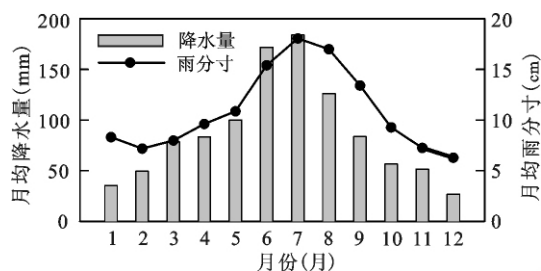


图2 1849~1909年月均雨分寸与
1951~2000年月均降水量的变化

Fig. 2 Average monthly Yu-Fen-Cun (ancient precipitation data) from 1849 to 1909 and monthly precipitation averaged from 1951 to 2000

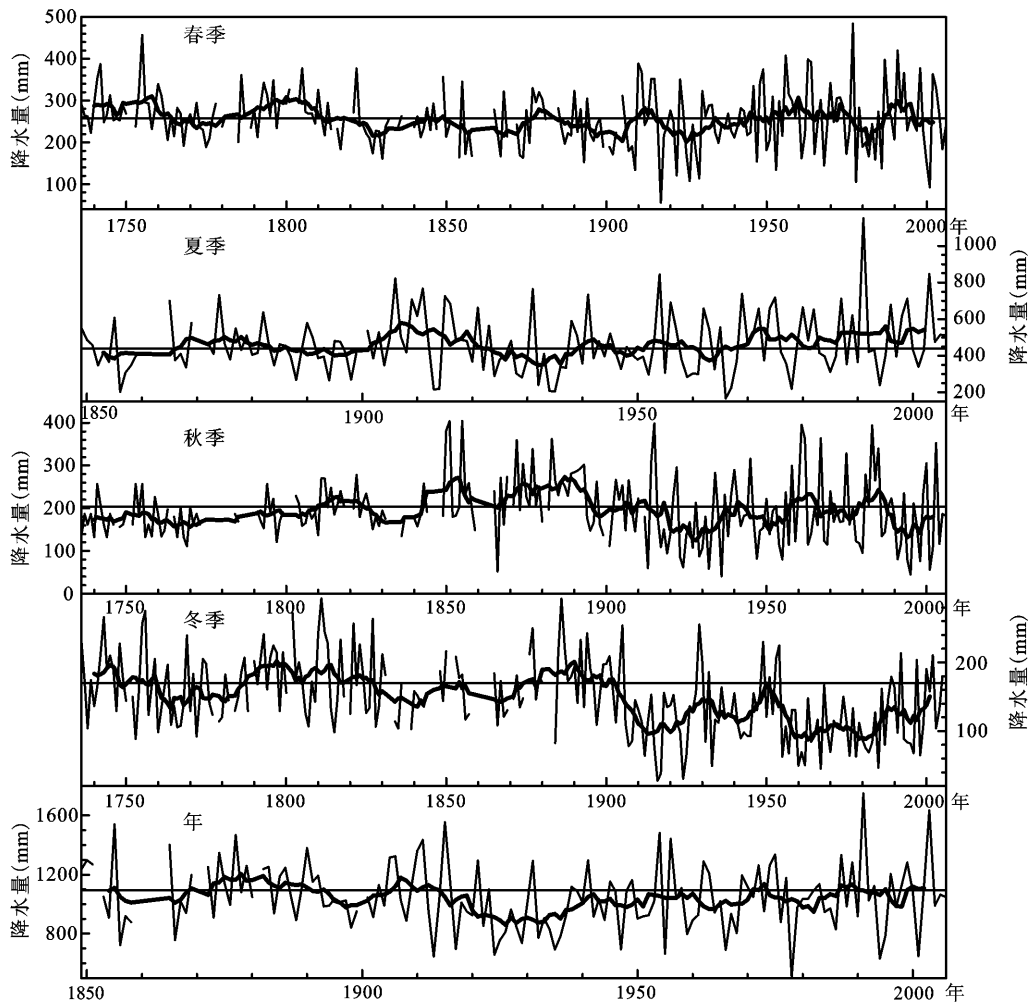
到1848年冬季至1904年冬季逐季降水量序列,其中定量重建结果约占全部的75%。

2.3 重建序列的可靠性检验

将1736~1904年重建的降水量与1905~2006年的现代气象观测资料相互衔接得出南京1736~2006年的逐季及年降水量序列(图3,其中1937~1945年根据上海的数据进行插补)。按照《中国近五百年旱涝分布图集》^[9]的旱涝等级划分标准,将本文1736~1904年的4季降水也划分为涝、偏涝、正常、偏旱和旱5级。由于500 a旱涝等级主要考虑站点雨季的降水情况,在利用降水量确定旱涝等级时,一般采用5~9月的降水量。因此将本文春、夏季的降水等级与南京500 a旱涝等级进行对比,相关系数分别为0.28($N=133$, $p<0.01$)和0.43($N=48$, $p<0.01$)。其中,在1736~1750年和1777~1821年的春季,1849~1872年和1892~1904年的夏季,两者吻合程度最高,完全一致或相差1级的年份均占92%以上。

从一些极端旱涝年看,500 a旱涝等级为1级的1741和1755年,本文重建的春秋季节降水等级为1和2级。张德二等恢复的南京18世纪月-年降水量^[21]也表明,1741年5月出现早梅雨,降水量多达228 mm,6~7月降水极少,8~10月降水较多,是降水量特别多的年份;1755年5~9月和年降水量均为18世纪最高峰。500 a旱涝等级为5级的1775年,本文重建的春秋季节降水等级均为5级,在张德二5~9月降水序列中该年降水量也极少,仅有260 mm左右。

过去300 a树轮的 $\delta^{13}\text{C}$ 记录重建的9月降水量显示浙江天目山地区1800~1899年和1941~1970年属多雨期,1685~1799年和1900~1940年属少雨期^[22]。本文恢复的南京秋季降水变化同样



细线为逐年降水量;粗线为 9 a 滑动平均;直线为重建时段的平均值

图 3 南京 1736 ~ 2006 年的逐季与年降水量序列

Fig. 3 Seasonal and annual precipitation series from 1736 to 2006 in Nanjing

反映出,19 世纪是整个序列中最湿润的阶段,降水均值达 220.6 mm,1736 ~ 1799 年和 1900 ~ 1940 年均值仅为 175.2 和 172.6 mm,进入 20 世纪后半叶降水量又开始波动上升。上述分析表明本文恢复的降水变化与已有结论基本一致,说明本文重建序列有较高可靠性。

3 重建结果分析

3.1 降水变化的年 - 年代际特征

根据图 3 计算各序列的年代降水距平百分率(图 4,春、秋、冬季以 1736 ~ 2006 年的平均值为标准,第 1 个时段仅统计 1736 ~ 1740 年;夏季及全年以 1849 ~ 2006 年的平均值为标准,第 1 个时段统计 1849 ~ 1860 年;最后 1 个时段均仅统计 2001 ~ 2006 年),其中正距平代表降水偏多,负距平代表

降水偏少。结果显示:降水明显偏多的时段分别集中在春季的 1736 ~ 1760 和 1781 ~ 1810 年;夏季的 1849 ~ 1850 和 1901 ~ 1920 年;秋季的 1841 ~ 1910 和 1981 ~ 1990 年;冬季的 1736 ~ 1760、1781 ~ 1830 和 1871 ~ 1900 年,全年的 1849 ~ 1850 年。降水明显偏少的时段分别集中在春季的 1921 ~ 1940 和 1981 ~ 1990 年;夏季的 1851 ~ 1860 和 1921 ~ 1970 年;秋季的 1831 ~ 1840、1911 ~ 1960 和 1991 ~ 2006 年;冬季的 1901 ~ 1940 和 1951 ~ 2000 年,全年的 1911 ~ 1980 年。南京过去 300 a 降水变化的阶段性特征如下:春季降水 18 世纪处于多雨期,19 世纪开始进入较长的少雨期,直至 20 世纪中期再次转为多雨期;夏季降水 20 世纪 20 年代以前和 20 世纪 70 年代以后为多雨期,中间为少雨期;秋季降水 19 世纪是多雨期;冬季降水在 1900 年具有明显

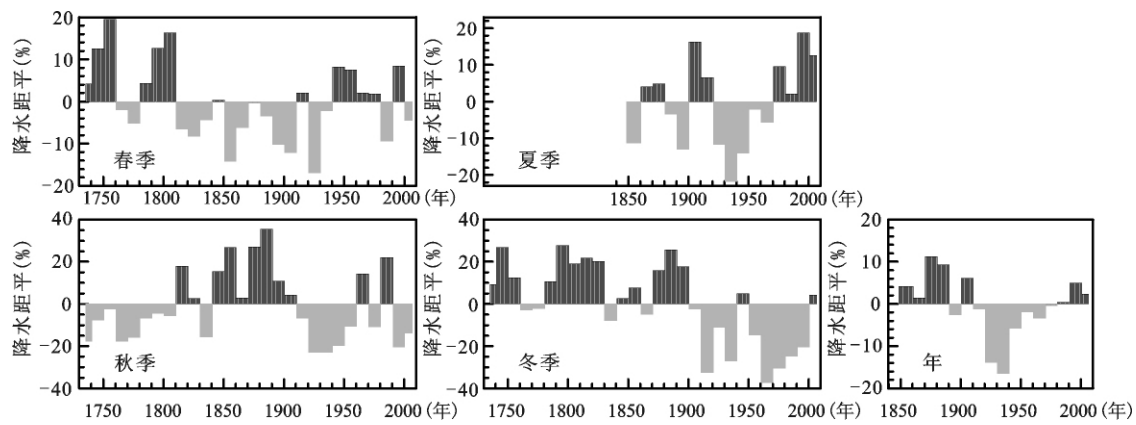


图4 南京1736~2006年的10 a降水距平百分率

Fig.4 Decadal anomaly percentage of precipitation from 1736 to 2006 in Nanjing

由少雨期向多雨期转折特征; 全年降水在19世纪和20世纪末期主要表现为多雨期, 其他时段表现为少雨期。

功率谱分析显示: 年降水量具有2.1、2.6和5.1 a的变化周期, 这与人提出中国东部降水存在2~7 a振荡的结论一致^[23~27], 也与ENSO事件发生的周期一致。用Mann-Kendall法检测出年降水序列在1851~1860年和1893~1894年存在两次突变, 降水先从减少转为上升趋势, 然后再呈下降趋势。

3.2 旱涝状况对农业收成的影响

在清代奏折中, 农业收成的定量评估将颗粒无收(2分)至特大丰收(10分)划分为9个等级, 并规定岁收8分以上为丰, 6~7分为平, 5分以下为欠^[28-29]。江苏作物种植为1年2熟制, 以大、小麦为主的夏收作物生长期在冬、春两季, 以水稻为主的秋收作物生长期在夏、秋两季。基于上节所得1736~1904年的4季降水等级, 分析欠收年份生长期的旱涝状况发现(图5), 70%和92%的夏收欠收年分别发生在冬、春季降水异常年(等级为1~2或4~5), 82%和78%的秋收欠收年分别发生在夏季、秋季降水异常年。此外, 生长期因降水偏少所致的欠收年数量多于因降水偏多所致的欠收年, 例如62%夏收欠收年的春季降水、50%秋收欠收年秋季降水均为干旱异常。

在热量条件一定的情况下, 水分是保证粮食丰收的关键因素。清代雨雪档案详细记载了与极端旱涝事件有关的农业减产。例如, 1854~1858年中, 3 a春季降水为旱, 1 a为偏旱, 1 a夏季降水为旱, 3 a为偏旱, 以致连续5 a的夏收、秋收均在5

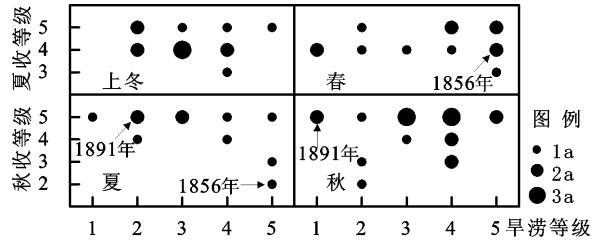


图5 南京1736~1904年农业欠收年份生长期的旱涝等级

Fig.5 Drought/flood grades of growing seasons in the poor harvest years from 1736 to 1904

分以下。尤其是1856年春、夏连续两季旱, 署理江苏巡抚赵德轍奏报“三月(5/4~3/5)得微雨, 在田二麦正当吐秀扬花, 因缺雨滋培, 地土干燥, 未能一律茂盛”、“七月(1/8~29/8), 高区无水车库, 即已种者亦被旱黄萎, 低平禾棉得雨仍不足滋培, 结穗恐难饱满”。1849年春季降水为涝, 使得二麦未能丰收, 江苏巡抚傅绳勋奏报“四五月间(23/4~19/7)连旬霪雨, 各属民田被淹, 成灾既广且重”、“五月(20/6~19/7)得雨一尺余寸不等, 遇此连旬大雨, 低洼各处间有已获之二麦, 晒晾无由, 尽皆发芽蒸变, 其未获者久浸水中, 霉烂居多, 秧苗损坏灾象已成。”1891年也是由于夏秋降水异常偏多, 致使秋收为欠, 江苏巡抚刚毅奏报“八月(3/9~2/10)晚禾木棉正当吐秀结铃, 连遭狂风大雨摇撼摧残, 秋成颇形减欠。”

4 结 论

本研究是利用自然降水入渗试验的模拟结果开展降水重建的首次尝试, 突破了以往根据雨雪档案的文字描述仅能重建长江中下游地区旱涝等级

的局限,为在其它站点开展大范围降水重建奠定了良好的基础。南京 1736~2006 年逐季和年降水序列的分析结果表明,18 世纪,春、冬季降水偏多,秋季降水偏少;19 世纪,秋、冬季和全年降水偏多,春季降水偏少;20 世纪上半叶,四季和全年降水偏少;20 世纪末至 21 世纪初,夏季和全年降水偏多。年降水序列存在 2~5 a 的变化周期,在 1851~1860 年和 1893~1894 年经历了两次突变,降水先从波动减少转为波动上升,然后又转为波动减少趋势。本文的重建序列与 500 a 旱涝等级、张德二等恢复的南京 18 世纪降水序列中的一些极端旱涝年以及浙江天目山过去 300 a 的秋季气候变化基本一致。此外,绝大多数粮食欠收年发生在降水异常年,且生长期为干旱异常的欠收年数量多于为洪涝异常的欠收年。

参考文献:

- [1] 朱西德,王振宇,李林,等. 树木年轮指示的柴达木东北缘近千年夏季气温变化[J]. 地理科学, 2007, 27(2): 256~260.
- [2] 李明霞,汪永进,邱庆伦. 中全新世 7~6 ka 东亚季风气候的高分辨率石笋记录[J]. 地理科学, 2007, 27(4): 519~524.
- [3] Eddy J A. Past Global Changes Project: Proposed Implementation Plans for Research Activities[R]. Global Change Report No. 19, International Geosphere-Biosphere Programme, Stockholm, Sweden, 1992.
- [4] Duplessy J C, Overpeck J. The PAGES/CLIVAR INTERSECTION: Providing Paleoclimatic Perspective Needed to Understand Climate Variability and Predictability[R]. Report of a Joint IG-BP/WCRP Workshop, Venice, Italy, 1994.
- [5] 叶瑜,方修琦,葛全胜,等. 从动乱与水旱灾害的关系看清代山东气候变化的区域社会响应与适应[J]. 地理科学, 2004, 24(6): 680~686.
- [6] 方修琦,叶瑜,葛全胜,等. 从城镇体系的演变看清代东北地区的土地开发[J]. 地理科学, 2005, 25(2): 129~134.
- [7] 萧凌波,方修琦,张雪珍. 19 世纪后半叶至 20 世纪初叶梅雨带位置的初步推断[J]. 地理科学, 2008, 28(3): 385~389.
- [8] National Research Council of the National Academy. Surface Temperature Reconstructions for the Last 2 000 Years [M]. Washington D C: National Academy Press, 2006.
- [9] 中央气象局气象科学研究所. 中国近五百年旱涝分布图集[M]. 北京: 地图出版社, 1981.
- [10] 张丕远,王铮,刘啸雷,等. 中国近 2000 年来气候演变的阶段性[J]. 中国科学(B 辑), 1994, 24(9): 998~1008.
- [11] 葛全胜,郑景云,满志敏,等. 过去 2 000 a 中国东部冬半年温度变化序列重建及初步分析[J]. 地学前缘, 2002, 9(1): 169~181.
- [12] 张丕远. 中国历史气候变化[M]. 济南: 山东科学技术出版社, 1996.
- [13] 郑景云,郝志新,葛全胜. 重建清代逐季降水的方法与可靠性——以石家庄为例[J]. 自然科学进展, 2004, 14(4): 475~480.
- [14] 郑景云,郝志新,葛全胜. 山东 1736 年来逐季降水重建及其初步分析[J]. 气候与环境研究, 2004, 9(4): 551~566.
- [15] 郑景云,郝志新,葛全胜. 黄河中下游地区过去 300 年降水变化[J]. 中国科学(D 辑), 2005, 35(8): 765~774.
- [16] Ge Quansheng, Zheng Jingyun, Hao Zhixin, et al. Reconstruction of Historical Climate in China: High-resolution Precipitation Data from Qing Dynasty Archives[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 2005, 86(5): 671~679.
- [17] 郝志新,郑景云,葛全胜,等. 黄河中下游与江淮流域的降水量和入渗深度关系分析[J]. 自然科学进展, 2008, 18(6): 662~667.
- [18] 郑景云,赵会霞. 清代中后期江苏四季降水变化与极端降水异常事件[J]. 地理研究, 2005, 24(5): 673~680.
- [19] 张瑾瑜. 清代档案中的气象资料[J]. 历史档案, 1982, (2): 100~104.
- [20] 中国科学院南京土壤研究所编制. 中国土壤图集[M]. 北京: 地图出版社, 1986.
- [21] 张德二,刘月巍,梁有叶,等. 18 世纪南京、苏州和杭州年、季降水量序列的复原研究[J]. 第四纪研究, 2005, 25(2): 121~128.
- [22] 赵兴云,王建,钱君龙,等. 天目山地区树轮 $\delta^{13}\text{C}$ 记录的 300 多年的秋季气候变化[J]. 山地学报, 2005, 23(5): 540~549.
- [23] 张德二,刘传志,江剑民. 中国东部 6 区域近 1000 年干湿序列的重建和气候跃变分析[J]. 第四纪研究, 1997, (1): 2~10.
- [24] 王绍武,龚道溢,叶瑾琳,等. 1880 年以来中国东部四季降水量序列及其变率[J]. 地理学报, 2000, 55(3): 281~293.
- [25] 濮冰,王绍武,朱锦红. 中国东部四季降水量变化空间结构的研究[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2007, 43(5): 620~629.
- [26] 葛全胜,郭熙凤,郑景云,等. 1736 年以来长江中下游梅雨变化[J]. 科学通报, 2007, 52(23): 2792~2797.
- [27] 郝志新,李明启,郑景云,等. 长江中下游地区梅雨与旱涝的关系[J]. 自然科学进展, 2009, 19(8): 877~882.
- [28] 马立博. 南方向来无雪——帝制后期中国南方的气候与收成(1650~1850 年) [C]//刘翠溶. 积渐所至——中国环境史论文集. 台北: 中央研究院经济研究所, 1995: 579~631.
- [29] 葛全胜,王维强. 人口压力、气候变化与太平天国运动[J]. 地理研究, 1995, 14(4): 32~41.

Reconstruction and Analysis of Seasonal Precipitation in Nanjing Since 1736

WU Guo-feng^{1 2}, HAO Zhi-xin¹, ZHENG Jing-yun¹

(1. *Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101;*

2. Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100875)

Abstract: Based on the Yu-Xue-Fen-Cun (ancient rainfall and snowfall data) archives in the Qing Dynasty and modern meteorological observations, this paper reconstructed seasonal and annual precipitation from 1736 to 2006 in Nanjing. The conclusions indicated: (1) In the 18th century, Nanjing received more precipitation during the spring and winter, while the autumn was in less precipitation period. In the 19th century, the autumn, winter and annual precipitation was relatively more, while the spring was in less precipitation period. During the first half of the 20th century, there was relatively less precipitation in all seasons. From the end of the 20th century on, the summer and annual turned into rainy period. (2) The annual precipitation had 2–5 yr cycles and abrupt changes during 1851–1860 and 1893–1894. These reconstructions were well consistent with other drought/flood or precipitation series in the region. Moreover, most of poor harvests occurred in the abnormal precipitation years, in which the proportion of years with less precipitation was higher.

Key words: Nanjing; Yu-Xue (rainfall and snowfall) archives in the Qing Dynasty; seasonal precipitation; past 300 years