陕西关中及周边地区近 500 a来初夏旱涝事件初步分析

尹红[1,2], 郭品文[1], 刘洪滨[2], 邵雪梅[3], Hans Linderholm[4]
(1. 南京信息工程大学 大气科学学院, 江苏 南京 210044; 2. 中国气象局 气候研究开放实验室, 北京 100081;
3. 中国科学院 地理科学与资源研究所, 北京 100101; 4. 哥森堡大学 地球科学系, 瑞典 哥森堡 SE-405 30)

摘要: 基于华山树轮宽度差值年表重建的陕西关中及周边地区近 500 a来的初夏干燥指数序列, 对该地区初夏极端旱涝事件及其连续旱涝变化特征进行了初步分析。区域干燥指数与 Palmer指数在变化上极为相似, 可用于反映该地区的旱涝变化。结果表明: 该地区近 500 a来初夏共发生 18次极端干旱事件和 11次极端洪涝事件, 除公元 1521年与历史文献记录的旱涝事件相反, 公元 1513年、1574年、1675年和 1945年未发现历史记录外, 其余年份均能找到相应记录; 近 500 a来初夏存在 9 个显著的连续偏旱期和 10 个显著的连续偏涝期, 并以 16和 19世纪发生的连续旱涝事件最为频繁, 而 17和 18世纪发生的旱涝事件相对较少, 20世纪发生的干旱事件明显多于洪涝事件。

关键词: 气候变化; 旱涝事件; 干燥指数; 关中地区
中图分类号: P461 文献标识码: A 文章编号: 1000-2022(2007)01-0051-06

Preliminary Analysis of Drought/Flood Events in Early-Summer over the Central Shaanxi Plain during the Past 500 Years

YIN Hong[1,2], GUO Pin-wen[1], LIU Hong-bin[2],
SHAO Xue-mei[3], LINDERHOLM Hans[4]
(1. School of Atmospheric Sciences, NUIST, Nanjing 210044, China;
2. Laboratory for Climate Studies, CMA, Beijing 100081, China;
3. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;
4. Department of Earth Sciences, Gothenburg University, Gothenburg SE-405 30, Sweden)

Abstract: In this study, the variation characteristics of extreme drought and flood events during the past 500 years were analyzed using the early-summer dryness indices series reconstructed by tree ring width chronologies of Huashan Pine sampled at the Huashan Mountain. Comparisons between the dryness indices and the Palmer indices show that the dryness indices could be used to figure out the drought and flood events in the central Shaanxi plain. There were 18 extreme droughts and 11 extreme floods events in early-summer detected in this area during the past 500 years. Most of the events could be found in the historical documents, except that a flood event was detected from the dryness index but a drought event was recorded in the historical documents in A. D. 1521. There are also four events which have no corresponding records in the historical documents in A. D. 1513, 1574, 1675 and 1945, respectively. Nine continuous drought periods and ten continuous flood periods are significant in the past 500 years. The drought and flood events occurred with high frequency in the sixteenth and the nineteenth centuries, but were less in the seventeenth and eighteenth centuries. The drought events are obvious more than the flood events in the twentieth century.

Key words: climate change; drought and flood events; dryness indices; central Shaanxi plain

收稿日期: 2006-01-03; 改回日期: 2006-04-06
基金项目: 国家"十五"科技攻关项目(2001BA611B-01); 中意环保合作项目(SW MER-TASK8)
作者简介: 尹红(1979-), 女, 黑龙江齐齐哈尔人, 博士生, 研究方向: 气候变化, yinh@cma.gov.cn

0 引言

陕西关中地区地处亚洲夏季风区边缘, 属于生态环境脆弱地带, 旱涝是陕西普遍而重大的气象灾害之一, 干旱危害严重, 范围广大。1995年和 1997年, 仅隔 1 a, 西北地区发生了两次严重干旱, 1995年陕西关中有 23个县 (市)年降水量偏少 5~ 7成; 1997年陕西为严重大旱[1]。2003年陕西省全省 50多条河流不同程度地发生洪水[2]。因此正确认识全球变暖背景下区域旱涝变化的特征和规律, 对于协调区域经济发展与人类生存环境的关系, 促进西部社会、经济与生态、环境建设具有重要意义。

目前, 关于西北干旱分析已由大量的研究[3-4], 但是由于观测资料的限制, 最近 50 a的观测记录仅包含了有限时空的气候变化事件, 对于更长时间尺度旱涝变化研究只能应用古气候代用资料, 将现代的气候事件放置于历史气候演变的长河中考查, 以理解过去气候事件的严重程度、持续性, 为预期未来的气候事件提供科学依据。陕西省几百年旱涝变化规律分析已有很多研究, 王川等[5]利用我国 500多年旱涝资料, 分析陕西及其东部区域历史上发生的旱涝周期及气候突变, 认为未来 10 a陕西地区旱涝的变化趋势是正常偏旱。李兆元等[6]根据西安丰富的历史旱涝史料, 建立了近 1 500 a旱涝序列, 对西安地区旱涝气候的长期变化进行分析。李兆元等[7]利用西北地区 4站的 210 a的旱涝等级资料对旱涝进行了相关性、周期性、突变性和阶段性分析。由于陕西省有丰富的史料记载, 以上研究都是利用历史旱涝史料进行的, 主要分析旱涝的周期性和突变性。本文采用树轮资料对历史时期关中地区的极端旱涝事件及旱涝的强度和频率进行初步分析, 当前对这方面的研究工作还不够充分。树木年轮资料具有定年准确、连续性强、分辨率高和易于获取副本等特点, 长期以来在地球科学界受到高度重视, 在过去全球变化研究中, 被列为重要的技术途径之一, 在历史时期气候变化研究中得到了广泛应用[8-11]。

本文研究区域为陕西关中及周边地区, 其中包括陕西关中地区、陕北高原南部地区以及甘肃东部地区[12]。刘洪滨等[12]定义了干燥指数, 利用华山 3个样点的树轮宽度插值年表重建了中国陕西关中及周边地区近 500 a来初夏干燥指数序列, 对重建结果进行了周期和突变分析。本文在此基础上对选定区的极端旱涝变化进行分析, 将分析结果与历史文献记录进行了对比, 并揭示了近 500 a来的连续旱涝变化规律, 同时将文中采用的干燥指数与现有国家级气候业务中所采用的改进的旱涝指标 Palmer指数[13]进行了对比, 表明分析结果在古今气候变化特征的时空对比分析上是可用的。

1 资料与方法

1.1 资料

气候资料为采用逐步搜索逼近法客观分析技术计算的中国 1954—1997年月降水量和月平均气温格点资料, 格距为 1°×1° (纬向 ×经向)[14]。

选用的气候代用资料为利用树木年轮差值年表重建的陕西关中及周边地区近 500 a来的初夏干燥指数序列。为探究所用代用资料指示旱涝事件的可靠性及与相关研究结果的可比性, 利用该地区站点资料计算的 Palmer指数 (PDSI指数)与干燥指数进行了对比, 其中 Palmer指数在国际旱涝研究中普遍使用, 也是我国国家级气候业务中常用的指数之一。结果表明, 研究区域近 50 a来的干燥指数变化与 Palmer指数变化之间存在着较好的对应关系 (图 1a), 二者之间的相关系数为 0.68。利用树轮年表重建了该地区初夏 Palmer指数的变化, 其结果与干燥指数的重建结果几乎完全一致 (图 1b), 相关系数接近 1.00。可见, 干燥指数在很大程度上可以反映该地区的旱涝变化。两种指数的定义在某种程度上均考虑了降水和蒸发的作用, 比单独考虑降水作为唯一指标能更真实地反映干旱和洪涝事件, 由此认为, 本文利用干燥指数重建序列进行旱涝事件研究具有一定的合理性。

1.2 分析方法

在气象统计分析中, 大多数气候诊断方法和预测模型是在气候变量呈正态分布假设的前提下进行的。对变量是否服从正态分布进行检验, 最简便的方法是对描述观测数据总体分布密度特征量偏度系数和峰度系数进行检验[15], 计算得到干燥指数重建序列的偏度系数和峰度系数, 其值分别为 0.27和 0.35, 分别小于相应的统计检验值, 因此认定该干燥指数重建序列服从正态分布。

气候概念的定义从统计上看与气候事件的概率分布有关, 当气候的某种状态严重偏离气候平均态时, 在统计意义上就可被称为小概率事件, 也可被称为极端事件。本文中认定距平值大于两倍序列标准差的事件是小概率事件, 其发生的概率约占总体事件的 5%左右, 因此两倍序列标准差在此被用于检验在某一年是否发生了极端事件。

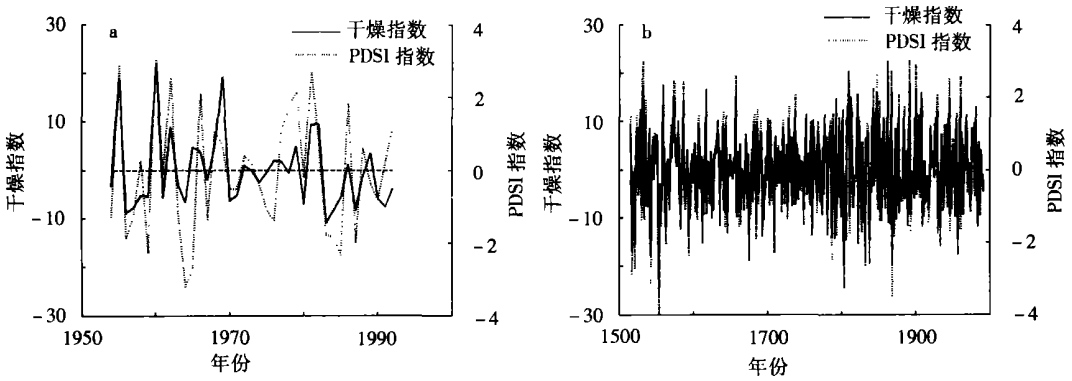

图 1　由器测资料计算 (a)及由树轮年表重建 (b)的干燥指数与 PDSI指数对比

Fig 1　Time series of PDSI indices and (a) observed, and (b) treering-reconstructed dryness indices

由干燥指数定义[12]可知, 干燥指数越大, 干旱事件越严重; 干燥指数越小, 洪涝事件越严重。由此定义旱涝强度等级: 序列中某一距平值大于序列的一倍标准差定义为中旱年, 大于两倍序列标准差定义为极旱年; 反之, 定义为中涝年和极涝年。

2　结果分析

2 1　极端旱涝事件分析

本文采用距平值大于两倍标准差标准来检测极端旱涝事件。图 2为重建的初夏干燥指数距平序列, 从中可以看出, 公元 1506、1531、1532、1573、1574、1586、1657、1809、1847、1862、1867、1891、1900、1945和 1960年干燥指数距平大于两倍的标准差, 表明这些年份初夏极可能发生了极端干旱事件, 而公元 1513、1517、1521、1542、1553、1554、1675、1803、1832、1838和 1868年干燥指数距平小于两倍标准差, 表明这些年份初夏极可能发生了极端洪涝事件。由于树轮年表重建的干燥指数序列仅截止到公元 1992年, 因此, 将格点资料计算的公元 1954—1997年干燥指数按照相同的标准划定极端事件, 发现公元 1960、1994、1995和 1997年初夏均发生了较为严重的干旱 (图略)。

表 1所列历史文献记录均摘录自《中国三千年气象记录总集》[16], 该总集的历史文献记录截止年份为公元 1911年, 因此, 表 1中仅列出了公元 1911年以前在研究区域发生干旱事件的相应历史文献记录。从表 1可以看出, 公元 1500—1911年间, 干燥指数序列所反映的 13次初夏干旱事件除 1574年外在历史文献记录中均能找到相应的记录。

表 2列出了公元 1911年以前与干燥指数指示的洪涝事件相应的历史文献记录。从中可见, 公元 1513年和公元 1675年的洪涝事件未从历史文献记录中找到相应证据, 而公元 1521年干燥指数指示出发生了洪涝事件, 但在当年的历史文献记录中反而记载着干旱事件, 二者所反映的旱涝事件性质截然相反, 其原因可能为: 1)二者对应的地区存在一定差别, 因为洪涝事件发生的区域范围可能会小于干旱事件, 相应的文献记载会少一些; 2)干燥指数的大小不仅与降水量有关, 还取决于温度的高低, 若在某些年份该地区初夏出现低温事件, 干燥指数同样会偏低。因此当年的旱涝事件定性问题还需要更多的资料予以佐证。从总体上看, 多数年份均能在历

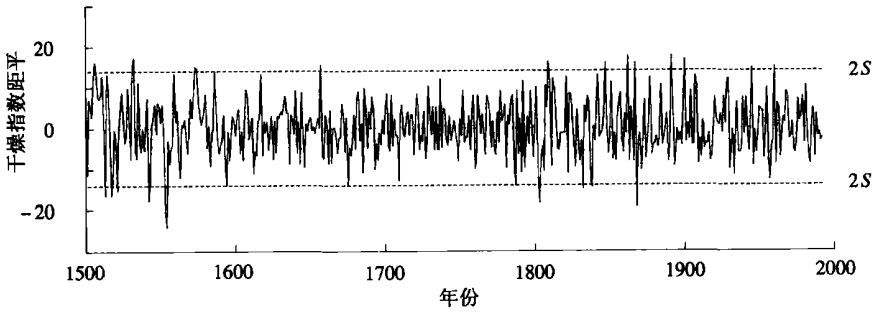

图 2　重建的初夏干燥指数距平序列 (公元 1500—1992年, S 为标准差)

Fig 2　The reconstructed early-summer dryness indices anomaly (1500—1992 A. D., S is the standard deviation)

史文献记录中找到洪涝记录。公元 1513、1675年是否出现了洪涝事件,还需进一步考证。

表 1 极端干旱事件的历史文献记录

Table 1 The historical documentary records of extreme drought events

年份	历史记录
1506(明正德元年)	四月丁卯,以旱灾免陕西延安府所属州县税粮四万六千石
1531(明嘉靖 10年)	六月丙申陕西西安等六府大旱;咸阳市旱甚
1532(明嘉靖 11年)	咸阳市,旱又甚;大荔县,旱益甚
1573(明万历元年)	安康县旱,蝗
1574(明万历 2年)	(无记录)
1586(明万历 14年)	陕西大旱,甘肃正宁县,镇原县大旱
1657(清顺治 14年)	潼关县,春夏旱;麟游县,春夏大旱。
1809(清嘉庆 14年)	陕西富平县大旱;甘肃镇原县大旱。
1847(清道光 27年)	陕西咸阳市,泾阳县,渭南市大旱
1862(清同治元年)	长安县夏五月渭水涸,人可徒涉;渭南市,六月渭水涸,人涉而过
1867(清同治 6年)	长安县,夏旱;同州市大旱
1891(清光绪 17年)	长安县,夏旱;泾阳县夏旱
1900(清光绪 26年)	陕西大旱

表 2 极端洪涝事件的历史文献记录

Table 2 The historical documentary records of extreme flood events

年份	历史记录
1513(明正德 8年)	(无记录)
1517(明正德 12年)	关中积雨伤禾;五月已亥,甘肃大雨雹,平地水深三尺
1521(明正德 16年)	六月陕西诸郡大旱(相反)
1542(明嘉靖 21年)	陕西商县、镇安等处大水
1553(明嘉靖 32年)	富县,夏六月大水
1554(明嘉靖 33年)	汉中市平地水深三尺
1675(清康熙 14年)	(无记录)
1803(清嘉庆 8年)	洛阳县二月大水,且前一年大荔县,榆林县秋季大水
1832(清道光 12年)	陕西西安市,大荔县,铜州市大水
1838(清道光 18年)	陕西蓝田县六月山水爆发
1868(清同治 7年)	咸阳市渭泛溢,丰决堤;洛川县,水灾;黄陵县水灾

值得说明的是本文采用历史文献记录只摘录了研究区域内与极端旱涝事件相对应的部分记录,在研究区域也存在与本文的研究结果相反的记录,总体来讲,本文研究的陕西关中地区的极端干旱事件与历史文献有较好的对应,对于洪涝事件,在研究区域内多处存在与本文研究结果相反的记录。由于降水具有局地性特点,在查阅历史文献记录过程中发现,研究区域内某一年可能有大旱的记录,亦有洪涝的记录,且在历史文献中记录了发生极端旱涝事件的年份,但是在本文研究中并未发现。这需要在以后的工作中能够分区域给出历史时期区域的净旱涝指数以便较好地与其他古气候代用资料进行对比,也需要开发更多的古气候资料进行分析比较。

2.2 旱涝事件的世纪尺度变化特征

一般认为,连续多年的干旱或洪涝事件会造成大的影响,对农业生产和人居环境产生更为严重的后果。为此,从重建的干燥指数序列中依次计算相邻多年的干燥指数平均值,与重建序列的平均值进行对比,利用 t检验法,找出平均值与整个序列平均值存在显著差异的时段,并将这一时段看作连续干旱期或连续洪涝期。为从更严格的意义上定义连续干旱期或洪涝期,本文设定了其需要满足的条件:1)该时段的干燥指数均值与整个序列均值存在的显著差别,在统计上应满足 0.05显著性水平;2)该时段内各年的干燥指数相对于整个序列均值的距平应为同号;3)该时段首尾两年距平值的绝对值应分别大于整个序列的一倍标准差。

在上述条件下,共找出 9个显著的连续偏旱期,分别是:公元 1502—1511 年、1514—1515 年、1531—1532 年、1570—1580 年、1807—1810 年、1812—1813 年、1907—1908 年、1926—1929 年和 1994—1995年,持续时间分别为 10 a、2 a、2 a、11 a、4 a、2 a、2 a、4 a、2 a,其中 1994—1995年器测干燥指数显示为连续偏旱;同时找出 10个显著的连续偏涝期,分别是:公元 1517—1521年、1542—1543年、1553—1556年、1562—1563年、1593—1596年、1786—1787 年、1802—1806 年、1830—1832 年、1837—1838年和 1868—1871年,持续时间分别为 5 a、2 a、4 a、2 a、4 a、2 a、5 a、3 a、2 a和 4 a。结合上节有关极端干旱和洪涝事件发生年份的分析结果可以看出,陕西关中及周边地区在 16世纪和 19世纪的旱涝事件与连续旱涝事件发生较为频繁,且连续旱涝事件的持续时间也相对较长,这一特征可能与小冰期气候有关。有研究表明,小冰期事件不仅单纯是变冷事件,它还伴随有全球的干湿变化,并且干湿变化较大,旱涝灾害天气较多[17]。

表 3　旱涝年世纪发生频次

Table 3　The frequency of drought and flood events per century

类型	1500—1599年	1600—1699年	1700—1799年	1800—1899年	1900—1997年	合计	百分率 /%
极旱	6	1	0	5	6	18	3.6
中旱	19	10	14	15	15	73	14.6
正常	57	76	75	60	64	332	66.7
中涝	12	12	11	16	13	64	12.9
极涝	6	1	0	4	0	11	2.2

表 3给出了研究区域初夏旱涝与极端旱涝事件在近 5个世纪中发生的频次。从中可见, 近 500 a来该地区初夏发生极旱事件的比例占 3.6%, 发生极涝事件的比例占 2.2%; 发生干旱事件 (极旱和中旱)的比例占 18.2%, 发生洪涝事件 (极涝和中涝)的比例占 15.1%, 表明该地区发生干旱事件的概率略大于发生洪涝事件概率。从旱涝世纪尺度发生频次来看, 16、19、20世纪初夏发生干旱事件的频次相当, 发生次数分别为 25、20和 21次; 而 17和 18世纪初夏干旱事件的发生次数相当, 分别为 11和 14次; 16和 19世纪初夏发生洪涝事件的频次相当, 发生次数分别为 18和 20次; 17、18、20世纪初夏洪涝事件的频次相当, 分别为 13、11和 13次, 16、19世纪发生的旱涝事件次数约相当于 17、18世纪旱涝事件的 1.7倍。由此可见, 16和 19世纪发生的初夏旱涝事件相对较多, 而 17和 18世纪发生旱涝事件相对较少。从总体上看, 16—19世纪间各个世纪中发生的干旱与洪涝次数大致相当。而 20世纪的旱涝事件发生的规律则明显不同, 其间干旱事件的发生次数明显多于洪涝事件的发生次数, 其中干旱事件的次数为洪涝事件的 1.6倍, 仅 20世纪 90年代的 1994、1995和 1997年就发生了 3次较为严重的干旱事件。这种现象较好地体现了对全球变暖的响应。气象记录表明[18], 20世纪关中地区的气温上升是很明显的, 与中国平均气温变化趋势也具有同步性。有研究指出, 随着地面温度的增高, 进而导致地表蒸发加剧, 干旱将更易发生[19]。因此, 近 500 a来该地区初夏干旱事件的比例高于洪涝事件这一现象, 与 20世纪全球气候异常密切相关。

2.3　结果比较

我国干旱半干旱地区的旱灾记载较多, 新疆地区有丰富的树轮资料。通过与历史时期干旱研究结果进行对比 (表 4)可见, 尽管采用的代用资料不同, 空间范围存在一定差别, 本文检测出的关中地区连续干旱期和极端干旱年与北疆、华北区、西北东部及河套区的旱灾高频期在 16世纪末和 17世纪末不一致外, 在其余时段较为一致。由于树轮序列是连续的, 500 a的资料可以用同一个标准研究旱涝变化且树轮资料高精度的定年和大复本量的应用可以推论, 本文的研究结果可靠。此外, 徐国昌[20]认为历史上特大旱灾往往都是涉及西北东部和华北大范围的严重灾害。董安祥等[22]认为西北地区特大旱灾经常从宁南和陇中开始, 然后扩展到整个西北, 例如在 1994—1995年陕、甘、宁南发生了大面积干旱, 就是从宁南开始, 之后甘肃和陕西开始少雨; 1929年旱灾是一次以黄河流域为中心的大范围。长期的特

表 4　不同地区干旱期的比较

Table 4　Comparisons of drought periods between different areas

出处	类型	资料种类	空间范围	发生时段
文献 [20]	旱灾高频期	历史文献	华北区	1480—1520, 1580—1640, 1690—1740, 1800—1870, 1900—1940
文献 [20]	旱灾高频期	历史文献	西北东部和河套区	1480—1530, 1580—1630, 1710—1750, 1830—1870, 1900—1920
文献 [21]	干旱期	树轮资料	北疆地区	1471—1543, 1660—1720, 1806—1865, 1920—1978
本文	连续干旱期	树轮资料	关中地区	1502—1511, 1514—1511, 1531—1532, 1570—1580, 1807—1810, 1812—1813, 1907—1908, 1926—1929
本文	极端干旱年	树轮资料	关中地区	1506, 1531, 1532, 1573, 1574, 1657, 1809, 1847, 1862, 1867, 1891, 1900, 1945, 1960

大旱灾, 灾区主要是陕甘宁青内蒙古等 7个省(区), 受灾最重的在陇中、宁南、陇东、陕北和关中。可见, 本文检测出的干旱发生时期并非关中地区局地现象, 往往是涉及面广的干旱事件, 旱灾的大范围发生加重了旱灾的影响程度。

3 结论

(1)陕西关中及周边地区近 50 a来的干燥指数与国家级气候业务中常用的 Palmer指数在变化上存在着较好的对应关系。利用树轮年表重建了该地区初夏 Palmer指数变化, 其结果与干燥指数的重建结果几乎完全一致。因此, 干燥指数在很大程度上可以反映该地区的旱涝变化。

(2)该地区近 500 a来初夏共发生 18次极端干旱事件和 11次极端洪涝事件, 除公元 1521年的极端事件与历史文献记录性质相反, 公元 1513、1574、1675和 1945年无记录外, 其余年份均能在历史文献和器测资料中找到相应的证据。

(3)近 500 a来初夏该地区存在 9个显著的连续偏旱期和 10个显著的连续偏涝期, 且以 16和 19世纪的连续旱涝事件最为频繁。

(4) 16和 19世纪旱涝事件的发生次数约相当于 17和 18世纪旱涝事件的 1.7倍, 但总体上 16—19世纪间各个世纪中旱涝事件发生的次数大致相当, 而 20世纪发生干旱事件的次数远多于洪涝事件, 约相当于洪涝事件的 1.6倍。

致谢: 中国气象局国家气候中心邹旭恺硕士为本文提供了有关区域的 Palmer指数数据资料, 特此表示衷心的感谢。

参考文献:

[1] 栗珂, 高炬, 赵东, 等. 中国西北大旱年发生概率的统计推断[J]. 高原气象, 2001, 20(1): 66-70.

[2] 陈洪滨, 刁丽君. 2003年的极端天气与气候事件及其他相关事件[J]. 气候与环境研究, 2004, 9(1): 218-223.

[3] 王咏青, 贾效忠, 谢金南, 等. 偶极子型热源的变化对西北干旱流型的作用[J]. 南京气象学院学报, 2001, 21(1): 44-50.

[4] 张玉娟, 谢金南, 罗哲贤. 我国西北地区东部可降水量变化趋势的初步研究[J]. 南京气象学院学报, 2005, 28(2): 254-259.

[5] 王川, 杜继稳, 杜川利, 等. 陕西及我国东部区域气候变化研究[J]. 气象, 2005, 31(4): 22-26.

[6] 李兆元, 吴素良, 杨文锋, 等. 西安地区旱涝的长期变化[J]. 气候与环境研究, 1997, 2(4): 356-360.

[7] 李兆元, 杨文锋, 郭剑侠. 西北地区近 210年旱涝特征分析[M]//中国西北干旱气候研究. 北京: 气象出版社, 1997: 37-41.

[8] Gambetti D, LoVecchio G, Nanni T, et al. Climate and site dependence of the annual growth silver fir (Abies alba Miller) in the northwest Apennines, Italy[J]. Geophysics and Space Physics, 2000, 23(C2): 111-131.

[9] Gervais B R, MacDonald G M. A 403-year record of July temperatures and tree line dynamics of Pinus sylvestris from the Kola Peninsula, Northwest Russia[J]. Arctic Antarctic and Alpine Research, 2000, 32(3): 295-302.

[10] 吕军, 屠其璞, 钱君龙. 天目山柳杉树轮 $\delta^{13}C$ 对华东地区降水序列的重建[J]. 南京气象学院学报, 2001, 24(3): 350-355.

[11] 陈宝君, 钱君龙, 濮培民, 等. 树轮 $\delta^{13}C$ 的角分布及其在气候重建中的应用[J]. 南京气象学院学报, 2002, 25(4): 463-471.

[12] 刘洪滨, 邵雪梅, 黄磊. 中国陕西关中及周边地区近 500年来初夏干燥指数序列的重建[J]. 第四纪研究, 2002, 22(3): 220-229.

[13] 邹旭凯. 中国干旱气候变化及其对沙尘暴的影响研究[D]. 北京: 北京大学物理学院, 2005.

[14] 魏凤英, 曹鸿兴. 我国月降水和气温网格点资料的处理和分析[J]. 气象, 1994, 20(10): 26-30.

[15] 魏凤英. 现代气候统计诊断预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 1999: 38-39.

[16] 张德二. 中国三千年气象记录总集[M]. 南京: 凤凰出版社, 2004.

[17] 宋燕, 季劲钧, 王月宾, 等. 小冰期气候研究回顾和机理探寻[J]. 气象, 2003, 29(7): 3.

[18] 李平华, 胡小晖, 程燕. 陕西关中地区水文气候状况对全球变暖的响应问题探讨[J]. 灾害学, 2002, 17(2): 37-41.

[19] Frich P, Alexander L V, Della-Marta P, et al. Observed coherent changes in climate extremes during the second half of the 20th century[J]. Clim Res, 2002, 19: 193-212.

[20] 徐国昌. 中国干旱半干旱区气候变化[M]. 北京: 气象出版社, 1997.

[21] 袁玉江, 韩淑提. 北疆 500年干湿变化特征[J]. 冰川冻土, 1991, 13(4): 315-322.

[22] 董安祥, 郝惠铃, 向军. 西北地区历史上几次严重的干旱灾害及分析[M]//中国西北干旱气候变化与预测研究(第 1卷). 北京: 气象出版社, 2000: 93-96.