

天津市及其周围地区近 500 a 旱涝变化分析

苏同卫¹, 李可军¹, 李启秀^{1,2}, 穆军^{1,2}, 高朋鑫^{1,2}

(1. 中国科学院国家天文台/云南天文台, 云南 昆明 650011; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要:为揭示天津市及其周围地区($\pm 3^\circ$)旱涝变化的时间演变特征和变化趋势,采用相关分析、累积距平、滑动 t 检验、小波分析等统计分析方法,对该地区 5 个站 1470~2000 年的旱涝资料进行了分析。结果表明,该地区旱涝变化基本一致,旱年、涝年呈正态分布;在这段时期里,有 4 个比较显著的干旱、洪涝阶段;旱涝变化有大约 10, 20 和 36 a 的周期性,和太阳活动周期密切相关。

关键词:天津;旱涝变化;累积距平;小波分析

中图分类号:P461

文献标识码:A

气候变化是全球变化研究中的核心内容,它对国民经济和社会发展有很大的影响。旱涝灾害的频繁发生,严重地威胁着人类的生存和发展。由于中国地域广阔,地形复杂,各地区气候和天气受地理位置和地貌特征的影响较大,有很大差别,因此有必要对中国气候演变特征进行分区研究。杨成芳和周后福等人分别对山东省和安徽省近 500 a 的旱涝演变特征进行了分析^[1-2]。山东省的干旱和洪涝变化呈阶段性分布,具有多时间尺度周期特征。安徽省具有涝明显多于旱的非正态分布特征。本文对天津市及其周围地区($\pm 3^\circ$)进行研究(图 1),该地区地貌特征较为一致,除了唐山地区有些丘陵之外,其它地区基本上都是平原,是中国重要的农业区,人口密集,工业发达,旱涝灾害成为制约经济发展的主要因素之一。本文利用较长历史资料对该区旱涝变化规律进行研究,以期对该区防灾减灾提供有意义的参考。

1 资料与方法

1.1 资料

选用 1470~2000 年天津、唐山、北京、保定和沧州 5 个站的旱涝变化资料,旱涝资料数字化,定为大涝(1)、偏涝(2)、正常(3)、偏旱(4)及早(5)5 个级



图 1 天津及其周围地区 5 个站点的分布

Fig. 1 The distribution of 5 stations in Tianjin and its surrounding region

别,其中 1470~1979 年的资料取自文献[3],1980~2000 年的旱涝等级资料取自文献[4-5],2 种资料的旱涝分级方法相同。

1.2 分析方法

相关系数是客观的度量 2 个变量之间相关联程度的指标,它的取值介于 -1 与 1 之间,如果为 +1 则指完全正相关,即 2 个变量变化完全一致。

累积距平是由曲线直观判断时间序列变化趋势的方法。滑动 t 检验法是考察 2 组样本平均值的差

异是否显著来检验跃变的。取前后相邻 2 阶段 x 、 y 的样本数分别为 n_1 和 n_2 , 这 2 组样本的平均值分别为 \bar{x} 和 \bar{y} , 则统计量

$$t = \frac{\bar{x} - \bar{y}}{\sqrt{\frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}}$$

其中, s_1^2 和 s_2^2 分别表示相邻 2 阶段 x 、 y 的方差。取 $\alpha = 0.01$, 当 $|t| > t_\alpha$ 时, 认为这 2 相邻阶段差异是显著的, 2 阶段之间的转折点就是变化的突变点。

小波分析是分析时间序列的功率谱局部变化的

一种现代分析方法, 不仅可以给出气候序列变化的尺度, 还可以显示出变化的时间位置, 即能反映某一时间序列的局部时频特征。这里, 采用 Morlet 小波^[6]对该地区的旱涝指数进行分析来研究其气候演变特征。

2 分析结果

2.1 旱涝的气候特征

该区 1470 ~ 2000 年 5 个代表站的旱涝年数及其频率见表 1。531 a 间该区各站的旱涝状况基本相同, 都是正常年份频率最高, 在 32% 以上, 平均

表 1 5 个代表站的旱涝年数及其频率(单位:a;%)

Tab. 1 The years and frequency of flood/drought of 5 stations(Unit:a;%)

	涝	偏涝	正常	偏旱	旱
天津	45 (8.5%)	140 (26.4%)	205 (38.6%)	110 (20.7%)	31 (5.8%)
唐山	49 (9.2%)	131 (24.7%)	195 (36.7%)	123 (23.2%)	33 (6.2%)
北京	47 (8.9%)	108 (20.3%)	184 (34.7%)	144 (27.1%)	48 (9.0%)
保定	52 (9.8%)	106 (20.0%)	213 (40.1%)	127 (23.9%)	35 (6.6%)
沧州	52 (9.8%)	146 (27.5%)	170 (32.0%)	120 (22.6%)	42 (7.9%)
平均	49 (9.2%)	126 (23.7%)	193 (36.3%)	125 (23.5%)	38 (7.2%)

36%; 各站旱年和涝年的频数都是最低, 均不到 10%; 但各站之间也存在微小差别, 北京、保定 2 站的偏涝年少于偏旱年, 而另外 3 个站则相反, 这可能是由于北京和保定 2 站离海洋较远的缘故。该区涝年比旱年多, 频率为 7% ~ 10%, 说明发生重大旱涝灾害的频率还是相当高的, 从历史上看, 也的确如此。总体上说, 该地区旱涝年份呈正态分布(图 2)。

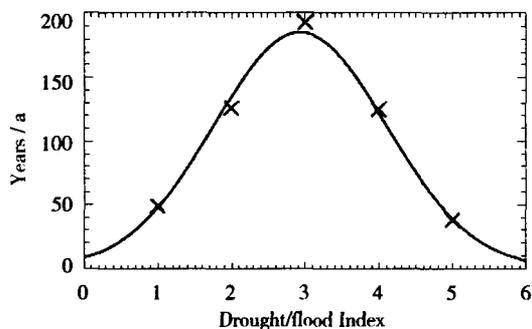


图 2 平均旱涝年数与其正态分布拟合曲线

Fig. 2 The average years of flood/drought and its normal distribution fitting curve

为了检测该区 5 个代表站旱涝变化规律是否一致, 本文对各站资料两两进行相关分析, 计算结果见表 2。北京和沧州 2 站的数据相关性最差(0.3814), 但仍然在 99.9% 的水平上相关, 表明该地区气候的时间演变在相位上是一致的。

表 2 5 个代表站间的相关系数

Tab. 2 Correlation coefficients between two of 5 stations

	相关系数	相关系数	
天津 - 唐山	0.5392	唐山 - 保定	0.4078
天津 - 北京	0.5026	唐山 - 沧州	0.3814
天津 - 保定	0.5338	北京 - 保定	0.5620
天津 - 沧州	0.5329	北京 - 沧州	0.3936
唐山 - 北京	0.4784	保定 - 沧州	0.5544

2.2 旱涝突变点的检测及阶段性划分

为了寻找旱涝突变年, 明确各旱涝阶段发生的年代, 本文对该地区的平均旱涝指数序列进行了累积距平计算(图 3)。累积距平曲线呈上升表示距平值增加, 干旱发生或继续; 呈下降趋势表示距平值减小, 洪涝发生或继续; 拐点表示旱涝的转折或突变。

可以看出,在这 500 多 a 间,该区旱涝气候发生了多次转折和突变,旱涝阶段交替出现。

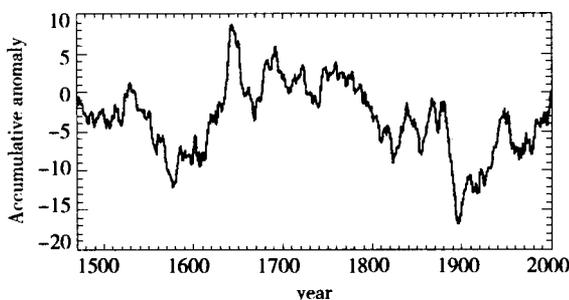


图3 平均旱涝指数累积距平曲线

Fig. 3 The accumulative anomaly of average flood/drought index

为了进一步明确各旱涝阶段的发生年代,采用滑动 t 检验方法进行显著性检验,对累积距平图中出现的转折点或突变点之间的相邻阶段进行 t 检验(图 4)。研究表明当前后 2 相邻阶段的样本数分别

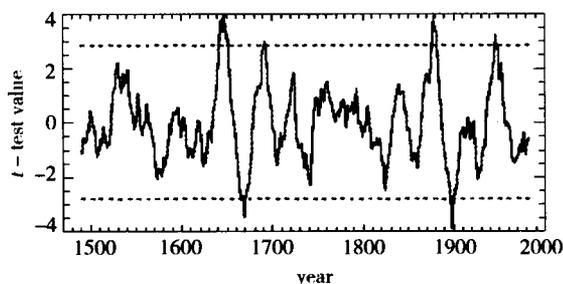


图4 平均旱涝指数的滑动 t 检验曲线和 99% 的置信水平线

Fig. 4 Moving t -test curve of average flood/drought index and its 99% confidence level

为 21 和 19 时,2 阶段的差异最为显著,经过查表得知 $t_{\alpha=0.01} = \pm 2.845$,即通过置信水平 99% 时的 t 值绝对值要 > 2.845 。从图中可以看出, t 统计值有 6 个过程超过 0.01 的显著水平,因此有 6 个转折年份,分别为 1647 年、1669 年、1692 年、1878 年、1898 年和 1947 年。由此可将该地区近 531 a 的旱涝指数进行阶段性划分:1647 ~ 1669、1878 ~ 1898 为显著洪涝阶段;1669 ~ 1692、1898 ~ 1947 为显著干旱阶段;其他时段也是旱涝交替,特别是 1692 ~ 1878 年之间,但旱涝变化并不显著。本文的干旱阶段与李维京等人关于中国北方干旱的气候特征研究结论基本一致^[7],他们发现的多年连旱阶段就有 1689 ~ 1692 年、1928 ~ 1930 年,还发现黄河流域 2 次 11 a

干旱期,其中一次就在 1922 ~ 1932 年,但他们研究的是中国整个北方地区的干旱情况,区域更广,而且时标更长,因此存在一些差异是正常的。

2.3 旱涝变化的周期性分析

从旱涝指数的阶段性划分不容易看出旱涝指数时间序列的周期规律,但通过小波分析方法可以清楚地看到旱涝变化的周期特征。该地区的平均旱涝指数序列的局部功率谱如图 5 所示,功率被归一化到方差上。图中网格状区域受边缘效应影响较大,结果不可靠。从图中可以看出,短周期(2 ~ 8 a)振荡比较微弱,主要出现在 17 世纪初和 20 世纪中后期,而较长周期(16 ~ 50 a)比较显著,在整个 17 世纪、19 世纪中期到 20 世纪中期都很强,另外还显示出 10 a 左右的周期,但分布时段较短。

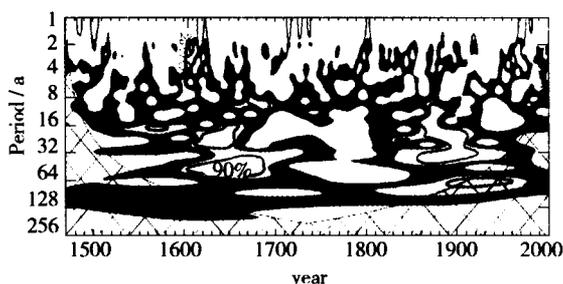


图5 平均旱涝等级序列的局部功率谱
Fig. 5 The local power spectrum of average flood/drought index

图 6 为平均旱涝指数序列的总功率谱,从总功率谱图中能更清楚地看出更显著的周期。显著的周期有 3 个,分别为 10.1、19.8 和 35.7 a 周期,这 3 个周期的置信水平都高于 95%,其中 35.7 a 周期最为

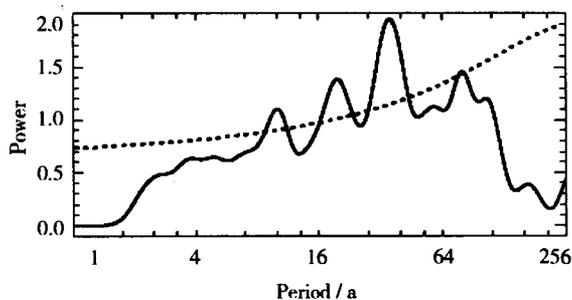


图6 平均旱涝指数序列的总功率谱(实线)和 95% 的置信水平谱(点线)
Fig. 6 The global wavelet power spectrum of the average flood/drought index (solid line), and its 95% confidence level (dotted line)

显著。达到 95% 置信水平的还有 80 a 左右的周期,但从局部功率谱图中可以看出,它受边缘效应影响比较明显,可能是一假周期。该地区气候变化周期与太阳辐射 11 a 的 Schwabe 周期、22 a 的 Hale 周期和 35 a 的布鲁克纳周期相近,这说明了太阳活动和气候变化的密切关系。对于一个特定区域,地理环境因素变化不大,旱涝异常的出现主要决定于太阳活动和大气环流的变化,而已有的研究证实,北半球大气环流的多年振动又和太阳活动密切相关^[8]。因此在太阳活动发生异常变化的时期,对洪涝灾害的出现应该保持高度警惕。

3 小 结

(1) 该地区气候变化基本一致,旱涝年份呈正态分布,发生重大旱涝灾害的频率较高;

(2) 干旱和洪涝阶段交替出现,在 1470 ~ 2000 年间,显著的旱涝转折点有 6 个,分别为 1647 年、1669 年、1692 年、1878 年、1898 年和 1947 年;

(3) 在 1470 ~ 2000 年间,显著的洪涝阶段有 1647 ~ 1669、1878 ~ 1898 年,显著的干旱阶段有 1669 ~ 1692、1898 ~ 1947 年;

(4) 小波分析表明,该地区旱涝变化呈现周期性变化,主要周期有 10.1、19.8 和 35.7 a,其中 35.7

a 周期最为显著,这 3 个周期置信水平都在 95% 以上,它们与太阳活动周期有很好的 consistency,表明太阳活动是气候变化的重要驱动源。

致谢: 本文的完成,得到云南大学资源环境与地球科学学院严华生教授的热情帮助,在此表示感谢。

参考文献:

- [1] 杨成芳,薛德强,孙即霖. 山东省近 531 年旱涝变化气候诊断分析[J]. 山东气象,2003,23(4):5-9.
- [2] 周后福. 安徽省近 554 年旱涝演化规律和跃变现象[J]. 气象,2004,30(7):18-22.
- [3] 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,1983,311.
- [4] 张先恭,魏凤英. 1980-1991 年旱涝分布图[J]. 气象,1993,19(4):33-38.
- [5] 魏凤英,张先恭. 1991-2000 年中国旱涝等级资料[J]. 气象,2001,27(3):46-50.
- [6] Torrence C, Compo G P. A practical guide to wavelet analysis [J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 1998(79):61-78.
- [7] 李维京,赵振国,李想,等. 中国北方干旱的气候特征及其成因的初步研究[J]. 干旱气象,2003,21(4):1-5.
- [8] 王涌泉. 中国近五百年大水的初步研究及 1980-1982 年的预报与验证[M]. 郑州:黄河水利委员会水利科学研究所,1982.

Analysis on Flood/Drought Variance in Tianjin City and Its Surrounding Region for Recent 500 Years

SU Tongwei¹, LI Kejun¹, LI Qixiu^{1,2}, MU Jun^{1,2}, GAO Pengxin^{1,2}

- (1. National Astronomical Observatories/Yunnan Astronomical Observatory, CAS, Kunming 650011, China;
2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: To reveal the temporal variation characteristics of drought/flood in Tianjin city and its surrounding region ($\pm 3^\circ$), the drought or flood data of 5 stations there from 1470 to 2000 were analyzed by using statistical analysis methods, such as correlation analysis, accumulative anomaly, moving t -test, wavelet method and so on. The results show that the flood or drought variance was almost the same; the years occurring flood or drought presented normal distribution; there were four evident flood/drought periods during 1470-2000; the periodicity of flood/drought variance was about 10, 20 and 36 years.

Key words: Tianjin; flood/drought variance; accumulative anomaly; wavelet analysis