

山东省近 40 年气候变化特征

廉丽姝^{1,2} 李为华³ 朱平盛⁴

(1 华东师范大学地理信息科学教育部重点实验室, 上海 200062; 2 山东曲阜师范大学资源与规划学院, 曲阜 273165;
3 华东师范大学河口与海岸国家重点实验室, 上海 200062; 4 山东省气象科学研究所, 济南 250031)

摘要 根据山东省 60 个气象站 1961~2001 年的气温与降水资料, 利用回归分析、功率谱分析等方法, 研究了山东省近 41 年气温与降水的年、季变化倾向、阶段性和周期性等变化特征。结果表明: ①近 41 年山东省年平均气温有显著的上升趋势, 各季平均气温虽也均呈上升趋势, 但增温趋势表现出明显的季节非对称性, 其中以冬季气温增幅最大。②年降水量呈下降趋势, 年降水量减幅为每 10 年 31.7 mm; 不同季节降水的变化趋势有所不同, 其中夏季降水减幅最大, 而冬季降水略有增加。③山东省年平均气温的演变表现出明显的阶段性和周期性的基本特点, 而降水的阶段性和周期性特征则不如气温显著。

关键词 山东省 气候变化 气温 降水

引言

IPCC 第 3 次评估报告指出^[1]: 自 1861 年以来, 全球近地面气温一直呈上升趋势, 20 世纪全球增温 0.6 ± 0.2 °C, 且以 20 世纪 90 年代增温最为明显。最近 20 多年北半球陆地气温增幅达每 10 年 0.25 °C^[2]。就降水而言, 20 世纪北半球中高纬地区降水每 10 年增加 $0.5\% \sim 1\%$ ^[1]。王绍武认为^[3], 20 世纪以来中国气温变化趋势与全球及北半球变化趋势一致, 升温率为每 100 年 0.44 °C, 而且近 20~30 年, 中国气温上升趋势与东亚地区一致, 气温回升显著; 近 40 年中国降水无明显的变化趋势, 但西部地区降水呈增加趋势, 东部及华北等地区则呈减少趋势。陈文海等对中国 1951~1997 年气候变化趋势的研究指出, 中国气温变化趋势的季节差异显著, 存在明显的非对称性^[4]。丁一汇亦指出, 华北地区气候正朝暖干趋势发展^[5]。

目前, 对全球及北半球范围的气候变化研究较多, 但是对区域气候变化的研究还不够全面和系统。近百年来山东省气候变化与全国气候变化趋势大体一致, 但又表现出明显的地域特色^[6~9]。为进一步

揭示山东省气候变化的特征与规律, 本文利用山东省近 41 年的年、季、月降水量和气温资料对山东省气候变化特征进行了较全面的研究。

1 资料与方法

选取山东省分布大体均匀的 60 个气象站(图 1) 1961~2001 年的气温和降水资料, 计算出春(3~5 月)、夏(6~8 月)、秋(9~11 月)和冬(12 月至次年 2 月)的季、年平均气温和年降水总量。将各站点气温、降水量资料等权平均求得全省平均气温、降水量

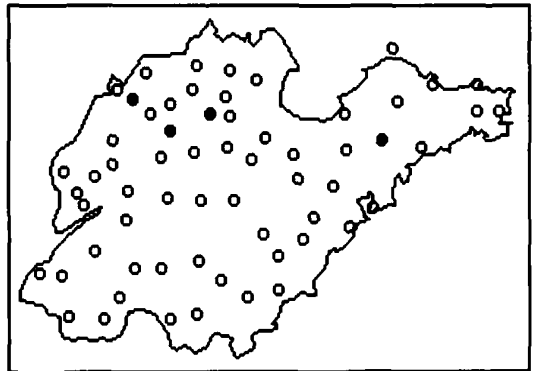


图 1 山东省样本测站分布

(○表示资料年限 1961~2001 年的站, ●表示短缺 2~4 年的站)

山东省曲阜师范大学青年科研基金资助

作者简介: 廉丽姝, 女, 1963 年生, 在读博士, 副教授, 主要从事自然地理教学与研究, E-mail: llsh8210@eyou.com

收稿日期: 2004 年 7 月 19 日; 定稿日期: 2004 年 9 月 1 日

的时间序列。运用现代气候学统计分析方法对山东省气温、降水量时间序列进行分析,以揭示山东省近41年气候变化特征与规律。

2 气候变化趋势分析

2.1 气温变化趋势

从山东省近41年来年、各季平均气温的时间变化曲线(图2,春、秋季图略)可见,1961年以来山东省气温变化总体呈上升趋势,但不同季节气温的变化趋势有所不同。为定量地分析气温时间序列的变化趋势,建立了年及各季平均气温的自回归模型:

$$T(t) = a + bt \quad (1)$$

其中, t 为时间(单位:a), 则 $10b$ 表征了每10 a气温随时间变化的倾向率。由式(1)计算年及各季平均气温变化倾向率(表1)。结果表明,山东省近41年来年及各季的平均气温均呈上升趋势,其中年平均气温倾向率为每10 a上升0.24 °C,各季气温变化趋势表现出明显的非对称性:冬季气温升高最为明显,倾向率为每10 a上升0.50 °C,约为年平均气温上升速度的2.1倍,夏季气温上升最不明显,平均上升速度

仅为年平均气温上升速度的16.7%。这与陈文海等^[4]对中国气候变化趋势的季节特征的研究结果基本一致。

表1 山东省各季平均气温、降水量变化倾向率

项目	春季	夏季	秋季	冬季	全年
气温/°C(每10 a)	0.24**	0.04	0.18**	0.50***	0.24**
降水/mm(每10 a)	-1.03	-8.34*	-3.91*	0.58	-3.17*

注:*通过 $\alpha=0.1$ 信度检验,**通过 $\alpha=0.05$ 信度检验,***通过 $\alpha=0.01$ 信度检验。

2.2 降水变化趋势

图3为山东省近41年降水量的时间变化曲线。近41年山东省年平均降水量呈下降态势,但各季平均降水量的时间变化趋势有所不同。同样对山东省41年来年及各季节平均降水量时间序列进行线性自回归分析,结果见表1。其中年平均降水量的自回归方程为:

$$R(t) = 626.3 - 3.17t \quad (2)$$

该式通过 $\alpha=0.05$ 信度检验。可见,山东省年平均降水量总体上呈显著的下降趋势,倾向率为每10 a减少31.7 mm。春、夏、秋三季平均降水量呈下降趋势,其中下降最为显著的是夏季,倾向率为每10 a减少83.4 mm,约为年平均降水量减幅的2.6倍,其次是秋季,而冬季平均降水量总体变化趋势不但没

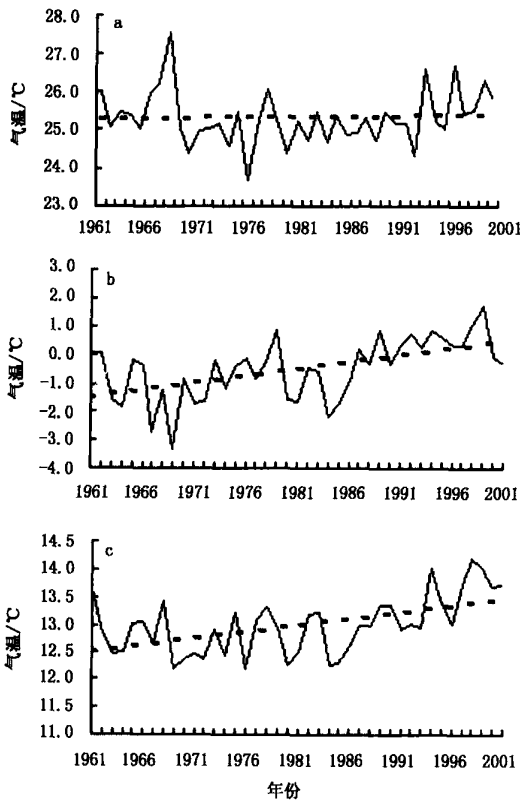


图2 山东省夏季(a)、冬季(b)和年(c)平均气温的年度变化(虚线为回归直线)

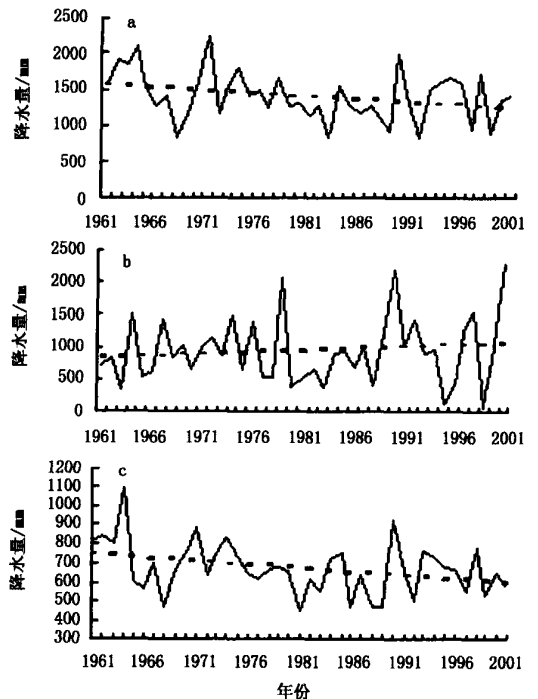


图3 山东省夏季(a)、冬季(b)和年(c)平均降水量的年度变化(说明同图2)

有下降,反而略呈上升趋势,降水倾向率为每 10 a 增加 5.8 mm。这说明,近 41 年山东省年平均降水量的减少是由于春、夏和秋季,特别夏季降水的显著减少所致。这种季降水量变化趋势与王绍武等^[3]分析的华北地区降水量变化特征相吻合,与全国平均季降水的变化趋势^[4]也基本一致。

由于山东省属东亚暖温带季风气候,降水主要集中在夏季,而近 41 年山东省冬季降水变化对全年降水变化的平均贡献率(\bar{C}_{wi})仅为 7.9%, \bar{C}_{wi} 采用公式(3)计算:

$$\bar{C}_{wi} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{|D_{wi}(t)|}{|D_{sp}(t)| + |D_{su}(t)| + |D_{au}(t)| + |D_{wi}(t)|} \right| \times 100\% \quad (3)$$

式中 $D_{sp}(t)$ 、 $D_{su}(t)$ 、 $D_{au}(t)$ 、 $D_{wi}(t)$ 分别为春、夏、秋、冬季降水距平函数, n 为数据序列年尺度长度。虽然冬季平均降水量呈现出缓慢的上升趋势,但由于春、夏、秋季降水均呈下降趋势,特别是夏季降水量的显著减少,使得山东省近 41 年的年平均降水量总体上仍呈下降趋势。

3 阶段性分析

虽然从总体上看,近 41 年山东省气温呈上升趋势,降水呈逐年减少趋势,但在气候的长期变化过程中存在着冷暖交替、干湿相间的阶段性。本文通过计算气温、降水量的历年累积距平和高阶多项式拟合的方法,对山东省年平均气温和年降水量的时间变化的阶段性进行了定量分析。

3.1 气温变化的气候阶段

由山东省历年气温累积距平变化(图 4a)可以看出,近 41 年的一个基本特征是,前期偏冷,后期偏暖,即 1961~1986 年为偏冷期,1987 年之后为偏暖期。

采用求解函数驻点的方法确定气温的气候突变点,即:

$$\frac{dT(t)}{dt} = 0 \quad (4)$$

$T(t)$ 为年平均气温的高阶多项式拟和方程。经多次拟合试验,确定 $T(t)$ 为 5 阶多项式:

$$T(t) = 0.0000007t^5 + 0.00007t^4 - 0.0028t^3 + 0.0488t^2 - 0.3709t + 13.642 \quad (5)$$

式(5)通过 $\alpha = 0.01$ 信度检验,能较好地拟合山东省历年平均气温。根据式(4),求得气温时间序列的突变点分别为 1967、1977 及 1981 年,结合山东

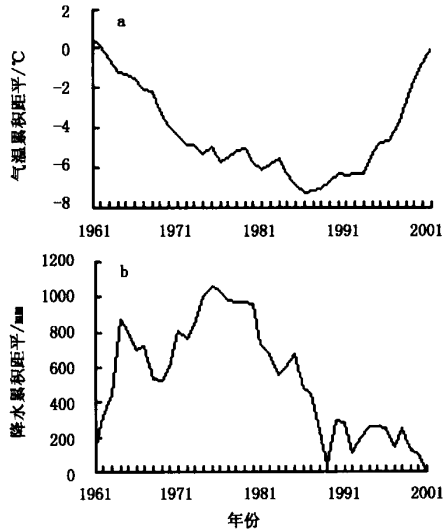


图 4 1961~2001 年山东省年平均气温(a)与年降水量(b)累积距平曲线

省气温增减趋势(图 5a)可得,近 41 年来山东省气温于偏冷期内呈现出 3 个阶段性波动趋势。即 1961~1967 年,气温持续偏低,1968~1977 年,呈微弱回升趋势,但回升幅度较小,总体上该阶段仍处于偏冷期,1978~1981 年则又呈现出微弱变冷趋势,1982 年以后山东省年平均气温开始呈现出较大幅度的变暖趋势,进而开始转入偏暖期。

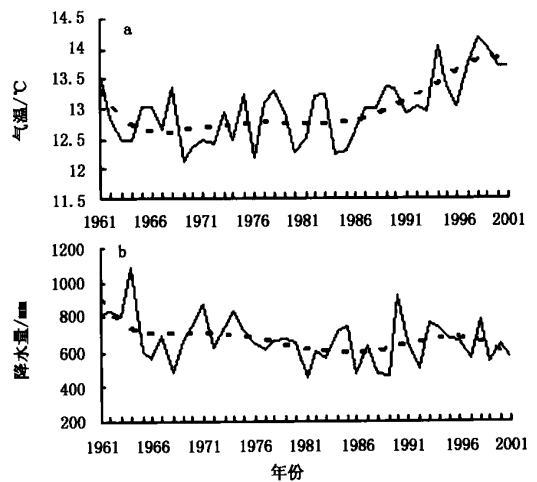


图 5 山东省气温(a)与降水(b)的增减趋势(虚线为多项式拟合曲线)

可见,山东省气温变化的气候阶段基本与全国气温变化的气候阶段相一致^[2]。

3.2 降水变化的气候阶段

利用上述方法分析 1961 ~ 2001 年山东省年降水量变化的气候阶段特征。结果表明,山东省降水呈现出丰水期与缺水期交替相对较为频繁的特点。从累积距平曲线(图 4b)看,近 41 年来 1961 ~ 1964、1970 ~ 1975 和 1986 ~ 1995 年为丰水期,1965 ~ 1969、1976 ~ 1985 以及 1995 年以后为缺水期。

采用高阶多项式对全省年降水量距平序列进行拟合,得 6 阶多项式($\alpha = 0.01$):

$$R(t) = 0.000005 t^6 - 0.0008 t^5 + 0.0502 t^4 - 1.4618 t^3 + 20.475 t^2 - 133 t + 1024.5 \quad (6)$$

根据式(4),求得年降水量时间序列的突变点分别为 1967、1971、1985 和 1995 年。结合山东省降水增减趋势变化(图 5b)可以看出山东省近 41 年来年降水量增减趋势持续时期基本与丰水期、缺水期相对应,且自 1995 年以后,降水量减少趋势尤为显著,其降水倾向率每 10 a 减少 126.82 mm,约为 41 年来年降水量减幅的 3.3 倍。

4 周期性分析

4.1 气温变化的周期

通过对年平均气温距平序列进行连续功率谱分析^[9],揭示山东省气温变化的主要周期。平滑谱估计公式为:

$$S_k = \frac{B_k}{m} \left| r(0) + \sum_{\tau=1}^{m-1} r(\tau) \left(1 + \cos \frac{\pi \tau}{m} \right) \cos \frac{\pi \tau k}{m} \right|$$

$$B_k = \begin{cases} 1 & (k \neq 0, m) \\ \frac{1}{2} & (k = 0, m) \end{cases} \quad (7)$$

式中, $r(\tau)$ 为自相关函数^[10], m 为最大后延相关长度,取 $m = 5$ 。利用 Matlab 计算得到气温变化的功率谱(图 6a)。可见,山东省年平均气温存在显著的 10 年变化周期($\alpha = 0.1$)。

4.2 降水变化的周期

对 1961 ~ 2001 年山东省历年降水量距平序列进行连续功率谱分析,得降水功率谱(图 6b)。结果表明:近 41 年来山东省年降水量虽然存在一些类周期性波动,但不存在较为显著的变化周期。

5 结论

(1) 1961 ~ 2001 年,山东省年平均气温呈明显的

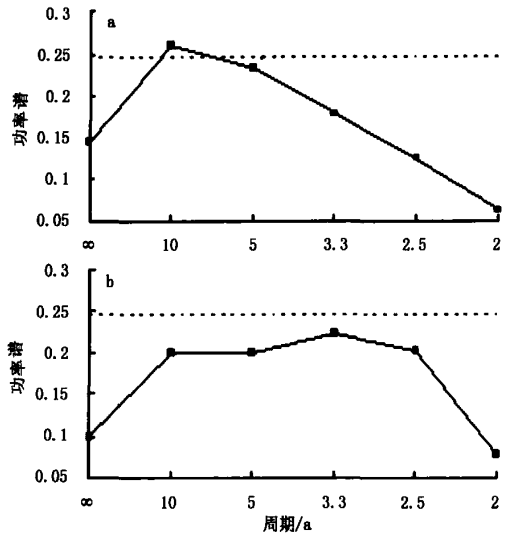


图 6 山东省气温(a)与降水(b)的功率谱 (虚线为标准谱值)

上升趋势,倾向率为每 10 a 上升 0.24 °C,而降水量则相反,呈明显的下降趋势,年降水量每 10 a 减少 31.7 mm;

(2) 近 41 年来,山东省各季平均气温、降水的变化趋势存在着明显的非对称性。就气温而言,冬季增温趋势最为显著,夏季气温增幅最小;就降水而言,夏季降水量下降趋势最为明显,而冬季降水反而略呈上升趋势。因此,近 41 年山东省平均气温的升高主要是冬季增温造成的,而降水量的总体下降态势则主要源于夏季降水的减少。

(3) 山东省年平均气温与年降水量的时间演变表现出阶段性和周期性的基本特点。近 41 年的气温变化可分为两个阶段:1961 ~ 1986 年为偏冷期,1987 年以后为偏暖期,其间气温增减趋势的突变点分别为 1967、1977 及 1981 年;其变化周期为 10 年;降水量变化的丰水期与缺水期交替相对较为频繁,且增减趋势持续时间基本与丰水期、缺水期相对应,但山东省近 41 年降水变化趋势无论是其阶段性还是周期性均不如年平均气温序列表现得明显。

(4) 总体上看,20 世纪 80 年代至今,山东省气候变化趋势与华北地区一致,正朝着暖干方向发展,与全球气候变化趋势也具有许多共同的规律和特征。

参考文献

- [1] Watson R T. Climate Change (2001)[R]. IPCC Third Assessment Report. Geneva: IPCC, 2001. 184.
- [2] 王绍武. 现代气候学研究进展[M]. 北京:气象出版社, 2001. 82 - 85, 152 - 157.
- [3] 王绍武, 蔡静宁, 朱锦红. 中国气候变化的研究[J]. 气候与环境研究, 2002, 7(2): 137 - 145.
- [4] 陈文海, 柳艳香, 马柱国. 中国 1951 ~ 1997 年气候变化趋势的季节特征[J]. 高原气象, 2002, 21(3): 251 - 257.
- [5] 丁一汇. 气候变化的事实和认识[J]. 气象知识, 2003, (1): 8 - 12.
- [6] 郭可彩, 贾瑞丽. 95 年来青岛气候变化分析[G]// 丁一汇. 中国的气候变化与气候影响研究. 北京:气象出版社, 1997. 314 - 317.
- [7] 张国胜, 于凤英. 鲁西北近 50 年气候变化趋势分析[J]. 山东气象, 2002, 22(3): 22 - 23.
- [8] 薛德强, 王树林, 冯小云. 济南、青岛气温变化的昼夜差异特征[J]. 山东气象, 1998, 18(2): 26 - 29.
- [9] 廉丽姝, 侯玮青. 曲阜市 1965 年以来气温变化分析[J]. 曲阜师范大学学报(自然科学版), 2001, 27(1): 88 - 91.
- [10] 黄嘉佑. 气象统计分析预报方法[M]. 北京:气象出版社, 2000. 225 - 232.

Analysis of Climate Change in Shandong Province Since 1961

Lian Lishu^{1,2} Li Weihua³ Zhu Pingsheng⁴

(1 Key Laboratory of Geographical Information Science, Ministry of Education, East China Normal University, Shanghai 200062; 2 College of Resources and Planning, Qufu Normal University, Qufu 273165; 3 State Key Laboratory of Estuarine and Coastal Research, East China Normal University, Shanghai 200062; 4 Shandong Provincial Institute of Meteorology, Jinan 250031)

Abstract: Based on the temperature and precipitation data from 60 representative meteorological stations in Shandong Province from 1961 to 2001, the climatic change in Shandong Province was studied in detail. The results indicate: ① There was an obvious increasing trend in the annual mean temperature in the recent 41 years; the seasonal increasing rate was the biggest in winter. ② Annual precipitation had a descending trend, especially in summer, but in winter the precipitation assumed faint increasing trend. ③ Both temperature and precipitation exhibited the phasic and periodic nature, and there existed a period of 10 years in temperature change.

Key words: Shandong Province, climate change, temperature, precipitation