

# 40 年来山东半岛滨海与内陆地区气温变化比较分析

宋彦华, 岳喜元, 刘良旭, 黄海涛

(鲁东大学 地理与规划学院, 山东 烟台 264025)

**摘要:** 以1959~2012年的年平均气温为数据源, 用 Mann-Kendall(M-K)秩次相关法对山东半岛滨海(以威海、成山头和海阳气象站平均值为代表) 和内陆(以济南、沂源和兖州气象站平均值为代表) 区的气温变化进行了比较分析。研究结果表明, 1973~2012年以来滨海和内陆区的年平均气温变化总体呈增加的趋势, 但低于同期全球增温幅度。从2个区域的比较来看, 滨海区增温变化高于内陆区 $0.17^{\circ}\text{C}$ 。但是, M-K 趋势检验表明, 滨海区年平均气温波动幅度小于内陆区。不同分析时间序列长短对结果的影响极大, 随分析时间序列(尺度) 增加, 变化趋势( $\beta$ ) 无规律, 但正态分布统计量( $Z_c$ ) 随分析时间序列增加而增加。本文对相同气候类型下滨海和内陆气温变化的差异性进行探讨, 这对于正确认识和评估在全球升温背景下, 滨海和内陆区域的气候变化特点和其对环境和社会经济发展的影响都具有重要的意义。

**关键词:** 气候变化; 累加效应; Mann-Kendall 检验

中图分类号: P476 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2014)06-0065-05

doi: 10.11759/hyxx20130705001

近几十年来, 全球工业化水平提高导致的碳排放量增加和人类活动加剧导致的土壤碳库存减少, 使空气中以  $\text{CO}_2$  为主的温室气体含量急剧增加, 其引发的温室效应使全球气候变暖问题成为当今各国政府、科学界乃至普通民众广泛关注的热点问题<sup>[1-2]</sup>。政府间气候变化专门委员会(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 第四次(2007年) 评估报告指出: 过去 100 a 来全球地表平均温度升高  $0.74^{\circ}\text{C}$ , 特别是近 50 a 变暖幅度为  $0.013^{\circ}\text{C}/\text{a}$ , 几乎是近 100 a 的 2 倍, 达到了过去 1 000 a 以来的最高值<sup>[1]</sup>。Jones 等<sup>[3]</sup>的研究表明, 以 1961~1990 年的平均水平为对照, 近 22 a 来全球气温升高了  $0.79^{\circ}\text{C}$ , 变暖幅度为  $0.036^{\circ}\text{C}/\text{a}$ 。

从已有的研究来看, 气温变化研究特点主要有 2 点: 第一, 研究尺度强调大尺度和区域性。如 Jones 等<sup>[3]</sup>针对全球尺度分析了 1850~2012 年的气温变化趋势, Brohan 等<sup>[4]</sup>对全球和区域的气温变化进行分析, 指出了最近几十年全球气温升温加剧的现象和不确定特征; 在国内的研究中, 章名立等<sup>[5]</sup>对全球变暖背景下东亚地区的气温变化特点进行了分析, 随后也有许多针对湖南、东北和西南等区域的气温变化研究<sup>[6-9]</sup>。这些研究的共同点是强调不同区域的气候变化在时间和空间尺度上都存在很大的差别, 对当地的生态环境、经济和农业等社会经济发展产生不同的影响。第二, 研究方法一致性。多采用 Morlet 小

波分析、线性倾向估计和 Mann-Kendall (M-K)秩次相关法等分析气候要素变化的周期性、突变点和变化趋势<sup>[10-12]</sup>。相对而言, 在研究区域和方法确定的前提下, 对同一气候带不同典型地理单元的比较分析相对较少, 特别是滨海与内陆的比较分析。因此, 本研究选取处于同纬度暖温带季风气候区内的山东半岛东端的滨海区和山东中部的内陆区进行比较, 旨在探讨相同气候类型滨海和内陆气温变化的差异性, 这对于正确认识和评估在全球升温背景下, 滨海和内陆区域的气候变化特点和其对环境和社会经济发展的影响都具有重要的意义。

## 1 研究区域与方法

### 1.1 研究区域概况

本文的滨海地区位于山东半岛东端, 参与分析的气象站有威海、成山头和海阳; 内陆地区是指山东中部的济南、沂源和兖州(图1)。其中滨海区与同纬度的内陆地区相比, 具有雨水丰富、年温适中、气候温和的特点, 由于受海洋的调节作用, 又具有春冷、

收稿日期: 2013-07-05; 修回日期: 2013-10-09

基金项目: 国家自然科学基金(41271193); 鲁东大学学科建设项目(LD-U201012)

作者简介: 宋彦华(1966-), 女, 山东烟台人, 副教授, 硕士, 研究方向, 区域规划与环境, 电话: 13964523862, E-mail: syhsd@126.com

夏凉、秋暖、冬温，昼夜温差小、无霜期长、大风多和湿度大等海洋性气候特点。该滨海区域1959~2012年3个气象站年平均气温12.0℃，年平均降水量739 mm。而内陆地区3个站同期年平均气温13.5℃，年平均降水量702.4 mm。

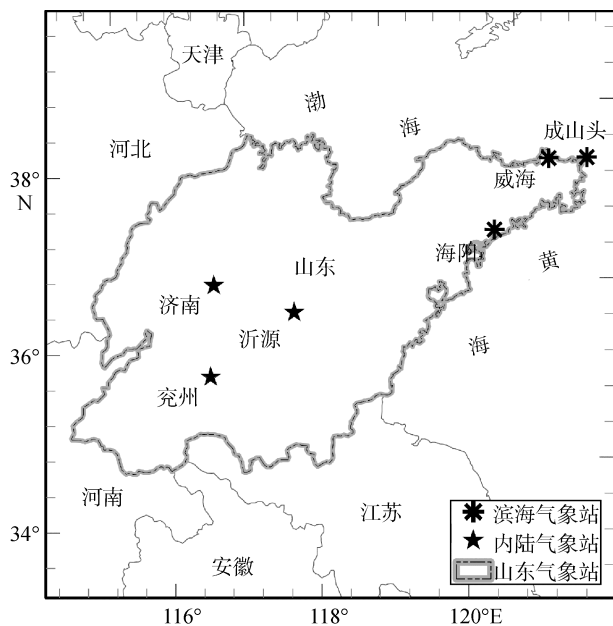


图1 研究区域和站点位置  
Fig.1 Study area and site location

## 1.2 研究方法

### 1.2.1 数据来源与统计

本文的数据来源于中国气象数据共享服务网 (<http://new-cdc.cma.gov.cn:8081>) 气温月值数据，时段范围是1959年1月~2012年12月，共54 a。研究站点选择借鉴顾润源等<sup>[13]</sup>对呼伦湖流域的研究方法，用同一区域内多点气象站数据平均特征表达区域的气候特点。其中，威海气象站缺少1962年7月~1963年12月的月值数据，采用临近的石岛气象站同期数据补充。内陆气温特征用济南、兖州和沂源3站的平均值表示，滨海气温特征用威海、成山头和海阳的平均值表示。

### 1.2.2 趋势与显著性检验

本文采用M-K秩次相关法对山东半岛滨海和内陆地区年平均温度的变化趋势进行分析。M-K法通常用于检验趋势的显著性，因而被广泛用于水文趋势、降水量变化研究。假定 $X_1, X_2, \dots, X_n$ 为时间序列变量， $n$ 为时间序列的长度，M-K法定义了统计量 $S$ 以及方差 $V(S)$ ，并假定其服从正态分布<sup>[10-12]</sup>。则，

$$Z_c = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{V(S)}}, & S > 0 \\ 0, & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{V(S)}}, & S < 0 \end{cases} \quad (1)$$

公式(1)中 $Z_c$ 为一个给定时间范围内的正态分布统计量。在给定 $\alpha$ 置信水平上，如果 $|Z_c| > Z_{1-\alpha/2}$ ，则拒绝原假设，即在 $\alpha$ 置信水平上，时间序列数据 $X_1, X_2, \dots, X_n$ 存在明显的上升或下降趋势。在本文中，取显著水平 $\alpha=0.05$ ，则相应的检验临界值 $Z_c=1.96$ 。其变化趋势的大小用 $\beta$ 表示，计算如下：

$$\beta = \text{Median} \left( \frac{X_j - X_i}{j - i} \right), \forall j > i \quad (2)$$

在公式(2)中 $X_j, X_i$ 分别为 $j, i$ 年的相应测量值，且 $j > i$ 。若 $\beta > 0$ ，表示时间序列呈上升趋势；若 $\beta < 0$ ，表示时间序列呈下降趋势<sup>[14-15]</sup>。

### 1.2.3 分析时间尺度划分与比较基准

由于本文的时间序列1959~2012年共54 a，为了分析近40 a的年平均气温变化，故从1973年开始，因此分析时间尺度设定为15 a(即：初始数据序列为1959~1973年)，依次以1 a为步长逐年后推至2012年。同时，为了分析累加尺度效应，以2012年为判定年份，设定分析时间尺度为2, 3, 4, ..., 20 a。因为20 a是最大限定尺度，故分析数据序列为1978~2012年，共35 a。

气温变化分析以美国橡树岭国家实验室CO<sub>2</sub>信息分析中心2013年发布的1850~2012年全球年平均月值数据为依据，以1960~1990年的年平均气温值为参考基准值<sup>[3]</sup>，通过与全球变化的比较，分析内陆和滨海在不同时间尺度的气温变化幅度。

## 2 结果

### 2.1 滨海和内陆年平均气温变化特点

如图2所示，从内陆年平均气温的变化幅度特点来看，在1973~2012年的40 a中，年平均气温的变化幅度大于全球水平。特别是在1997年以后显著出现连续多年高于全球的变化幅度。从滨海的年平均气温变化特点来看，同样以年平均气温变幅大于全球为特点，滨海平均水平整体高于全球的最大变化幅度(1998年除外)。比较内陆和滨海的平均变化幅度(图2中的内陆和滨海平均线)，可以看出，内陆区40 a的年平均气温变化为(0.33±0.47)℃，低于滨海区的(0.50±0.56)℃。

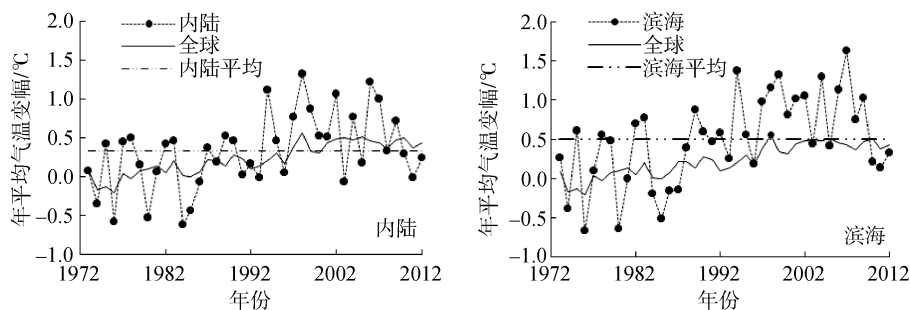


图2 40 a 来滨海与内陆年平均气温变化  
Fig.2 Annual mean changes of air temperature in past 40 years

## 2.2 滨海和内陆年平均气温变化趋势

利用 M-K 法对暖温带区内陆与滨海的年平均气温变化趋势进行检验(图 3), 从内陆的年平均气温变化趋势检测曲线可以看出, 1973~1995 年,  $\beta > 0$ 。但是, 同期  $Z_c$  值除了 1978 和 1988 年以外, 其它年份都没有达到 95% 的置信程度。从 2000 年以后,  $\beta < 0$ , 而同期  $Z_c$  值在 13 a 中有 9 a 超过了 95% 置信线。因此可以判定 40 a 来山东半岛内陆区, 在 1973~1995 年期间, 年平均温没有明显的增加趋势; 2000 年以后该区域进入了一个年平均温下降时期。

从图 3 所示的滨海的年平均气温变化趋势检测曲线可以看出, 1973~1980 年,  $\beta$  正负变化频繁, 但同期  $Z_c$  值都没有达到 95% 的置信程度。1980 年以后, 除 1996、1997 和 2003 年以外,  $\beta > 0$ , 而同期  $Z_c$  值只有 1990 和 2010 年超过了 95% 置信线。因此可以判定 40 a 来山东半岛滨海区, 在 1973~1980 年期间, 年平均温变化剧烈, 没有明显的增加或减少的趋势; 1980 年以后该区域进入了一个年平均温上升时期, 但是变化幅度不显著。

## 2.3 滨海和内陆年平均气温累加效应

分析年份序列的长短会直接影响到 M-K 法的分析结果<sup>[15]</sup>。因此, 为了更好地判定山东半岛内陆和滨

海区的年平均气温变化特点, 进行年平均气温累加效应分析是必要的。从图 4 可以看出, 在内陆区, 当分析尺度  $< 6 a$  时,  $\beta$  在正负间波动, 当分析尺度超过 6 a,  $\beta > 0$ 。从同期  $Z_c$  值判定也明显可以看出, 当分析尺度超过 6 a 后,  $Z_c$  值超过了 95% 置信线。在滨海区, 只有当尺度为 4 a 时,  $\beta$  为负值; 其它尺度,  $\beta > 0$ 。同期  $Z_c$  值判定也显示, 当分析尺度 4 a,  $Z_c$  值超过了 95% 置信线。

## 3 讨论和结论

全球气候变化的指征是以长时间序列(19世纪中叶至今)年平均气温的变化趋势来反映<sup>[16]</sup>。为了强调升温的速率, 在当前的全球变暖研究中较多采用 1961~1990 年的平均值作为研究对象<sup>[3, 16-17]</sup>。从本文的研究结果来看(图2), 同样以 1961~1990 年的平均值作为参照, 在过去的 22 a(1991~2012 年) 山东半岛内陆区年平均气温升高了  $0.52^\circ\text{C}$ , 增温幅度为  $0.024^\circ\text{C}/\text{a}$ , 低于 Jones 等<sup>[3]</sup>对全球变暖幅度( $0.036^\circ\text{C}/\text{a}$ )的评估。从滨海区的同期变化来看(图2), 年平均气温升高了  $0.78^\circ\text{C}$ , 增温幅度为  $0.035^\circ\text{C}/\text{a}$ , 也略低于同期全球增温幅度。与全球气温变化进行的比较分析, 以及本文对研究区域 40 a 的气温变化分析结果(图2, 滨海区平均增温高于内陆区  $0.17^\circ\text{C}$ ) 显示, 40 a 来山东半岛滨海和内陆区的年平均气温变化总体

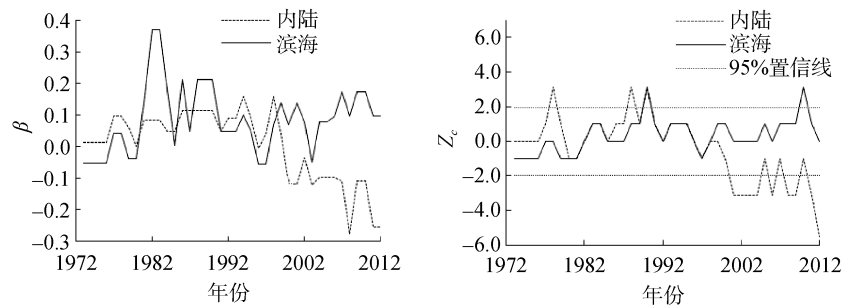


图3 内陆和滨海区年平均气温序列变化趋势与检验  
Fig.3 Change trends and significance test of annual mean air temperature in inland and coastal area

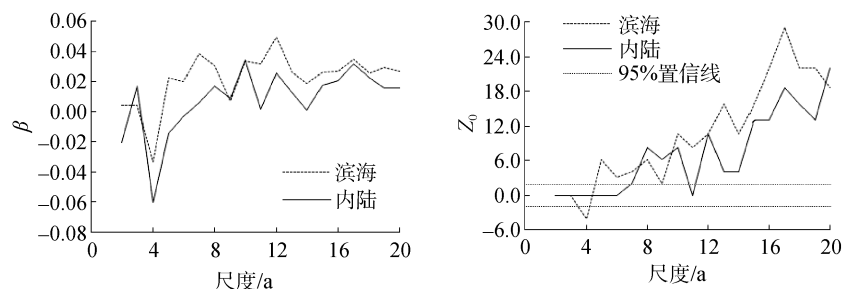


图4 内陆和滨海区年平均气温累加效应检验

Fig.4 Accumulative impact test of annual mean air temperature in inland and coastal area

呈增加的趋势,但低于同期全球增温幅度。同时,采用统计学中的变异系数对内陆和滨海地区40 a来增温幅度进行计算,内陆区为0.82,滨海区为0.56,说明内陆区年平均气温变化波动幅度大于滨海区。其中,滨海区增温高于内陆区这一现象与董满宇等<sup>[12]</sup>对中国东北地区和日本北海道地区气温变化的研究结果以及姜大膀等<sup>[18]</sup>对东亚气候变化的预测结论“同纬度带上大陆的升温幅度通常高于海洋”明显不同。导致这一结果的产生,可能与不同的研究者选用空间范围、气温数据序列长短不统一有关,因为即使是同一案例中气温变化也会表现出一定的不确定性<sup>[4,16]</sup>。

从40 a来内陆和滨海区的年平均气温增温趋势变化来看,最显著的特征是在1972~1999年,2个区域的变化趋势基本一致,从2000年以后,2个区域的变化明显相反。其中,内陆区年平均气温变化呈降低趋势( $\beta < 0$ ),而滨海区呈增加的趋势( $\beta > 0$ )。从变化趋势的置信度检验来看(图3),内陆和滨海区都没有连续5 a变化一致的现象发生。说明山东半岛的年平均气温变化存在着极大的不确定性,这一现象在Brohan等<sup>[4]</sup>的区域和全球尺度研究中也同样存在。事实上,伴随着城市化进程带来的下垫面改变,城市的“热岛效应”导致位于城区附近的气象站观测气温偏高已被研究者重点关注<sup>[3]</sup>。但是,这一变化是连续的,对于基于时间序列分析的M-K法而言,这种变化对趋势的判定影响不大。

从年平均气温的累加效应的长期变化来看,内陆和沿海区的变化基本一致(图4)。不同分析时间序列长短对结果的影响极大,随分析时间序列增加, $\beta$ 变化无规律。最大的特点是,滨海区随分析时间序列(尺度)增加,变化趋势大于内陆区, $\beta$ 平均值滨海区为 $(0.022 \pm 0.017)$ ,内陆区为 $(0.008 \pm 0.021)$ 。从二者的变异系数来看,滨海和内陆区分别为0.77和2.76,同样说明了内陆区年平均气温波动幅度大于滨海区。

此外, $Z_c$ 在总体上随时间尺度增加而增加,其中尺度为15 a时(图4), $Z_c$ 值远远超过了95%置信线,这也印证了上节气温变化趋势分析采用15 a的时间序列进行分析是可信的。

#### 参考文献:

- [1] 秦大河,罗勇,陈振林,等. 气候变化科学的最新进展: IPCC第四次评估综合报告解析[J]. 气候变化研究进展, 2007, 3(6): 311-314.
- [2] 何旭强,张勃,孙力炜,等. 气候变化和人类活动对黑河上中游径流量变化的贡献率[J]. 生态学杂志, 2012, 31(11): 2884-2890.
- [3] Jones P D, Parker D E, Osborn T J, et al. Global and hemispheric temperature anomalies-land and marine instrumental records [EB/OL]. [2013-06-03]. <http://cdiac.esd.ornl.gov/trends/temp/jonescru/jones.html>
- [4] Brohan, P, Kennedy J J, Harris I, et al. Uncertainty estimates in regional and global observed temperature changes: a new dataset from 1850[J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres (1984-2012), 2006, 111: D12.
- [5] 章名立,曾昭美,季劲钧. 全球增暖过程中亚洲东部区域气候的特点[J]. 地理学报, 1996, 51(6): 518-526.
- [6] 李艳春,李艳芳. 宁夏近百年来的气候变化及突变分析[J]. 高原气象, 2001, 20(1): 100-104.
- [7] 孙凤华,袁健,关颖. 东北地区最高、最低温度非对称变化季节演变特征[J]. 地理科学, 2008, 28(4): 532-536.
- [8] 伍红雨,杜尧. 1961—2008年华南地区极端气温的非对称变化[J]. 生态学杂志, 2010, 29(11): 2241-2248.
- [9] 贺晋云,张明军,王鹏,等. 近50年西南地区极端干旱气候变化特征[J]. 地理学报, 2011, 66(9): 1179-1190.
- [10] 徐宗学,张楠. 黄河流域近50年降水变化趋势分析[J]. 地理研究, 2006, 25(1): 27-34.

- [11] Hejazi M I, Moglen G E. Regression-based approach to low flow prediction in the Maryland Piedmont region under joint climate and land use change [J]. *Hydrological Processes*, 2007, 21: 1793-1801.
- [12] 董满宇, 吴正方, 江源. 近百年来中国东北与日本北海道地区气温变化对比[J]. *地理科学*, 2009, 29(5): 584-689.
- [13] 顾润源, 李思慧, 赵慧颖, 等. 呼伦湖流域径流对气候变化的响应[J]. *生态学杂志*, 2012, 31(6): 1517-1524.
- [14] Mann H B. Nonparametric tests against trend [J]. *Econometrica*, 1945, 13: 245-259.
- [15] Belle G, Hughes J P. Nonparametric tests for trend in water quality[J]. *Water Resour Research*, 1984, 20(1): 127-136.
- [16] Folland C K, Rayner N A, Brown S J, et al. Global temperature change and its uncertainties since 1861[J]. *Geophysical Research Letters*, 2001, 28: 2621-2624.
- [17] Jones P D, Moberg A. Hemispheric and large-scale surface air temperature variations: An extensive revision and an update to 2001[J]. *Journal of Climate*, 2003, 16: 206-223.
- [18] 姜大膀, 王会军, 郎咸梅. 全球变暖背景下东亚气候变化的最新情景预测[J]. *地球物理学报*, 2004, 47(4): 590-596.

## Comparative analysis of air temperature changes between coastal and inland areas of the Shandong Peninsula from 1972 to 2012

SONG Yan-hua, YUE Xi-yuan, LIU Liang-xu, HUANG Hai-tao

(College of Geography and Planning, Ludong University, Yantai 264025, China)

**Received:** Jul., 5, 2013

**Key words:** climate change; accumulative impact; Mann-Kendall M-K test

**Abstract:** In this paper, the Rank Correlation methods (Mann-Kendall test, M-K test) were used to analyze and compare the temperature variation between coastal (Weihai, Chengshantou and Haiyang meteorological stations were chosen as a representative) and inland (Jinan, Yiyuan and Yanzhou were chosen as a representative) areas based on annual mean data of air temperature from 1959 to 2012 in the Shandong Peninsula. The results showed that the annual mean air temperature increased from 1974 to 2012 both in the coastal and inland area of the peninsular, and they were lower than global level. The change of coast temperature was higher than which of inland by 0.17°C. Further, M-K test analysis indicated that fluctuation range of the coast temperature was lower than that of the inland. In addition, our findings showed that different temporal series (scales) had obviously influence on check result,  $\beta$  values changed irregular, and  $Z_c$  values increased with the temporal series increase, respectively.

(本文编辑: 李晓燕)