

# An Analysis on Spatio-Temporal Characteristics of Temperature in Heze City in Recent 30 Years\*

Fengtai Si<sup>1</sup>, Cunjin Xue<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Heze Meteorological Administration, Heze

<sup>2</sup>Key Laboratory of Digital Earth Science, Center for Earth Observation and Digital Earth, Chinese Academy of Sciences, Beijing  
Email: sifengtai@126.com

Received: Mar. 20<sup>th</sup>, 2013; revised: Apr. 26<sup>th</sup>, 2013; accepted: May 4<sup>th</sup>, 2013

Copyright © 2013 Fengtai Si, Cunjin Xue. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**Abstract:** Based on the monthly averaged temperature from observation stations over Heze City during the periods of 1981 to 2010, and using the ArcGIS 10.0 spatial analysis tools and the empirical orthogonal function, this paper analyzes the change trend of annual and seasonal temperature, and discusses the temperature's inter-annual variation. The results show that the annual averaged temperature in season is a clear upward trend with the higher warming contribution in spring, autumn and winter than summer. And the upward trend has an obvious spatial distribution. An average annual temperature growth rate is 0.02°C - 0.03°C over western-center Dongming country, the 0.03°C - 0.04°C distributes over Caoxian country, Dingtao country, Juancheng country, eastern Dongming country, the surrounding area of Mudan district, northeastern Yuncheng country and western Juye country, and the 0.04°C - 0.05°C covers Chengwu country, Shanxian country, southwestern Yuncheng country and Mudan district. In addition, the temperature's interannual change has a cycle period of 2.3 years, and the regions covering Shanxian country, Chengwu country, eastern Caoxian country and southeastern Dingtao country and the regions covering Dongming country, mid-eastern Juye country and western Juancheng country are in upward/downward trend with three phases: 1981-1988, 1989-2000 and 2001-2010.

**Keywords:** Heze City; Temperature; Upward Trend; Spatio-Temporal Change

## 近 30 年菏泽市气温时空特征分析\*

司奉泰<sup>1</sup>, 薛存金<sup>2</sup>

<sup>1</sup>菏泽市气象局, 菏泽

<sup>2</sup>中国科学院对地观测与数字地球科学中心数字地球重点实验室, 北京  
Email: sifengtai@126.com

收稿日期: 2013 年 3 月 20 日; 修回日期: 2013 年 4 月 26 日; 录用日期: 2013 年 5 月 4 日

**摘要:** 基于菏泽市八县一区观测站 1981~2010 年的月均气温资料, 利用 ArcGIS 10.0 空间分析工具和经验正交函数分解算法, 分析了年、季平均气温时空变化趋势和年际变化特征。分析结果表明: 菏泽市年平均气温整体上呈增长趋势, 春、秋和冬季的增长贡献大于夏季的增长贡献。且菏泽市年平均气温增长趋势具有明显的空间差异, 东明县的中西部地区和巨野县的东部地区的年增长率为 0.02°C~0.03°C; 曹县、定陶、鄄城、东明东部、牡丹区周围地区、郓城北部和东部地区和巨野西部地区的年增长率为 0.03°C~0.04°C; 成武、单县、郓城西南地区和菏泽牡丹区的年增长率为 0.04°C~0.05°C。另外, 菏泽市平均气温的年际变化具有 2.3 年的周期特征, 单县、成武、曹县东部和定陶东南部地区与东明、巨野中东部和鄄城西部地区的平均气温增长/降低大致分为三个阶段: 1981~1988 年、1989~2000 年和 2001~2010。

\*基金项目: 国家自然科学基金(NO. 40901194)和中国科学院对地观测与数字地球科学中心主任基金“西太平洋海洋遥感参数时空关联过程化表达方法研究”联合资助。

**关键词：**菏泽市；气温；增长趋势；时空变化

## 1. 引言

菏泽市(八县一区)位于山东省西南部,地势平坦,土层深厚,适宜多种农作物的生长,是一个农业大市。农业生产与气候变化息息相关,其中气温是诸多气候要素中的最重要因子之一,因此,气温变化对该地区粮食生产有直接和重要的影响。目前,全球变暖已成为不争的事实,在此背景下开展区域气候变化特征及趋势分析,对掌握该地区气候变化特点,进行农业气候资源分析,来引导当地农业生产类型、规模以及布局等方面都有重要意义<sup>[1]</sup>。

近年来,许多学者对菏泽市的气候变化规律和趋势做了深入的分析,系统讨论了菏泽市气温、逐月降水量、日照时数、湿度、蒸发量等气候因子时间序列特征。比如,李瑞英等(2009)基于菏泽市 1961~2008 年气候资料,利用线性分析方法得出了菏泽市在这 48 年间气温、日照时数和降水量的变化规律及趋势<sup>[2]</sup>;朱爱民和任崇勇(2012)同样基于上述数据,利用线性分析和 M-K 相结合的方法,得出了 1961~2008 年的气温、日照时数和降水量的变化特征<sup>[3]</sup>;袁旗和李菏民(2008 年)统计分析了降水量、温度、光照、湿度和蒸发量等多种气候因子的变化特征及其趋势<sup>[4]</sup>。上述研究均把菏泽市作为一个整体研究区域,强调气候因子在时间序列上的时态特征,忽略了小区域差异对气候变化的影响,而这种小范围局部区域的气候变化对农业气候资源的规划管理和评估至关重要。另外,目前关于菏泽市气候的年际变化规律的研究很少,这对研究气候的成因及预测预报至关重要。因此,本文将研究菏泽市内分区气候变化和分区年际变化进行分析。

基于此,本文基于 1981~2010 年菏泽市气象局的数据资料,利用 ArcGIS 10.0 空间分析工具、线性回归分析和经验正交函数分解(Empirical Orthogonal Function, EOF)方法,讨论分析菏泽市八县一区气温的时空变化特征。

## 2. 研究区域与资料

本文选择菏泽市八县一区作为试验区,每个县/区气候观测站点空间分布如图 1 所示。所用资料来自菏泽市气象局,数据资料涵盖了 1981~2010 年菏泽市

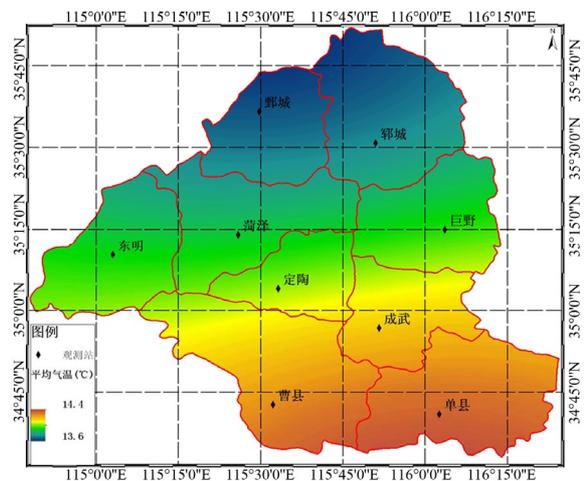
八县一区的逐年逐月气温。采用鲁西南四季的划分方法,把 3 月、4 月和 5 划为春季,6 月、7 月和 8 月划为夏季,9 月 10 月和 11 月为秋季,1 月、2 月和 12 月为冬季,计算整理得到菏泽市八县一区气温的年气温平均值和季节气温平均值。

## 3. 时空分析方法

ArcGIS 是一套功能强大的地理信息分析工具,广泛应用于气象、海洋、土地管理等行业部门<sup>[5,6]</sup>。本文采用 ArcGIS 10.0 地理统计分析工具,对菏泽市八县一区的逐月气温数据计算整理得到年和季节的气温平均值,并利用时空插值算法和经验正交函数分解算法,讨论分析菏泽市气温年、季节的增长趋势及其空间分布和气温的年际变化特征。

### 3.1. Kriging 空间插值方法

地理环境要素在空间或时间上的分布总会表现出一定的相关性,即近距离的地理环境要素之间的相似度往往比远距离的地理环境要素之间更高。Kriging 空间插值方法正是基于随机变量在空间或时间上的相关结构而建立的,因而,该方法是最好的线性无偏差预测器,与其它预测器比较,Kriging 方法具有最小的方差误差。基于此,本文采用 Kriging 方法实现气温的空间插值,有关 Kriging 空间插值的理论方法请



**Figure 1. Research area and observation station (Background is annual averaged temperature from 1981 to 2010)**  
**图 1. 研究区域及观测站点的空间分布(底层背景为 1981~2010 年年平均气温)**

参考文献[7]。

### 3.2. 经验正交函数分解(EOF)方法

EOF 方法最早由统计学家 Pearson 于 1902 年提出,该方法用于研究要素场的各个模态,即空间分布及其对应时间系数,将要素场的变化集中在几个主要模态上,从而通过对主要模态的分析,探索模态背后的物理意义<sup>[8]</sup>。从数据处理的角度分析,EOF 方法将原要素的时空场分解为正交函数的线性组合,分解出少数相互正交的典型模态,每个模态包括空间型及其对应的时间指数,典型模态尽可能多的保持原要素场的信息,尽可能少的减少丢失信息。由于该方法能有效压缩和降低数据维度,目前已广泛应用于大气科学领域<sup>[9,10]</sup>。

为消除季节变化对时间序列分析的影响,本文选择 Z-Score 算法实现气温月均距平的计算。Z-Score 算法是在缺少先验知识的情况下,利用原始数据的均值和标准差进行数据的距平化处理,可有效去除季节变化对时间序列的趋势影响。其计算公式为:

$$X'_{i,j} = \frac{X_{i,j} - \bar{X}_j}{\delta_j}, (j=1,2,\dots,12) \quad (1)$$

其中,  $i$  代表年份;  $j$  代表月份,为 1~12 个月某个月;  $\bar{X}_j$  为第  $j$  个月的气温月均值;  $\delta_j$  为第  $j$  个月的气温方差;  $X_{i,j}$  为气温原始时间序列,  $X'_{i,j}$  为气温距平值的时间序列。

## 4. 气温时空变化特征

### 4.1. 年平均气温变化趋势

基于 1981~2010 年的月平均气温资料,利用线性回归模型和 ArcGIS10.0 空间分析工具,计算了菏泽市八县一区的年平均气温增长率,年平均气温增长趋势的空间分布如图 2 所示。为进一步讨论增长率的有效性,在年平均气温增长趋势的空间分布上叠加了显著性水平检验。

近 30 年,菏泽市八县一区的年平均气温具有明显的上升趋势,其增长率为  $0.02^{\circ}\text{C}\sim 0.05^{\circ}\text{C}$ ,且这种上升趋势具有明显的空间分布差异(图 2)。在东明县的中西部地区和巨野县的东部地区,年平均气温增长率相对较低,为  $0.02^{\circ}\text{C}\sim 0.03^{\circ}\text{C}$ ;在曹县、定陶、郓城、东明东部、菏泽牡丹区周围地区、郓城的北部和东部地

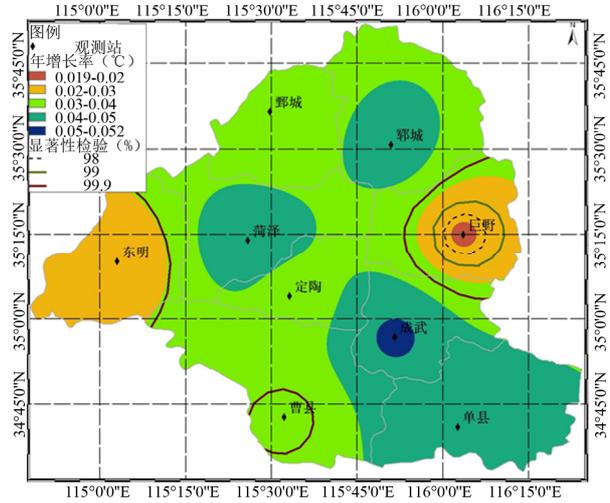


Figure 2. Trend of annual averaged atmospheric temperature from 1981 to 2010

图 2. 1981~2010 年平均气温增长变化趋势空间分布

区和巨野西部地区,年平均气温增长率为  $0.03^{\circ}\text{C}\sim 0.04^{\circ}\text{C}$ 。在成武、单县、郓城西南地区和菏泽牡丹区中部地区,年平均气温增长率相对较高,为  $0.04^{\circ}\text{C}\sim 0.05^{\circ}\text{C}$ ,甚至在成武县中南部的局部地区,年均气温增长率超过了  $0.05^{\circ}\text{C}$ 。

菏泽市八县一区的年平均气温增长率的显著性检验表明,除东明县的中西部地区和巨野县东部地区的显著性检验水平在 98%~99%之间,其它地区的显著性水平通过了 99.9%检验。因而,菏泽市八县一区的年平均气温增长率  $0.02^{\circ}\text{C}\sim 0.05^{\circ}\text{C}$  的空间分布具有物理解释。

### 4.2. 四季平均气温变化趋势

利用 1981~2010 年的月平均气温资料,计算统计近 30 年菏泽市八县一区的春、夏、秋、冬四个季节平均气温,并利用线性回归模型和 ArcGIS 10.0 空间分析工具,分别统计分析了四季年平均气温增长趋势的空间分布和增长率显著性检验的空间分布,见图 3。

从整体上分析,菏泽市八县一区季节平均气温都具有增长趋势,且这种增长趋势不仅具有空间上的分布差异,而且季节上的贡献也不相同,见图 3。在空间分布上,东明县中西部地区和巨野县中部地区的季平均气温增长率相对较低,其它区域的平均气温增长率相对较高;从季节的贡献上分析,春季、秋季和冬季的年平均气温增长率相对较高,分别为  $0.04^{\circ}\text{C}$ 、 $0.0397^{\circ}\text{C}$  和  $0.057^{\circ}\text{C}$ ,而冬季的平均气温增长率相对较

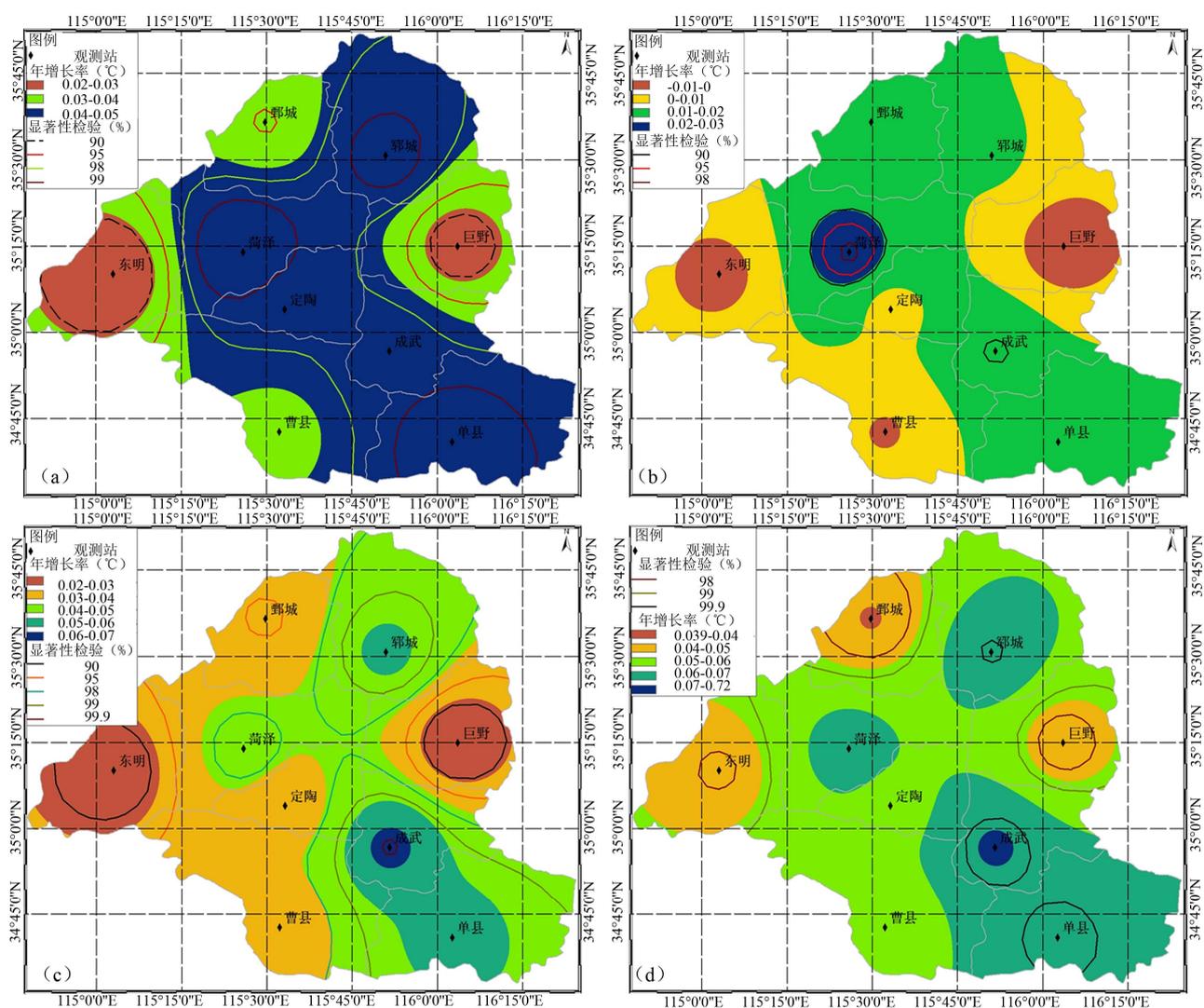


Figure 3. Trend of seasonal averaged atmospheric temperature from 1981 to 2010: (a) Spring; (b) Summer; (c) Autumn; (d) Winter  
 图 3. 1981~2010 期间四季平均气温增长变化趋势空间分布: (a) 春季; (b) 夏季; (c) 秋季; (d) 冬季

低, 为  $0.009^{\circ}\text{C}$ 。显著性检验表明, 除夏季外, 春、秋和冬季的显著性水平都超过了 90% 以上的检验。

春季(图 3(a)), 巨野中部和东明中西部地区气温的年增长趋势相对缓慢, 其增长率为  $0.02^{\circ}\text{C}\sim 0.03^{\circ}\text{C}$ , 显著性水平超过了 90% 以上的检验; 在鄄城北部、巨野中西部、曹县东南部和东明东部地区, 年平均气温增长率达到  $0.03^{\circ}\text{C}\sim 0.04^{\circ}\text{C}$ , 显著性水平超过了 95% 以上的检验; 在菏泽牡丹区、定陶、成武、单县、曹县、鄄城和东明东部和北部地区, 年平均气温增长率达到  $0.04^{\circ}\text{C}\sim 0.05^{\circ}\text{C}$ , 显著性水平超过了 98% 以上的检验, 甚至在菏泽牡丹区、鄄城和单县的局部地区, 其显著性水平超过了 99% 以上的检验。

夏季(图 3(b)), 巨野中部、东明中部和曹县中部

的局部地区气温年增长趋势呈下降趋势, 其负增长率为  $0^{\circ}\text{C}\sim 0.01^{\circ}\text{C}$ , 但显著性水平未达到 90% 以上的检验, 其物理意义不明确; 在巨野西部、北部和南部、鄄城东部、曹县和东明的大部分地区, 气温的年增长趋势相对缓慢, 其增长率为  $0^{\circ}\text{C}\sim 0.01^{\circ}\text{C}$ ; 在菏泽牡丹区的大部分地区、定陶、成武、单县、鄄城和鄄城西部地区, 年平均气温增长率为  $0.01^{\circ}\text{C}\sim 0.02^{\circ}\text{C}$ ; 在菏泽牡丹区的局部区域年平均气温增长率达到  $0.02^{\circ}\text{C}\sim 0.03^{\circ}\text{C}$ , 显著性水平达到了 90% 以上的检验。

秋季(图 3(c)), 巨野中部和东明中西部地区的气温年增长趋势相对缓慢, 其增长率为  $0.02^{\circ}\text{C}\sim 0.03^{\circ}\text{C}$ , 显著性水平超过了 90% 以上的检验; 在鄄城、菏泽牡丹区北部、西部和南部、东明东部、定陶东南部、曹

县和巨野北部、西部和南部地区，年平均气温增长率为  $0.03^{\circ}\text{C}\sim 0.04^{\circ}\text{C}$ ，大部分地区的显著性水平达到 95% 以上的检验；在菏泽牡丹区中部、定陶西北部、成武、单县、和郓城地区，年平均气温增长率达到  $0.04^{\circ}\text{C}\sim 0.05^{\circ}\text{C}$ ，显著性水平超过了 98% 以上的检验，甚至在成武和郓城的局部区域，其增长率超过了每年  $0.06^{\circ}\text{C}$ ，其显著性水平也超过了 99% 以上的检验。

冬季(图 3(d))，巨野中部、东明中西部和鄄城北部地区的气温年增长率为  $0.04^{\circ}\text{C}\sim 0.05^{\circ}\text{C}$ ，显著性水平超过了 98% 以上的检验；在鄄城北部和东部、巨野大部分地区、鄄城中南部、菏泽牡丹区大部分地区、定陶和曹县，年平均气温增长率达到  $0.05^{\circ}\text{C}\sim 0.06^{\circ}\text{C}$ ，显著性水平超过了 99.9% 以上的检验；在菏泽牡丹区局部地区、成武县大部分地区、单县、曹县东部、鄄城中部地区，年平均气温增长率达到  $0.06^{\circ}\text{C}\sim 0.07^{\circ}\text{C}$ ，显

著性水平超过了 99.9% 以上的检验；在成武县的局部地区，气温年增长率超过了  $0.07^{\circ}\text{C}$ ，其显著性水平也超过了 99.9% 以上的检验。

### 4.3. 气温年际变化特征分析

菏泽市平均气温不仅具有年、季节的增长趋势，且平均气温变化也具有年际变化特征。利用经验正交函数分解算法，提取了 1981~2010 年菏泽市八县一区的月平均气温的主要模态特征，经 North 有效特征值检验<sup>[11]</sup>，前三个模态具有物理解释。第一模态、第二模态和第三模态方差贡献分别为：35.2%、23.4% 和 13.4%，占总方差贡献的 72.0%，即利用前三个模态能解释 72% 的气温时空变化特征。经 Morlet 小波周期分析表明，第一模态具有 2.3 年的年际变化特征。图 4 给出了菏泽市八县一区月平均气温第一模态的空间

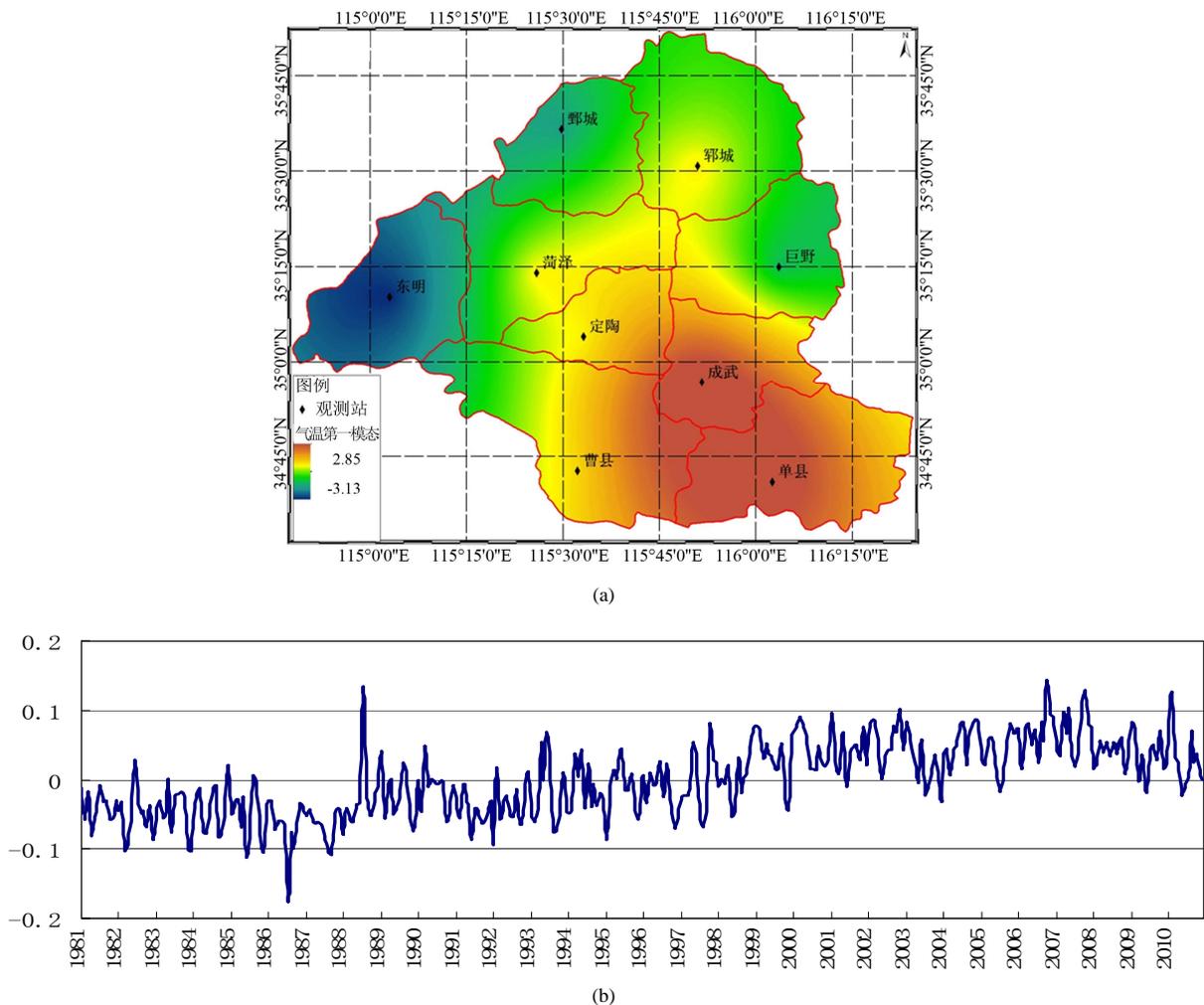


Figure 4. The first mode of atmospheric temperature by EOF from 1981 to 2010: (a) Spatial pattern; (b) Temporal component  
图 4. 1981~2010 期间平均气温第一模态的时空特征: (a) 空间分布; (b) 时间系数

分布和时间序列特征。

菏泽市八县一区平均气温的年际变化空间分布表明：单县、成武、曹县东部和定陶东南部地区与东明、巨野中东部和鄆城西部地区的平均气温具有 2.3 年周期“跷跷板”的变化特征，即前者的气温异常增加时，后者的气温异常减小，反之亦然。然而，郓城、菏泽牡丹区、定陶和巨野西南部这种周期变化并不明显。

同时，结合平均气温年际变化的时间系数分析，菏泽市八县一区平均气温的年际变化大致分为 3 个阶段：1981~1988 年、1989~2000 年和 2001~2010 年。在 1981~1988 年期间，单县、成武、曹县东部和定陶东南部地区平均气温以降低为主，而东明、巨野中东部和鄆城西部区域的平均气温以增高为主；在 1989~2000 年期间，两区域具有明显的“跷跷板”的变化特征；在 2001~2010 年期间，单县、成武、曹县东部和定陶东南部地区平均气温以增加为主，而东明、巨野中东部和鄆城西部地区的平均气温以降低为主。

## 5. 结论

基于 1981~2010 年观测站点的实测资料，利用 ArcGIS 10.0 空间分析工具、线性回归模型和经验正交函数分解算法，讨论分析了近 30 年菏泽市八县一区平均气温年、季节增长趋势和年际变化特征。主要结论如下：

1) 近 30 年菏泽市八县一区的年平均气温呈增长趋势，该增长趋势存在空间分布差异。东明县中西部地区和巨野县东部地区的年增长率为  $0.02^{\circ}\text{C}\sim 0.03^{\circ}\text{C}$ ；曹县、定陶、鄆城、东明东部、菏泽牡丹区周围地区、郓城的北部和东部地区和巨野西部地区年平均气温增长率为  $0.03^{\circ}\text{C}\sim 0.04^{\circ}\text{C}$ ；成武、单县、郓城西南地区和菏泽牡丹区年增长率为  $0.04^{\circ}\text{C}\sim 0.05^{\circ}\text{C}$ 。

2) 近 30 年菏泽市八县一区的季平均气温呈增长趋势，这种增长趋势不仅具有空间差异，也具有季节特征。在空间分布上，东明县和巨野县地区的季平均气温增长率相对较低，其它区域的平均气温增长率相对较高；从季节的贡献上分析，春季、秋季和冬季的平均气温增长率相对较高，而冬季的平均气温增长率相对较低。

3) 菏泽市八县一区平均气温的年际变化具有 2.3 年周期，且单县、成武、曹县东部和定陶东南部地区与东明、巨野中东部和鄆城西部地区的平均气温增长/降低的变化大致分为三个阶段：1981~1988 年、1989~2000 年和 2001~2010 年，且具有“跷跷板”的变化特征。

## 参考文献 (References)

- [1] 肖国举, 张强, 王静. 全球气候变化对农业生态系统的影响研究进展[J]. 应用生态学报, 2007, 18(8): 1877-1885.
- [2] 李瑞英, 张翠英, 刘继敏. 菏泽市近 48 年来气候变化特征及未来趋势分析[J]. 中国农业气象, 2009, 30(增 2): 268-270.
- [3] 朱爱民, 任崇勇. 菏泽市近 50 年气候变化特征分析[J]. 山东气象, 2012, 32(2): 12-14.
- [4] 袁旗, 李荷民. 菏泽市建站以来的气候特征分析[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(24): 10573-10576.
- [5] 范媛媛, 孙伯川, 王维瑞. 北京市农业局 GIS 通用开发平台构建思路[J]. 中国农学通报, 2013, 29(2): 212-216.
- [6] 吴战平, 于飞, 谷晓平, 袁淑杰. 基于组件 GIS 的贵州农业气候资源决策支持系统[J]. 中国农业气象, 2010, 31(增 1): 107-111.
- [7] M. A. Oliver. Kriging: A method of interpolation for geographical information systems. International Journal of Geographic Information Systems, 1990, 4(3): 313-332.
- [8] A. Hannachi, I. T. Jolliffe and D. B. Stephenson. Empirical orthogonal functions and related techniques in atmospheric science: A review. International Journal of Climatology, 2007, 27(9): 1119-1152.
- [9] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术(第二版)[M]. 北京: 气象出版社, 2007.
- [10] 周国华, 罗小莉, 王盘兴等. 中国冬季气温异常 EOF 分析的改进[J]. 大气科学学报, 2012, 35(3): 295-304.
- [11] G. R. North, T. L. Bell, R. F. Cahalan, et al. Sampling errors in the estimation of empirical orthogonal functions. Monthly Weather Review, 1982, 110(7): 699-706.