

曹洁, 邱燊, 刘焕彬, 等. 2013. 山东省采暖与降温度日数时空分布规律研究. 气象, 39(1): 94-100.

山东省采暖与降温度日数时空分布规律研究^{*}

曹 洁^{1,2} 邱 燊² 刘焕彬² 史志娟³ 董旭光²

1 南京信息工程大学, 南京 210044

2 山东省气候中心, 济南 250031

3 甘肃省气象局, 兰州 730020

提 要: 本文采用山东省日平均气温资料, 基于 Mann-Kendall 检验方法, 分析了山东省采暖与降温度日数的空间分布和时间变化趋势。同时, 采用度日数序列对度日数等值线最密集的济南进行了关于城市热岛效应特征的初步探讨。结果表明, 山东省采暖度日数空间分布具有纬向分布和地形影响特征, 多年均值在 2279~2945 °C·d 之间; 降温度日数除受地形影响外, 还具有海陆分布特征, 多年平均值分布在 1~155 °C·d 之间。采暖度日数的长期变化呈现显著下降趋势, 在 44.6~162.3 °C·d·(10 a)⁻¹ 之间; 降温度日数趋势大部分站点不显著, 仅 18 个站点有上升趋势, 在 4.5~17.3 °C·d·(10 a)⁻¹ 之间。济南在 1965—2010 年, 郊区采暖度日数始终高于城市, 在大部分年份降温度日数都是城市高于郊区。采暖与降温度日数城郊差值都在 20 世纪 70 年代末至 80 年代初达到高值段, 近年最小。

关键词: 采暖度日数, 降温度日数, 时空分布, Mann-Kendall 检验

中图分类号: P49

文献标识码: A

doi: 10.7519/j.issn.1000-0526.2013.01.012

Spatiotemporal Distribution of Heating and Cooling Degree Days in Shandong Province

CAO Jie^{1,2} QIU Can² LIU Huanbin² SHI Zhijuan³ DONG Xuguang²

1 Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044

2 Shandong Province Climate Centre, Jinan 250031

3 Gansu Provincial Meteorological Service, Lanzhou 730020

Abstract: Climate and energy has an increasingly close relationship and degree day is the simplest and the most reliable index to measure energy demand. Spatial and temporal distribution characteristics of heating and cooling degree days, based on Mann-Kendall test, by selecting a set of daily average temperature data in Shandong Province, have been analyzed in this paper. Also, urban heat island effect has been discussed by means of the trend of degree days in Jinan. Results show as follows: (1) Spatial distribution of heating degree days is mainly affected by latitude and topography, average value fluctuating in a range of 2279—2945 °C·d, while distribution of cooling degree days tends to be related to topography and land-sea distribution, average value varying between 1 and 155 °C·d. (2) Heating degree days appear to be significant decreasing trends varying between 44.6 and 162.3 °C·d·(10 a)⁻¹, while cooling degree days at 18 stations present significant increasing trends, ranging between 4.5 and 17.3 °C·d·(10 a)⁻¹, no remarkable positive trends observed at the other stations. (3) Heating degree days in the suburb of Jinan are always higher than those in the urban during the period from 1965 to 2010, on the contrary, cooling degree days in the urban are higher in most years of the period. The difference value of heating degree days and cooling

* 山东省气象局气象科学技术研究项目(2010sdqx07)资助

2011 年 12 月 2 日收稿; 2012 年 4 月 24 日收修定稿

第一作者: 曹洁, 主要从事气候应用和风能研究. Email: blue00ghost@163.com

degree days between in the urban and in the suburb indicates the highest level in the late 1970s and in the early 1980s and the lowest level in recent years.

Key words: heating degree days, cooling degree days, spatiotemporal distribution, Mann-Kendall test

引言

在全球变暖的大背景下,节能减排需要建立在基于气候变化的能源需求分析的基础上。研究气候对能源消费的影响可以为能源规划、战略的制定以及能源消费的预测提供科学依据(袁顺全等,2004)。

度日数最早是作为反映农作物生长中所需热量水平的一种度量(任永建等,2010)。20世纪50年代初,Thom(1952;1954;1966)首次用度日法探讨了美国能源消费与温度的关系。国内李怀瑾等(1987)和龙斯玉等(1985)最早基于采暖期的确定进行过度日数的研究。最近也有研究基于采暖制冷度日探讨了香港热岛效应与采暖制冷需求的关系(Memon et al, 2011)。在气候与能源关系日益紧密的今天,度日数成为最简单可靠的衡量能源需求的指标,度日数分析法作为研究气温和能源关系的基本方法,广泛运用于气候变化与能源需求的研究领域(任永建等,2010;张昕璇等,2008)。

许多学者在西班牙(Valor et al, 2001)、土耳其(Kadioglu et al, 2001)、新疆(Jiang et al, 2009)、北京(谢庄等,2007)等已经做过着重于度日数变化趋势和特征的研究。有学者就山东省主要城市度日数分布进行过初步探讨(李永安等,2006)。目前,现有能源格局改造、新型低碳经济建设已经成经济发展中迫切需要解决的问题,而这需要更加精准的能源指标分布信息作为参考。能源等部门将会更多的使用度日数资料,来分析比较国内外用于冬季供暖和空调制冷的能源需求状况和预测未来趋势(张海东等,2010)。本文将在前人研究基础上,从空间分布及时间变化趋势方面,基于 Mann-Kendall 检验方法,系统地研究整个山东省的采暖、降温度日数的分布特征和变化规律,旨在为山东省能源规划和决策提供基础参考。

1 资料与方法

1.1 资料

采用山东省日平均气温数据对采暖、降温度日数的分布特征与变化趋势进行分析,资料年限为1965—2010年。资料选取时考虑观测时间长、缺测

少的气象台站,对于缺测严重和观测时间过短的台站予以剔除,对于短暂不连续(10日内连续缺测)的台站资料进行插补订正。插补订正方法(杨续超等,2011):对单日缺测,用本站前后各1日平均气温求平均;对2日以上连续缺测,采用缺测站与相邻高相关站点利用线性回归的方法进行插补。

1.2 采暖与降温度日数

度日数指日平均温度与基础温度的实际离差,分为两类即采暖度日数(Heating Degree Days, HDD)和降温度日数(Cooling Degree Days, CDD)。度日数的计算公式(Asseldonk et al, 2003)如下:

对于第*i*天的度日数:

$$HDD_i = \max\{[0; (T_{ref} - T_{avg})]\} \quad (1)$$

$$CDD_i = \max\{[0; (T_{avg} - T_{ref})]\} \quad (2)$$

对于年度日数:

$$HDD = \sum_{i=1}^n HDD_i \quad (3)$$

$$CDD = \sum_{i=1}^n CDD_i \quad (4)$$

其中, T_{ref} 为基础温度, T_{avg} 为平均温度, n 为一年内的总天数。

基础温度是为了统计需要而人为规定的一个参考温度,各个国家(或地区)往往根据能源供应、人体生理需求、经济水平和温度变化特点选取适合本国(或地区)的参考温度(袁顺全等,2004)。生理卫生学家认为,23~24℃为人们生活最舒适的环境温度。据测定,一般建筑物室内设计温度和建筑物“热平衡”温度之差通常为3~7℃(龙斯玉等,1985)。国内外大部分研究的基础温度都在18℃附近,采暖度日数的基础温度取值范围为5~21.6℃,降温度日数的基础温度范围在15.5~26℃,见表1。

根据《严寒和寒冷地区居住建筑节能设计标准》(JGJ26—2010)(中华人民共和国住房和城乡建设部,2010)定义,采暖度日数(HDD18)指一年中,当某天室外日平均温度低于18℃时,将该日平均温度与18℃的差值乘以1d,并将此乘积累加;空调度日数(CDD26)指一年中,当某天室外日平均温度高于26℃时,将该日平均温度高于26℃的差值乘以1d,并将此乘积累加。本研究所取采暖度日数和降温度日数的基础温度分别为18和26℃。

表 1 各地基础温度取值表(单位:℃)

Table 1 Threshold temperature values at various locations (unit:℃)

类别	地点或出处	HDD	CDD
国外	美国, 俄亥俄州, 路易斯安那州、华盛顿州(Zapranis et al, 2011; Sailor et al, 1997)	18.3	
	佛罗里达州(杨续超等, 2011)	21	
	欧洲(Zapranis et al, 2011)	18	
	英国(Jiang et al, 2009)	15.5	15.5
	波兰(Jiang et al, 2009)	17	17
	西班牙(Valor et al, 2001)、加拿大(Jiang et al, 2009)	18	18
	土耳其(Kadioglu et al, 2001)	15	24
	沙特沿海(Rehman et al, 2011)	18/20	18/24
	以色列(Beenstocka et al, 1999)	10	25
	北京(谢庄等, 2007)、重庆(张天宇等, 2009)、枣庄(鹿翠华等, 2008)	18	18
	《夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准》(JGJ134-2010)(中华人民共和国住房和城乡建设部, 2010a)	18	26
	《严寒和寒冷地区居住建筑节能设计标准》(JGJ26-2010)(中华人民共和国住房和城乡建设部, 2010b)	18	26
	华南区域(李艳兰等, 2011)、山东(李永安等, 2006)、阜新(李丽光等, 2009)、辽宁(李丽光等, 2010)	18	26
	新疆(Jiang et al, 2009; 姜逢清等, 2007)	18	24
中国(张海东等, 2010)、华中区域(任永建等, 2010)	5	26	
广东(郝全成等, 2010)	21.6	21.6	
《采暖通风与空气调节设计规范(GB50019-2003)》(中华人民共和国建设部, 2003)		26	
《国务院办公厅关于严格执行公共建筑空调温度控制标准的通知》(2007年6月)		26	
中国(李怀瑾等, 1987)		18	

2 结果与分析

2.1 采暖与降温度日数空间分布特征

为了解度日数空间分布特征,绘制了山东省多年平均采暖、降温度日数的空间分布图(图 1),采暖(降温)度日数等值线数值越高、图示颜色越深表明该区域冬(夏)季温度越低(高)且低(高)温时段更长,采暖(制冷)所需能源越多;反之则采暖(制冷)所需能源越少。

如图 1a 所示,山东省采暖度日数多年平均值分布在 2279~2945 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 之间,空间分布具有纬向分布特征,随纬度增加而增加;其次具有地形影响特征,山地高,平原低。这与华中区域规律(任永建等, 2010)相似,同时与山东省冬季平均气温呈现的分布规律(于群等, 2007)相一致。胶东半岛和鲁西北区域采暖度日数达到 2800 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 以上,鲁中山区中东部、半岛南部在 2640~2800 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$,鲁中山区西部、鲁西南北部介于 2400~2640 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$,鲁西南南部和鲁中山区南部、济南市最低小于等于 2400 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 。

由图 1b 可知,山东省降温度日数多年平均值分布在 1~155 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 之间,空间分布具有较为显著的海陆分布特征,随距海岸线距离增加而增大;也受到地形特征影响,山区小,平原大。就其分布特征而言,与华中(任永建等, 2010)、华南(李艳兰等, 2011)区域相似的是地形影响明显,不同的是这两个区域

主要受纬度影响,而山东更多受海陆分布特征影响,这与山东夏季气温分布规律(于群等, 2004)相一致。胶东半岛东部最低在 36 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 以下,胶莱平原和半岛南部在 36~54 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 之间,鲁北和鲁中山区东部南部在 54~72 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 之间,鲁西南和鲁西北较高均在 72 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 以上,济南市及周边地区最高在 108 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 以上。

2.2 采暖与降温度日数变化趋势

2.2.1 长期变化趋势

采用 Mann-Kendall (MK) 检验(曹洁萍等, 2008;徐梅等, 2009;谭方颖等, 2010)方法来研究采暖、降温度日数的时间变化趋势,其中以 Kendall 倾斜度(徐宗学等, 2006;刘亚龙等, 2010)来表示其长期变化趋势。山东省年均采暖度日数长期变化趋势图(图 2a)显示所有站点均呈现显著下降趋势,且都通过 $\alpha=0.05$ 的显著性水平检验。采暖度日数下降趋势显著与冬季升温趋势显著(于群等, 2007)相联系,同时冬季升温会导致低温时数减少,这会加剧采暖度日数下降趋势。鲁中山区北部和胶莱平原部分站点降低趋势最大,达 120.0 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 以上;全省大部分站点介于 80.0~120.0 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 之间;60.0~80.0 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 站点较少,主要出现于鲁西北北部、鲁西南、胶东半岛北部;西部部分站点最小,小于 60.0 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 。采暖度日数下降趋势最大的站点是淄博,达到 162.3 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}\cdot(10\text{a})^{-1}$,其次是崂山,为 147.3 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}\cdot$

$(10\text{ a})^{-1}$;下降趋势最小的站点是宁阳,仅 $44.6\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}\cdot(10\text{ a})^{-1}$,石岛次之,为 $45.4\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}\cdot(10\text{ a})^{-1}$ 。

图 2b 给出了山东省年均降温度日数长期变化趋势及其显著性特征。所有站点中仅有 18 个站点通过了 $\alpha=0.10$ 以上的显著性水平检验,其他大部分站点降温度日数都不存在明显的长期变化趋势,这对应于山东夏季升温总趋势不显著(于群等,

2007)。降温度日数呈现显著变化趋势的站点均呈现上升趋势,在 $4.5\sim 17.3\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}\cdot(10\text{ a})^{-1}$ 之间,主要出现在鲁中山区北部、鲁西南、胶莱平原、半岛北部沿海。上升趋势最大的站点是淄博,为 $17.3\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}\cdot(10\text{ a})^{-1}$,其次是垦利,为 $13.7\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}\cdot(10\text{ a})^{-1}$;上升趋势最小的站点是威海,仅为 $4.5\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}\cdot(10\text{ a})^{-1}$,其次是胶州,为 $5.0\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}\cdot(10\text{ a})^{-1}$ 。

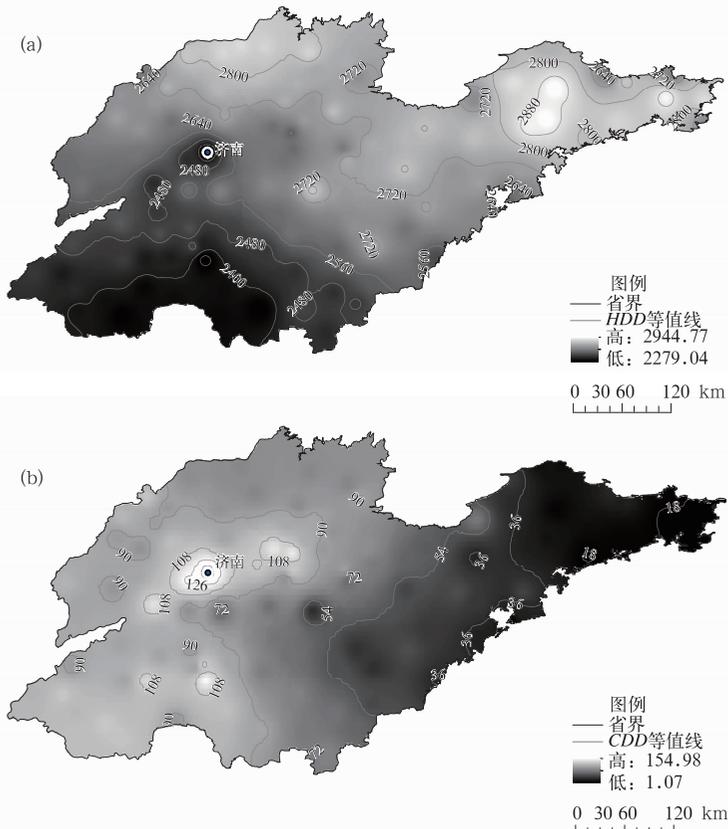


图 1 山东省多年平均采暖度日数(a)和平均降温度日数(b)空间分布(单位: $^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$)

Fig. 1 Spatial distributions of annual average heating degree days (a) and annual average cooling degree days (b) in Shandong Province (unit: $^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$)

2.2.2 年际变化规律

将山东省各站点年均度日数资料逐年求平均并绘制成曲线,得到山东省采暖、降温度日数逐年变化图(图 3)。

山东省采暖度日数多年均值为 $2647\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$,分析其逐年变化图(图 3a)可知其逐年变化趋势是波动递减的,表明冬半年气温逐年波动增加且低温时段波动减少,冬季采暖所需热量波动减少,有利于冬季节能。MK 检验结果显示降低趋势为 $94.6\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}\cdot(10\text{ a})^{-1}$,通过 $\alpha=0.05$ 的显著性水平检验,降低趋势显著。1988 年及之前大部分年份高于多年均

值,之后大部分年份低于多年均值。这与冷冬暖冬研究结果(于群等,2007)一致,暖冬年主要出现在 20 世纪 90 年代,冷冬集中发生在 60、70 年代和 80 年代中期以前,1987 年以后没有出现冷冬。从 5 年滑动平均曲线上看,1965 年起采暖度日数快速上升,1969 年达到最高,1970—1986 年在均值以上先小幅度波动下降后缓慢波动上升,1986 年起持续波动下降,2006 年达最低。1969 年最高达 $3109\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$,其次 1967 年较高达 $2914\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$;2007 年最低为 $2320\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$,其次 2004 年较低为 $2340\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 。

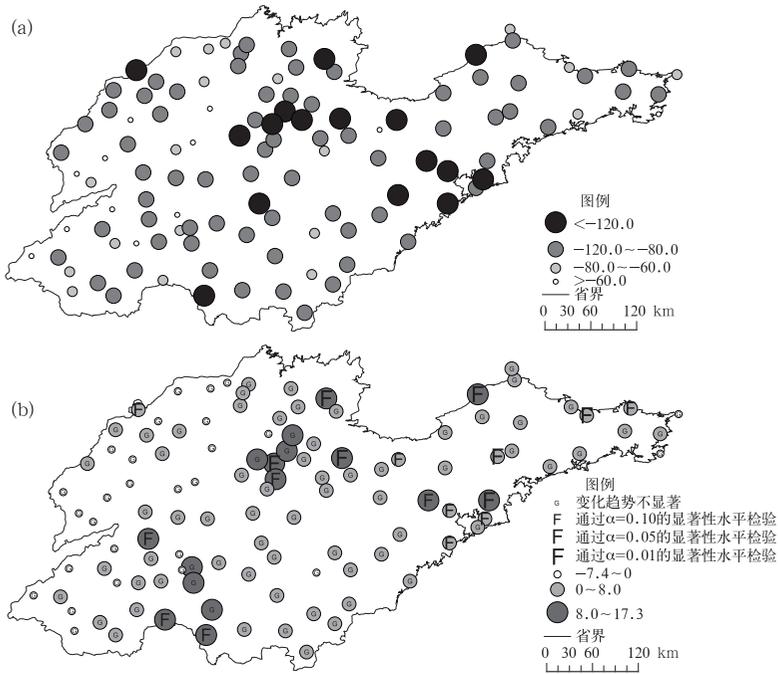


图 2 山东省多年平均采暖度日数(a)和平均降温度日数(b)长期变化趋势[单位: $^{\circ}\text{C} \cdot \text{d} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$]

Fig. 2 Long trends of annual average heating degree days (a) and annual average cooling degree days (b) in Shandong Province [unit: $^{\circ}\text{C} \cdot \text{d} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$]

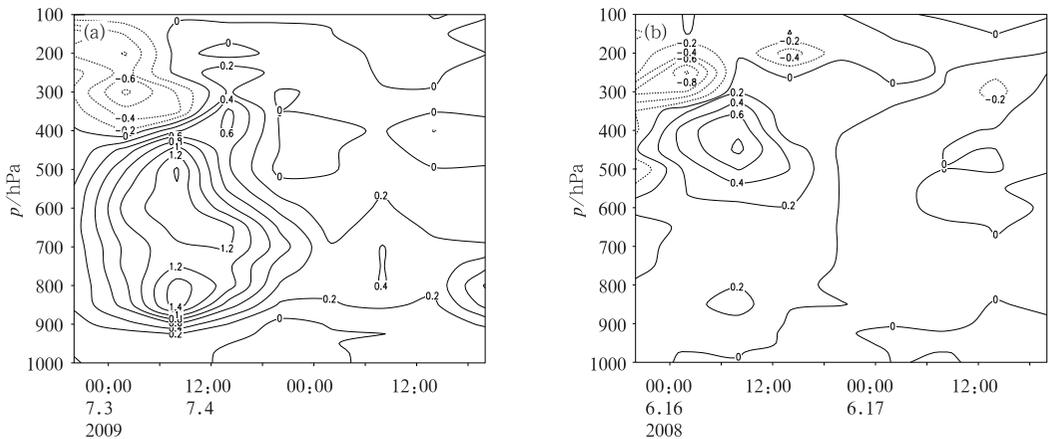


图 3 山东省采暖度日数(a)和降温度日数(b)逐年变化

Fig. 3 Variations of annual average heating (a) and cooling (b) degree days in Shandong Province

山东省降温度日数逐年变化见图 3b, 其多年均值为 $73 \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$ 。MK 趋势检验显示, 降温度日数不存在显著的长期变化趋势但存在阶段性的波动变化, 表明夏季升温长期趋势并不显著, 而就阶段性变化来看, 20 世纪 90 年代以来存在弱的上升趋势, 表明这段时间以来夏季空制冷能源需求略有增加。从 5 年滑动平均曲线看出, 降温度日数的变化与夏季气温(于群等, 2007)表现出相似的位相, 1967 年前后表现为一个相对高值, 之后快速降至均值以下, 1970—1992 年间始终在 $60 \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$ 附近波动, 20 世

纪 90 年代后期达到高值, 21 世纪初又降回至均值水平。1997 年最高达 $143 \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$, 其次 1967 年较高达 $137 \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$; 1993 年最低为 $26 \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$, 其次 1980 年较低为 $32 \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$ 。

2.3 济南热岛效应

由山东省多年平均采暖和降温度日数的空间分布(图 1)可知, 等值线最密集的区域位于同一地点, 即济南。从采暖度日数分布看, 济南比同一纬度区域低 $240 \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$ 以上; 从降温度日数分布看, 济南比

相似海陆位置区域高出 $54\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 以上。这些特征可能是济南城市热岛效应的一种表征。考虑到 2001 年以前长清一直作为济南的郊区县,直到 2001 年才划归为济南的一个区,选择长清作为济南的郊区参考站,以济南为例对比研究城市与郊区采暖、降温度日数的逐年变化规律。济南与长清采暖、降温

度日数逐年变化曲线(图 4)表明济南市区与郊区采暖、降温度日数长期变化规律都与全省规律表现相似,同时,整个时段中郊区采暖度日数始终高于城市,降温度日数除 1997 和 2010 年郊区略高于城市外,其他年份都是城市高于郊区。

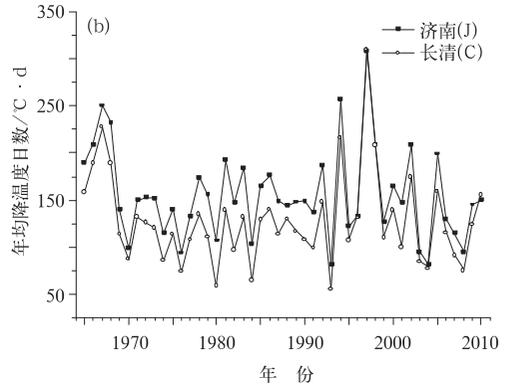
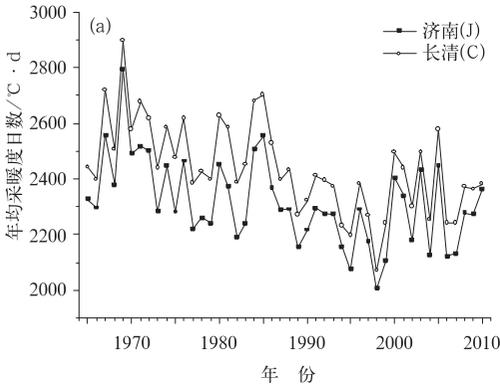


图 4 济南与长清采暖度日数(a)和降温度日数(b)的逐年变化曲线
Fig. 4 Variation curves of annual average heating (a) and cooling (b) degree days in Jinan (J) and Changqing (C)

分析济南城市和郊区采暖度日数差值的时间序列和 5 年滑动平均序列(图 5),发现城市和郊区采暖度日数差值从 20 世纪 70 年代波动增加,80 年代初达到最大(1983 年为 $212\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$),之后快速波动变小,1990—2009 年间在 $100\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 附近先缓降又缓升,2010 年突降至最低值 $18\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 。降温度日数差值变化趋势与采暖度日数基本相似,都是在 20 世纪 70 年代末至 80 年代初达到高值阶段;但长期趋势不十分显著,整体变化幅度小很多,90 年代后期低值阶段更加显著。降温度日数差值 1981 年最大为 $53\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$,2010 年最小为 $-5\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 。采暖和降

温度日数城郊差值都在 20 世纪 70 年代末至 80 年代初达到高值阶段,近年最小,差值增大可能标志热岛效应增强,差值总体趋势的下降甚至为负可能说明极端高温或城市发展使得城郊温差减小。

3 结论与讨论

通过对山东省采暖和降温度日数的时空特征分析,得出以下结论。

(1)山东省采暖度日数空间分布具有纬向分布和地形影响特征,多年均值在 $2279\sim 2945\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 之间,最高值区域分布在胶东半岛和鲁西北地区;降温度日数空间分布除受地形影响外,还具有海陆分布特征,多年平均值分布在 $1\sim 155\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 之间,最高值区域为济南及其周边地区。

(2)山东省采暖度日数长期变化呈现显著下降趋势,在 $44.6\sim 162.3\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}\cdot(10\text{ a})^{-1}$ 之间;降温度日数长期变化趋势大部分站点不显著,仅 18 个站点有上升趋势,在 $4.5\sim 17.3\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}\cdot(10\text{ a})^{-1}$ 之间。山东省采暖度日数多年均值为 $2647\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$,逐年变化趋势为显著波动递减,在 $2320\sim 3109\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 之间变化;降温度日数多年均值为 $73\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$,不存在显著的长期变化趋势,但存在阶段性的波动变化,年均值变化幅度在 $26\sim 143\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 之间。

(3)选择长清作为济南郊区参考站,整个时段中郊区采暖度日数始终高于城市,降温度日数大部分

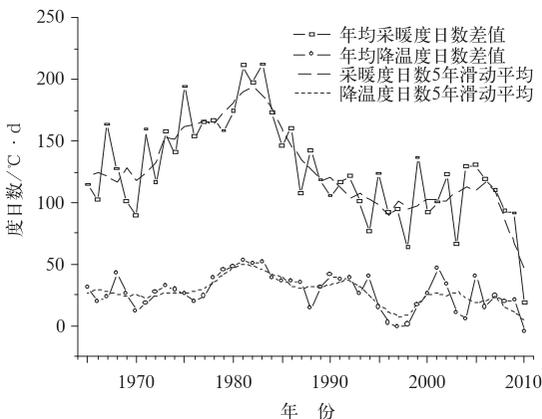


图 5 济南与长清年均采暖度日数和降温度日数差值变化序列

Fig. 5 Variation of difference value of annual average heating and cooling degree days between Jinan and Changqing

年份都是城市高于郊区。采暖和降温度日数城郊差值都在 20 世纪 70 年代末至 80 年代初达到高值阶段,近年最小,差值增大可能标志热岛效应增强,差值总体趋势的下降甚至为负可能说明极端高温或城市发展使得城郊温差减小。

本文采用日平均气温数据获得了关于山东省采暖和降温度日数分布特征与变化趋势的基本认识,而对于采暖和降温度日数的变化趋势成因及其预测,还需要结合气候变化的大背景来进行深入探讨。同时,气候与能源的紧密联系也体现于气候研究为科学合理节能提供理论依据,气象节能潜力评估将成为进一步研究的重点。

致谢:感谢何三宁老师在英文摘要翻译过程给予的有益指导。

参考文献

- 曹洁萍,迟道才,武立强,等. 2008. Mann-Kendall 检验方法在降水趋势分析中的应用研究. 农业科技与装备, (5): 35-40.
- 郝成全,孙周军. 2010. 近 57 年广东地区度日分布及变化特征分析. 热带气象学报, 26(2): 223-226.
- 姜逢清,胡汝骥,李珍. 2007. 新疆主要城市的采暖与制冷度日数(II)——近 45 年来的变化趋势. 干旱区地理, 30(5): 629-636.
- 李怀瑾,龙斯玉. 1987. 度日计算方法及其分布特征. 暖通空调, (1): 4-10.
- 李丽光,万志红,万志强,等. 2009. 阜新地区热度日和冷度日变化特征分析. 辽宁工程技术大学学报(自然科学版), 28(6): 1010-1012.
- 李丽光,王宏博,赵先丽,等. 2010. 辽宁中部城市群度日的变化特征. 气象科学, 30(3): 387-392.
- 李艳兰,何如,杜尧东,等. 2011. 华南区域降温度日和采暖度日的时空变化特征. 热带地理, 31(1): 14-20.
- 李永安,常静,戎卫国,等. 2006. 山东省采暖空调度日数及其分布特征. 可再生能源, 24(2): 13-15.
- 刘亚龙,王庆,毕景芝,等. 2010. 基于 Mann-Kendall 方法的胶东半岛海岸带归一化植被指数趋势分析. 海洋学报(中文版), 32(3): 79-87.
- 龙斯玉,李怀瑾. 1985. 中国度日分布特征. 南京大学学报(自然科学版), (4): 719-734.
- 鹿翠华,张美玲,叶爱华,等. 2008. 枣庄地区热度日和冷度日的变化特征. 山东气象, 28(4): 17-26.
- 任永建,刘敏,陈正洪,等. 2010. 华中区域取暖、降温度日的年代际及空间变化特征. 气候变化研究进展, 6(6): 424-428.
- 谭方颖,王建林,宋迎波. 2010. 华北平原近 45 年气候变化特征分析. 气象, 36(5): 40-45.
- 谢庄,苏德斌,虞海燕,等. 2007. 北京地区热度日和冷度日的变化特征. 应用气象学报, 18(2): 232-236.
- 徐梅,祝青林,王丽娜,等. 2009. 京津地区酸雨变化特征及趋势分析. 气象, 35(11): 78-83.
- 徐宗学,张玲,阮本清. 2006. 北京地区降水量时空分布规律分析. 干旱区地理, 29(2): 187-192.
- 杨绪超,顾骏强,陈葆德. 2011. 近 49 年中国夏季制冷度日数的变化. 长江流域资源与环境, 20(1): 53-60.
- 于群. 2004. 山东省冬夏季气温变化的气候特征及其年际变化分析. 中国海洋大学, 4-12.
- 于群,王新,牟勤,等. 2007. 山东冬季气温变化的气候特征和分型. 山东农业大学学报(自然科学版), 38(1): 21-27.
- 袁顺全,干怀遂. 2004. 气候对能源消费影响的测度指标及计算方法. 资源科学, 26(6): 125-130.
- 张海东,张昕璇,孙照渤,等. 2010. 中国近 50 a 来度日变化的研究. 大气科学学报, 33(5): 593-599.
- 张天宇,程炳岩,唐红玉. 2009. 重庆热度日和冷度日的变化特征. 大气科学研究与应用, (1): 63-72.
- 张昕璇,张海东,刘寿东. 2008. 温度变化对城市冬夏季取暖和降温能耗的影响. 气象, 34(T1): 289-299.
- 中华人民共和国建设部. 2003. GB50019—2003 采暖通风与空气调节设计规范. 北京: 中国计划出版社.
- 中华人民共和国住房和城乡建设部. 2010a. JGJ134—2010 夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准. 北京: 中国建筑工业出版社.
- 中华人民共和国住房和城乡建设部. 2010b. JGJ26—2010 严寒和寒冷地区居住建筑节能设计标准. 北京: 中国建筑工业出版社.
- van Asseldonk. 2003. Insurance against weather risk: Use of heating degree-days from non-local stations for weather derivatives. Theoretical and Applied Climatology, 74(1-2): 137-144.
- Beenstock M, Goldin E, Nabot D. 1999. The demand forelectricity in Israel. Energy Econ, 21(2): 168-183.
- Jiang F Q, Li X M, Wei B G, et al. 2009. Observed trends of heating and cooling degree-days in Xinjiang Province, China. Theor Appl Climatol, 97(3-4): 349-360.
- Kadioglu M, Sen Z, Gültekin L. 2001. Variations and trends in turkish seasonal heating and cooling degree-days. Climatic Change, 49(1-2): 209-223.
- Memon R A, Leung D Y C, Liu C H, et al. 2011. Urban heat island and its effect on the cooling and heating demands in urban and suburban areas of Hong Kong. Theor Appl Climatol, 103(3-4): 441-450.
- Rehman S, Al-Hadhrami L M, Khan S. 2011. Annual and seasonal trends of cooling, heating and industrial degree-days in coastal regions of Saudi Arabia. Theor Appl Climatol, 104(3-4): 479-488.
- Sailor D J, Muñoz J R. 1997. Sensitivity of electricity and natural gas consumption to climate in the USA—methodology and results for eight states. Energy, 22(10): 987-998.
- Thom H C. 1952. Seasonal degree day statistics for the United States. Mon Wea Rev, 80(2): 143-149.
- Thom H C. 1954. The relationship between heating degree-days and temperature. Mon Wea Rev, 82(1): 1-6.
- Thom H C. 1966. Normal degree-days above any base by the universal truncation coefficient. Mon Wea Rev, 94(7): 461-465.
- Valor E, Meneu V, Caselles V. 2001. Daily air temperature and electricity load in Spain. Ame Meteo Soc, 40(8): 1413-1421.
- Zapranis A, Alexandridis A. 2011. Modeling and forecasting cumulative average temperature and heating degree day indices for weather derivative pricing. Neural Comput & Applic, 20(6): 787-801.