

刘伟东, 尤焕苓, 孙丹. 2016. 1961~2010 年京津冀及其周边区域温度日较差变化特征 [J]. 气候与环境研究, 21 (2): 167-174. Liu Weidong, You Huanling, Sun Dan. 2016. Diurnal temperature range characteristics in Beijing-Tianjin-Hebei and its surrounding area during 1961-2010 [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 21 (2): 167-174, doi: 10.3878/j.issn.1006-9585.2015.15117.

1961~2010 年京津冀及其周边区域温度日较差变化特征

刘伟东¹ 尤焕苓² 孙丹¹

1 中国气象局北京城市气象研究所, 北京 100089

2 北京市气象服务中心, 北京 100089

摘要 通过对 1961~2010 年北京—天津—河北及其周边区域均一化处理的 194 个站点的气温分析, 得到了该区域近 50 年的年平均和季节平均温度日较差的时空变化特征。结果表明: 区域内北部及西部的高原与山区的年平均日较差较大, 中部和东部的平原、沿海、大城市与孤立的山区的年平均日较差较小, 各个季节的季节平均日较差具有类似特征, 在春季、秋季、冬季和夏季依次减弱。区域年平均日较差近 50 年下降趋势为 $0.21\text{ }^{\circ}\text{C}\text{ (10 a)}^{-1}$, 在平原及南部区域下降趋势最明显, 季节平均日较差在大部分地区呈明显下降趋势, 下降趋势由大到小依次为冬季、春季、夏季和秋季。

关键词 北京—天津—河北地区 日较差 区域气候 气候变化

文章编号 1006-9585 (2016) 02-0167-08

中图分类号 P467

文献标识码 A

doi:10.3878/j.issn.1006-9585.2015.15117

Diurnal Temperature Range Characteristics in Beijing-Tianjin-Hebei and Its Surrounding Area during 1961-2010

LIU Weidong¹, YOU Huanling², and SUN Dan¹

1 Institute of Urban Meteorology, China Meteorological Administration, Beijing 100089

2 Beijing Municipal Meteorological Service Center, Beijing 100089

Abstract Based on a daily homogenized surface temperature dataset of 194 meteorological stations in Beijing-Tianjin-Hebei and its surrounding area, the seasonal and annual diurnal temperature range (DTR) characteristics are evaluated. The averaged DTR from 1961 to 2010 in the western and northern plateau and mountainous area of this region is larger, whereas it is smaller in the middle, southern and eastern plain, and urban and coastal areas. Above all, in the isolated mountainous area, the DTR is at a minimum. The seasonal DTR distribution is similar to the multi-year averaged DTR distribution. The seasonally averaged DTR values in the spring, autumn, winter, and summer are successively weaker. The DTR from 1961 to 2010 in this region generally shows a decreasing trend, at $0.21\text{ }^{\circ}\text{C}\text{ (10 a)}^{-1}$. Most of the stations show a downward trend, and the decreasing trend is obvious in the plain and southern area. The DTR decreasing trends, from large to small, are winter, spring, summer, and autumn, successively.

Keywords Beijing-Tianjin-Hebei, Diurnal temperature range, Regional climate, Climate change

收稿日期 2015-05-12; 网络预出版日期 2015-11-03

作者简介 刘伟东, 男, 1973 年出生, 博士, 副研究员, 研究方向为城市气候、城市遥感等。E-mail: wdliu@ium.cn

资助项目 中国科学院战略性先导科技专项 XDA05090202, 国家自然科学基金项目 40975066

Funded by Chinese Academy of Sciences Strategic Priority Program (Grant XDA05090202), National Natural Science Foundation of China (Grant 40975066)

1 引言

北京—天津—河北（京津冀）区域作为我国城市化最为快速和经济高速发展的区域之一，其气候变化问题倍受关注。气温日较差(Diurnal Temperature Range, DTR)是衡量气候变化的重要指标之一，与最高、最低气温都有密切关系，研究 DTR 比单独研究平均气温可为气候变化研究提供更多信息，反映区域性的温度变化幅度，对生态环境建设、适应气候变化等具有重要意义 (Braganza et al., 2004; Lauritsen and Rogers, 2012)。最早 Karl et al. (1984) 对美国 and 加拿大 1941~1980 年的非城市站点 DTR 进行了分析，发现 DTR 有下降趋势，下降趋势最显著的季节是夏季和早秋，不同地区 DTR 变化趋势也不相同。随后，对于全球以及区域 DTR 变化的研究也证实了这一现象 (Karl et al., 1993; Easterling et al., 1997; Dai et al., 1999; Makowski et al., 2008; Jackson and Forster, 2010; Jhajharia and Singh, 2011; Lauritsen and Rogers, 2012)。严中伟和章名立 (1992) 分析了我国不同地区近 100 年和近 40 年的 DTR，发现我国东北部呈 DTR 减小，南方 DTR 呈增大现象。唐红玉等 (2005) 分析了我国 1951~2002 年的 DTR，发现 52 年间 DTR 以 $0.17\text{ }^{\circ}\text{C} (10\text{ a})^{-1}$ 的速率呈下降趋势。陈铁喜和陈星 (2007) 对我国 DTR 的空间分布和时间序列变化特征进行了分析，发现近 50 年 DTR 呈下降趋势，其平均减小幅度为高纬度地区大于低纬度地区，不同地区及同一地区的 DTR 季节变化特征也不相同，北方多为冬季 DTR 下降趋势最强，其次是春季和秋季，夏季最弱。周杰等 (2013) 分析了华北地区气温资料，发现四季 DTR 在 1961~2010 年间均呈现下降趋势，其中冬季最明显，夏季次之，秋季最不明显。影响 DTR 的因素很多，曾昭美和严中伟 (1999) 分析了我国云和日照资料与温度、DTR 等要素的关系，发现云和日照均与 DTR 有较好的线性相关关系，这种关系在我国东南部更为突出。Karl et al. (1993) 研究发现在 DTR 下降的地区低云云量有所增加。Easterling et al. (1997) 也认为云覆盖增加和降水造成的表面蒸发制冷、温室气体以及对流层气溶胶等是造成 DTR 下降的部分原因。Dai et al. (1999) 认为局地效应的城市发展、灌溉、沙漠化以及当地的土地利用情况都可能影响到 DTR 的变化，

尤其是城市地区的 DTR 变化常常比周边农村小。Feddemma et al. (2005) 进一步研究发现，DTR 变化最直接的原因在于日最高和最低气温的变化不对称，土地利用/土地覆盖变化 (Land-Use and land-Cover Change, LUCC)、云量、土壤湿度、降水、相对湿度等都会对日最高和最低气温的变化产生影响。同时，国内还有许多学者分析了 DTR 的变化和成因 (华丽娟等, 2006; 周雅清和任国玉, 2009; 汪凯等, 2010; 吴凌云等, 2011; 华文剑和陈海山, 2013; 刘伟东等, 2013)。

京津冀及周边区域发展对生态环境具有重要影响，目前有关京津冀区域的 DTR 变化研究还较少。本研究通过分析京津冀及周边区域经过均一化处理的气温资料，分析该区域 DTR 的时空变化特征，以便趋利避害，为做好本区域的气象服务提供参考。

2 资料与方法

2.1 资料

研究区域 ($36^{\circ}\text{N}\sim 42.7^{\circ}\text{N}$, $113.2^{\circ}\text{E}\sim 120^{\circ}\text{E}$) 包括了京津冀及其周边区域 194 个国家气象观测站 (如图 1 所示)。该区域地处中纬度沿海与内陆交界地带，地势西北高、东南低，从西北向东南呈半环状逐级下降。高原、山地、丘陵、盆地、平原类型齐全，从西北向东南依次为坝上高原、燕山和太行山地、平原三大地貌单元。数据采用国家气象信息中心发布的“中国国家级地面气象站均一化气温月值数据集”，该数据集采用近年来国内外应

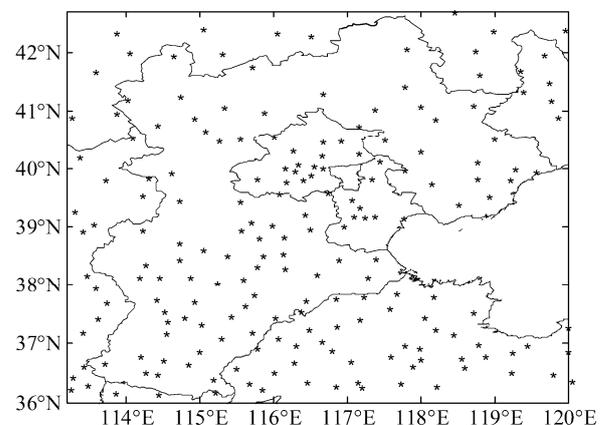


图1 研究区域及气象站点分布

Fig. 1 Study region and locations of normal meteorological stations in Beijing-Tianjin-Hebei (BTH) and its surrounding area

用较为广泛的 RHtest 均一性检验方法订正, 具有较好的数据完整性和数据质量。

2.2 方法

DTR 是指日最高温度与日最低温度之差, 年平均 DTR 为日 DTR 的年平均值, 季节平均 DTR 为相应季节的日 DTR 的平均值。本文分别分析春季、夏季、秋季和冬季的 DTR 变化, 文中春季是指 3~5 月, 夏季是指 6~8 月, 秋季是指 9~11 月, 冬季是指 12 月至次年 2 月。DTR 变化趋势利用线性倾向估计方法计算, 以倾向值表示变化程度, 单位为 $^{\circ}\text{C} (10 \text{ a})^{-1}$ 。线性倾向计算方法如下: 用 y_i 表示样本量为 n 的气候变量, 用 x_i 表示 y_i 所对应的时间, 则自变量 x_i 和因变量 y_i 之间可建立一个线性回归方程, 其表现形式为

$$\hat{y}_i = a + bx_i, \quad (1)$$

其中, x_i 是自变量, \hat{y}_i 是因变量的 y_i 的估计值, 又称理论值。实际观测值 y_i 和理论值 \hat{y}_i 的关系为

$$y_i = \hat{y}_i a + \varepsilon_i, \quad (2)$$

其中 ε_i 为离差。 a 为回归常数, b 为回归系数, 通常又称为趋势系数或倾向值。可通过最小二乘法对 a 和 b 进行计算。统计学上把 y 与 x 的直线相关的程度称为 x 与 y 的相关系数, 记为 R , 即

$$R = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2}{\sum_{i=1}^n y_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2}}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n y_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2}}. \quad (3)$$

可通过对相关系数的检验判断变化趋势是否显著。

3 结果与分析

3.1 年平均 DTR 空间分布

京津冀及其周边区域年平均 DTR 主要集中在 $9 \sim 15^{\circ}\text{C}$ 范围 (图 2), 在北部和西部山区以及高原较大, 最大为山西浑源的 15.17°C [$(39^{\circ}43'\text{N}, 113^{\circ}41'\text{E})$, 海拔 1093.0 m], 北京 DTR 最大为平谷的 12.88°C [$(40^{\circ}10'\text{N}, 117^{\circ}07'\text{E})$, 海拔 32.1 m], 天津 DTR 最大为宝坻的 11.70°C [$(39^{\circ}44'\text{N}, 117^{\circ}17'\text{E})$, 海拔 5.1 m], 河北 DTR 最大为赤城的 14.55°C [$(40^{\circ}53'\text{N}, 115^{\circ}50'\text{E})$, 海拔 867.6 m]。年平均 DTR 在中部和东部的平原、沿海地区和大城市区域以及相对孤立的山区相对较小, DTR 最小为山东泰山的 6.41°C [$(36^{\circ}15'\text{N}, 117^{\circ}06'\text{E})$, 海拔 1533.7 m], 北京 DTR 最小为通州站的 9.73°C

[$(39^{\circ}55'\text{N}, 116^{\circ}38'\text{E})$, 海拔 43.3 m], 天津 DTR 最小为塘沽的 7.54°C [$(39^{\circ}03'\text{N}, 117^{\circ}43'\text{E})$, 海拔 4.8 m], 河北 DTR 最小为唐海的 9.25°C [$(39^{\circ}17'\text{N}, 118^{\circ}28'\text{E})$, 海拔 3.2 m]。山区与平原交界处 DTR 梯度较大, DTR 总体上呈由西北到东南逐渐减小趋势。对于大尺度地形, DTR 与高度成正比, 海拔越高, DTR 越大 (如北部、西部较大)。对于中小尺度地形, 山顶山脊 DTR 较小 (如泰山站), 而河谷盆地 DTR 较大。在大尺度地形条件下, 由于海拔高、空气密度小, 受大气热力状况的影响, 白天大气对太阳辐射的削弱作用低, 晚上大气对地面辐射的保温作用差, 因此白天升温快、夜晚降温快, DTR 较大。在中小尺度地形条件下, 山地受周围大气影响, 空气利于与周围大气进行交换, 山地 DTR 小于附近平原 DTR。同时, LUCC 变化也使观测得到的 DTR 存在差异, 如农田、林地、乡村的 DTR 比城市的 DTR 要大。而伴随城市化过程, 大气气溶胶浓度和人为释放热增加, 也会对辐射产生重要的影响, 导致城市的夜间气温较高, DTR 较小。

3.2 季节平均 DTR 空间分布

季节平均 DTR 空间分布 (图 3) 与年平均 DTR (图 2) 分布相似, 大值区主要出现于西部和北部高原和山区, 而在平原、大城市及其沿海地区相对较小。总体而言, 春季 DTR 最大, 夏季 DTR 最小, 其次为秋季和冬季, 春、夏、秋、冬季的 DTR 分别

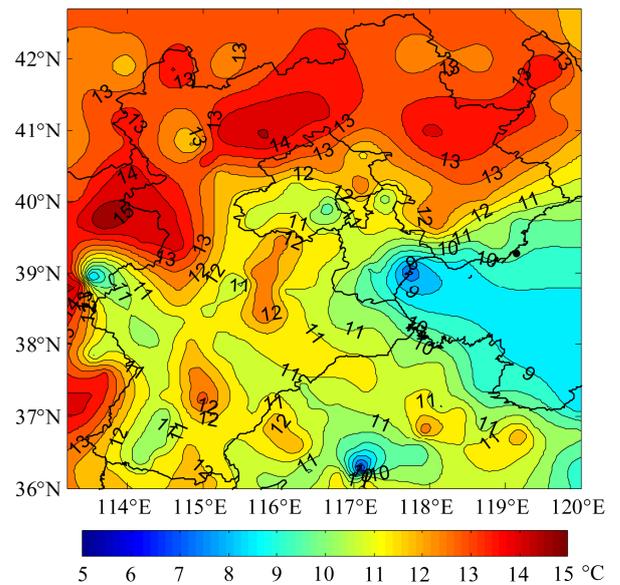


图 2 1961~2010 年京津冀及周边区域年平均 DTR 空间分布
Fig. 2 Distribution of Diurnal Temperature Range (DTR) during 1961-2010 in BTH and its surrounding area

为 12.97、10.66、11.87、11.54 °C。冬季 DTR 最大为山西浑源的 16.02 °C, 最小为山东泰山的 6.48 °C, 春季最大为河北赤城 16.07 °C, 最小为山东泰山 7.24 °C; 夏季最大为山西浑源的 13.81 °C, 最小为山东泰山 5.71 °C; 秋季最大为山西浑源 15.02 °C, 最小为山东泰山 6.21 °C。各季节平均 DTR 的差异主要体现在两方面: 一是各季节平均 DTR 较大区域均位于中小尺度地形下的山区, DTR 较小区域则位于海拔较低的沿海城市, 春季 DTR 不同站点最大相差 7.29 °C, 夏季相差 6.67 °C, 秋季相差 7.58 °C, 冬季相差 8.02 °C, 冬季区域内站点 DTR 的差异最大, 夏季差异最小; 二是各季节平均 DTR 分布的梯度不一样, 冬季梯度最大, 春季、秋季次之, 夏季较小。DTR 分布特征与地形条件及海陆

分布有关, 远离(靠近)海洋的地区 DTR 较大(小)。这主要是因为海水热容量大, 升温和降温都比较慢, 导致沿海地区 DTR 较小, 而内陆地区陆地热容量较小, 升温和降温都较快, 内陆的 DTR 较大。

3.3 年平均 DTR 空间变化趋势

该区域年平均 DTR 在不同站点呈不同变化趋势, 总体呈速率为 $0.21\text{ }^{\circ}\text{C}\text{ (10 a)}^{-1}$ 的下降趋势(图 4), 与唐红玉等(2005)对 1951~2002 年全国 DTR 变化得到的日较差以 $0.17\text{ }^{\circ}\text{C}\text{ (10 a)}^{-1}$ 的速率呈下降趋势结论基本一致。总体看来, 在平原以及南部区域下降趋势最明显, 但也存在一些站点 DTR 变化呈上升趋势。下降趋势最大的为山东淄博的 $-0.77\text{ }^{\circ}\text{C}\text{ (10 a)}^{-1}$ [$36^{\circ}49'\text{N}$, $117^{\circ}56'\text{E}$], 34.4 m],

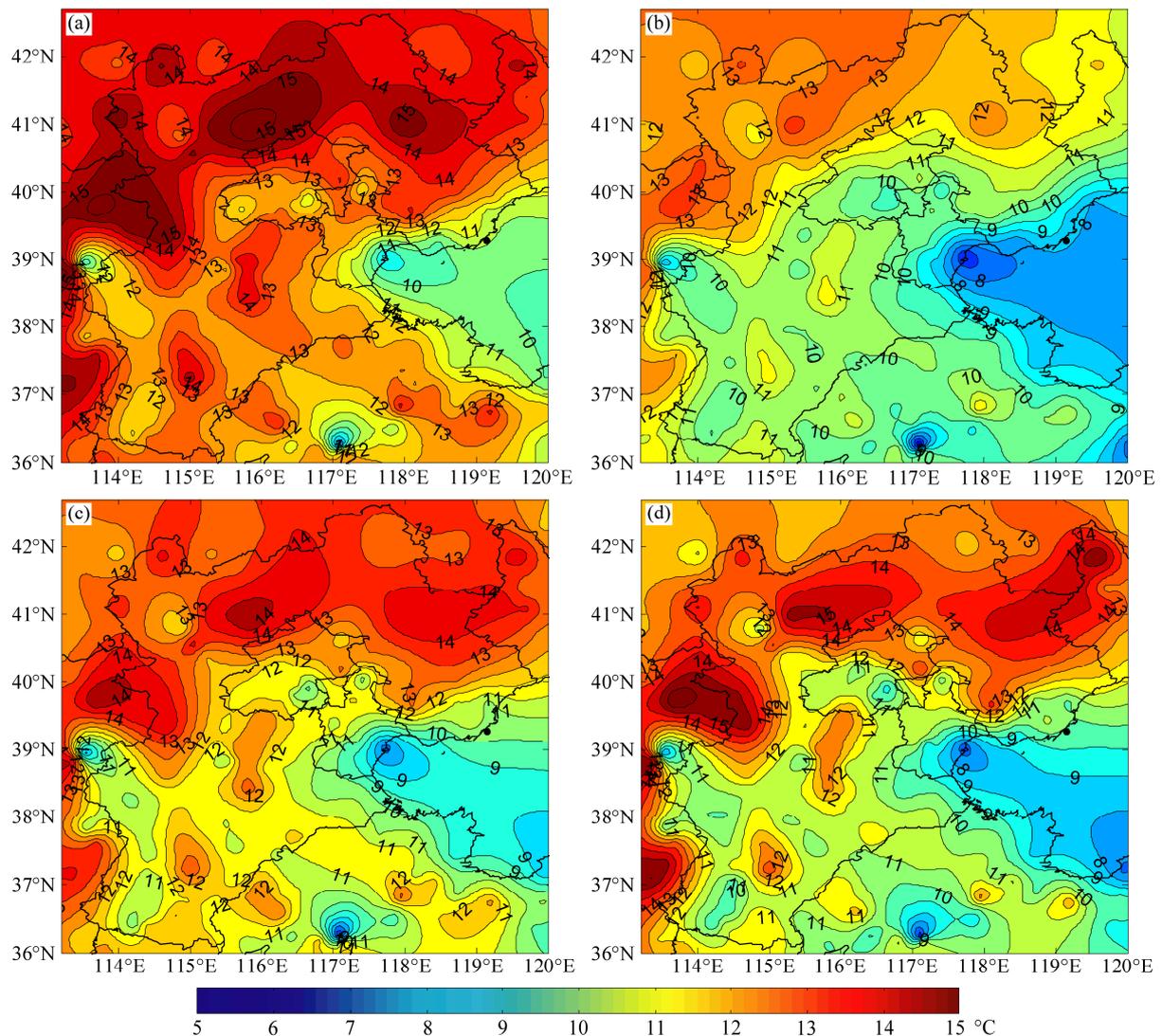


图 3 1961~2010 年 (a) 春季、(b) 夏季、(c) 秋季和 (d) 冬季 DTR 分布

Fig. 3 Distributions of DTR in (a) spring, (b) summer, (c) autumn, and (d) winter during 1961–2010 in BTH and its surrounding area

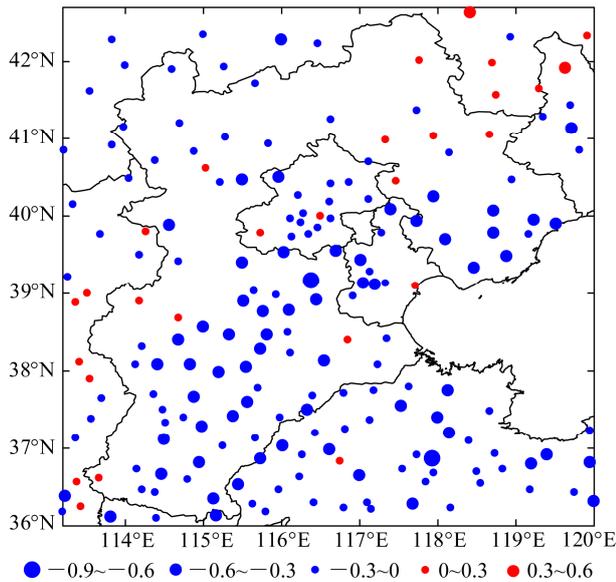


图4 1961~2010 年京津冀及周边区域 DTR 变化趋势[单位: $^{\circ}\text{C} (10\text{ a})^{-1}$]分布
Fig. 4 Trend [$^{\circ}\text{C} (10\text{ a})^{-1}$] distributions of DTR during 1961-2010 in BTH and its surrounding area

北京下降趋势最大的为延庆的 $-0.36\text{ }^{\circ}\text{C} (10\text{ a})^{-1}$ [$(40^{\circ}27'\text{N}, 115^{\circ}58'\text{E})$, 487.9 m], 天津下降趋势最大的为天津城市气候监测站的 $-0.46\text{ }^{\circ}\text{C} (10\text{ a})^{-1}$ [$(39^{\circ}04'\text{N}, 117^{\circ}12'\text{E})$, 2.2 m], 河北下降趋势最大的为河北霸州的 $-0.61\text{ }^{\circ}\text{C} (10\text{ a})^{-1}$ [$(39^{\circ}07'\text{N}, 116^{\circ}23'\text{E})$, 9 m]。整个区域内上升趋势最大的为内蒙古岗子 $0.39\text{ }^{\circ}\text{C} (10\text{ a})^{-1}$ [$(42^{\circ}35'\text{N}, 118^{\circ}25'\text{E})$, 960 m], 北京上升趋势最明显的是霞云岭站的 $0.28\text{ }^{\circ}\text{C} (10\text{ a})^{-1}$ [$(39^{\circ}44'\text{N}, 115^{\circ}44'\text{E})$, 407.7 m], 天津上升趋势最明显的为塘沽的 $0.1\text{ }^{\circ}\text{C} (10\text{ a})^{-1}$, 河北上升趋势最明显的为滦平 $0.31\text{ }^{\circ}\text{C} (10\text{ a})^{-1}$ [$(40^{\circ}56'\text{N}, 117^{\circ}20'\text{E})$, 529 m]。许多自然因素, 如太阳辐射、云、降水、水汽含量等的变化都会对最高、最低气温的变化产生影响, 而城市化的发展, 下垫面的改变和大气污染物的排放也会使得最高、最低气温的变化出现差异, 因此, 京津冀及其周边区域的年平均 DTR 变化趋势空间分布成因也较为复杂。

3.4 季节平均 DTR 空间变化趋势

该区域春季、夏季、秋季、冬季大部分站点 DTR 呈明显下降趋势 (图 5), 冬季最明显, 其次为春季、夏季、秋季。秋季大部分站点呈下降趋势, 但下降趋势不明显, 且有较多站点呈上升趋势。冬季除个别站点呈上升趋势外, 其余站点均呈明显下降趋势。春季、夏季 DTR 变化趋势与冬季类似。各季节呈上升与下降站点的分布也有一定的规律

性, 如北京的霞云岭, 4 个季节均呈上升趋势, 东北部和西南部部分站点也呈上升趋势。所有季节中山东淄博在整个区域内下降趋势最明显, 春季、夏季、秋季、冬季的下降趋势分别为 -0.82 、 0.53 、 -0.75 、 $-0.98\text{ }^{\circ}\text{C} (10\text{ a})^{-1}$, 春季上升趋势最明显的是北京霞云岭, 为 $0.32\text{ }^{\circ}\text{C} (10\text{ a})^{-1}$ 。夏季、秋季、冬季, 整个区域内上升趋势最明显的是内蒙古的岗子, 分别为 0.32 、 0.53 、 $0.53\text{ }^{\circ}\text{C} (10\text{ a})^{-1}$ 。可见, 不同站点的季节平均 DTR 变化趋势具有较好的一致性。

3.5 年平均和季节平均 DTR 的时间变化趋势

近 60 年, 该区域 DTR 的气候倾向率为 $-0.212\text{ }^{\circ}\text{C} (10\text{ a})^{-1}$ (见图 6), 呈显著下降趋势 (通过 0.001 的显著性检验), 其中 1964 年日较差最小, 波动较大, 为 $10.47\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。从 1965 年开始, 年平均 DTR 在波动中呈下降趋势, 一直持续到 2010 年, 其中 2003 年和 2010 年的 DTR 也较小, 低于 $11\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。四季平均 DTR 下降趋势依次为冬季>春季>夏季>秋季 (图 7)。春季 DTR 气候倾向率为 $-0.270\text{ }^{\circ}\text{C} (10\text{ a})^{-1}$, 1964 年 DTR 最低, 为 $10.69\text{ }^{\circ}\text{C}$, 其次为 2010 年的 $11.13\text{ }^{\circ}\text{C}$, 最高为 1962 年的 $14.92\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。夏季 DTR 也呈下降趋势, 气候倾向率为 $-0.161\text{ }^{\circ}\text{C} (10\text{ a})^{-1}$, 最大值出现在 1968 年, 为 $12.31\text{ }^{\circ}\text{C}$, 最小值出现在 1996 年, 为 $9.43\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。秋季 DTR 整体上呈现下降趋势, 但趋势不明显 (未通过 0.05 的显著性检验), 气候倾向率为 $-0.108\text{ }^{\circ}\text{C} (10\text{ a})^{-1}$, 其中 1964 年和 2003 年波动较大, 1964 年日较差最小, 为 $10.07\text{ }^{\circ}\text{C}$, 1965 年日较差最大, 为 $13.33\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。冬季日较差下降趋势最为明显, 气候倾向率为 $-0.30\text{ }^{\circ}\text{C} (10\text{ a})^{-1}$, 最大值出现在 1970 年, 为 $13.18\text{ }^{\circ}\text{C}$, 最小值出现在 2001 年, 为 $9.67\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。唐红玉等 (2005) 对全国的平均 DTR 趋势进行了分析, 发现 1961~2002 年 DTR 在四个季节的变化下降趋势依次为冬季>春季>夏季>秋季, 分别为 -0.28 、 -0.22 、 -0.17 、 $-0.09\text{ }^{\circ}\text{C} (10\text{ a})^{-1}$, 本文所得结论与上述研究结果基本一致。可以看出京津冀及其周边区域的 DTR 下降趋势较全国更加明显。DTR 与降水有密切关系, 全球降水量的增加是导致全球日较差下降的原因之一, 但降水与日较差之间的关系更多是基于降水与云量以及土壤含水量之间良好的相关性 (Zhou et al., 2009)。如河北省 (涉及本研究区域大部分范围) 1964 年年降水量为有记录以来 (至 2011 年) 的最大值, 降水量达 799.2 mm , 尤其春季降水量较常年明显偏多, 其春季 DTR 和年平均 DTR 均出现剧烈波动。

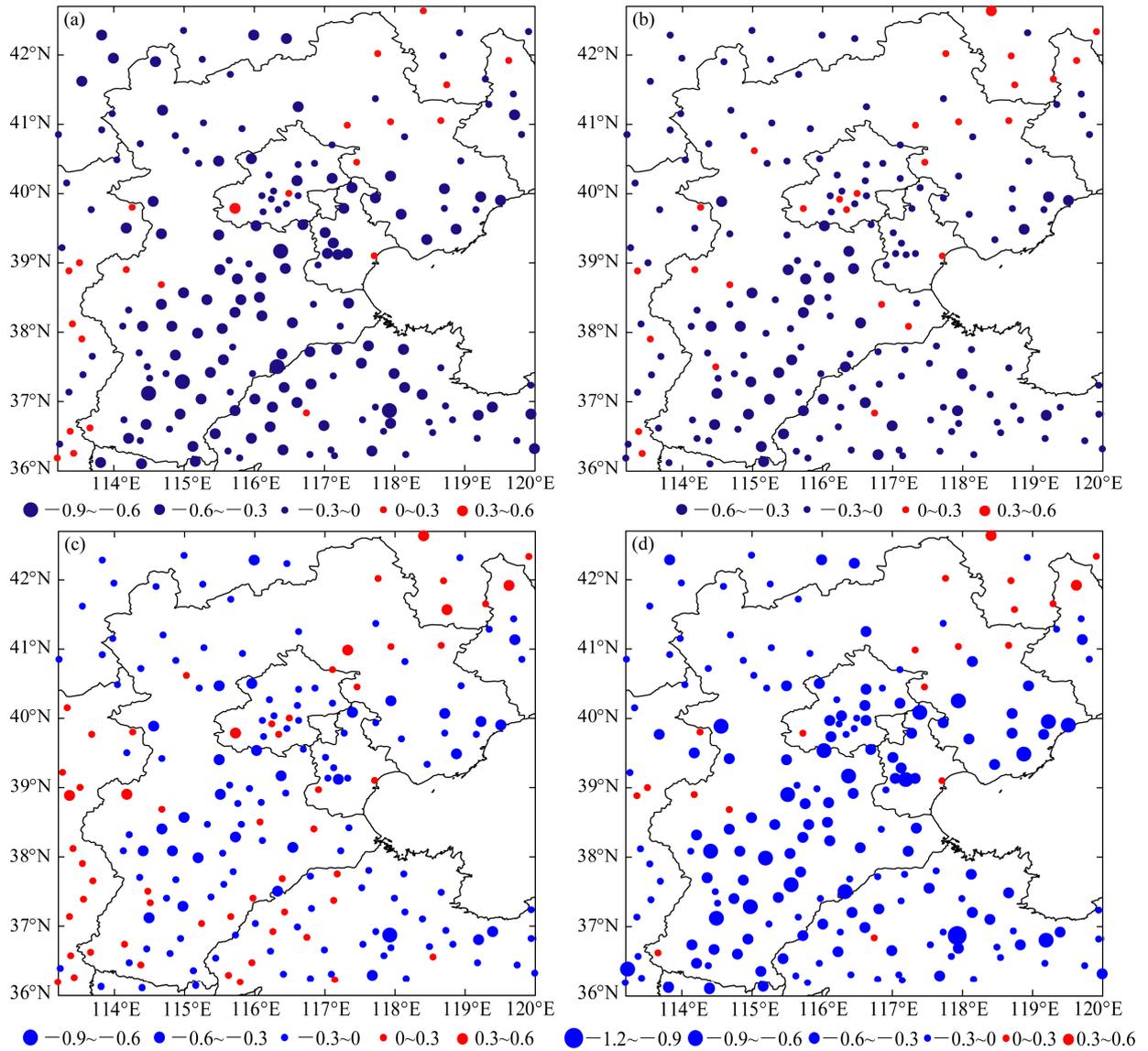


图5 1961~2010年(a)春季、(b)夏季、(c)秋季和(d)冬季DTR变化趋势[单位： $^{\circ}\text{C} (10 \text{ a})^{-1}$]分布

Fig. 5 Trend [$^{\circ}\text{C} (10 \text{ a})^{-1}$] distributions of DTR in (a) spring, (b) summer, (c) autumn, and (d) winter during 1961–2010 in BTH and its surrounding area

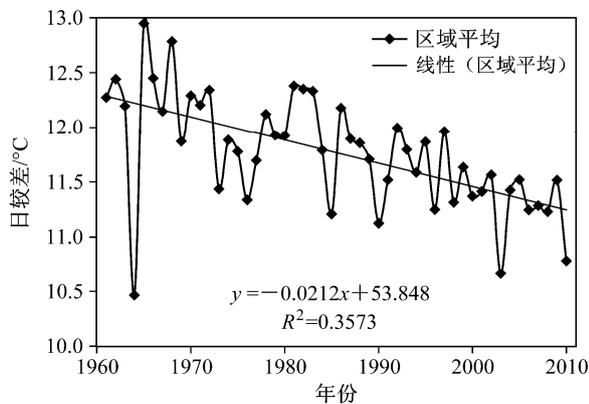


图6 京津冀及周边区域1961~2010年DTR年平均变化

Fig. 6 Variation of annual average DTR during 1961–2010 in BTH and its surrounding area

4 结论

本文利用 1961~2010 年京津冀及其周边区域经均一性检验订正后的气温数据，分析了近 50 年该区域 DTR 的时空分布特征及其变化趋势，具体结论如下：

(1) 年平均 DTR 主要集中在 $9 \sim 15 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围，在北部和西部山区和高原 DTR 较大，在中部和东部的平原、沿海地区和大城市区域和相对孤立的山区相对较小，山区与平原交界处 DTR 梯度较大。DTR 呈现由西北到东南减小趋势。DTR 分布与地

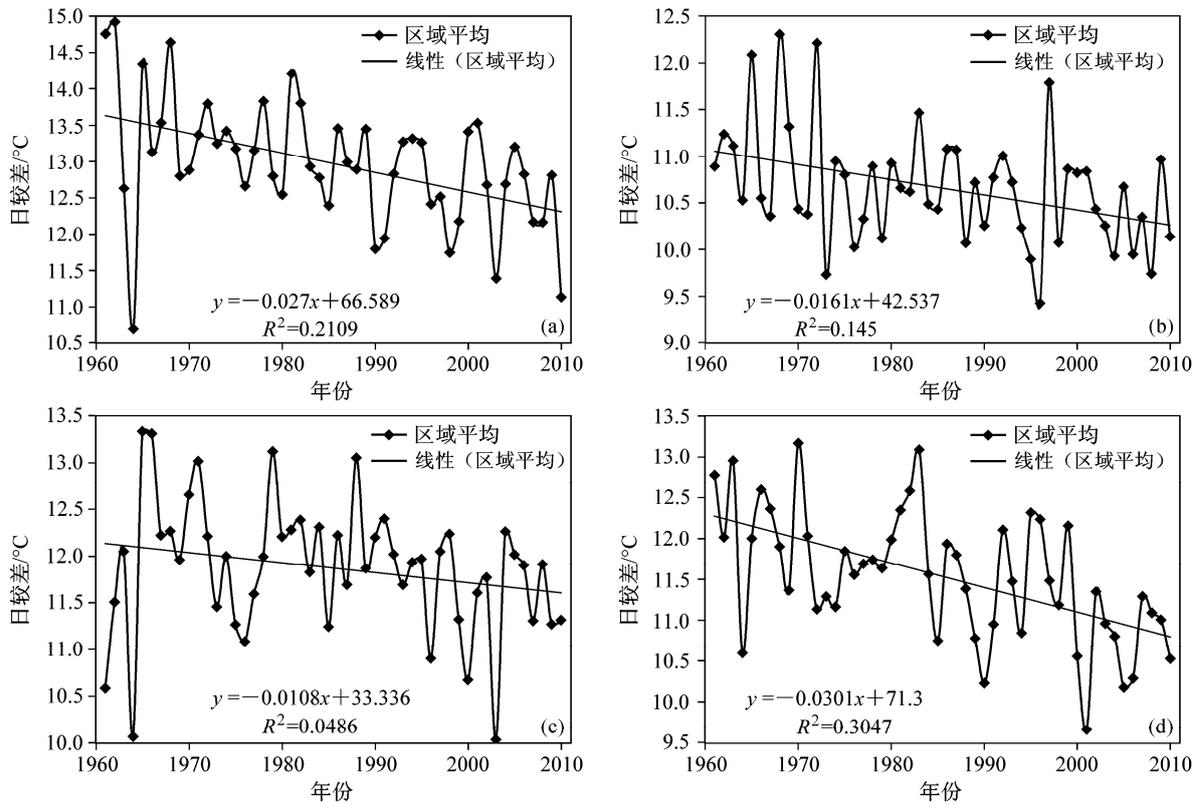


图 7 京津冀及周边区域 (a) 春季、(b) 夏季、(c) 秋季和 (d) 冬季平均 DTR 时间变化

Fig. 7 Variation of DTR in (a) spring, (b) summer, (c) autumn, and (d) winter during 1961–2010 in BTH and its surrounding area

形、土地利用类型、城市化可能都有一定联系。

(2) 各季节平均 DTR 空间分布与年平均 DTR 分布相似, 春季 DTR 最大, 夏季 DTR 最小, 其次为秋季和冬季, 春、夏、秋、冬季的季节平均 DTR 分别为 12.97、10.66、11.87、11.54 °C。各季的季节平均 DTR 差异主要体现在两方面: 一是 DTR 各季最大区域均位于中小尺度地形下的山区, DTR 较小区域则位于海拔较低的沿海城市; 二是 DTR 分布的梯度不一样, 冬季梯度最大, 春、秋季次之, 夏季梯度较小。

(3) 该区域年平均 DTR 以 0.21 °C (10 a)⁻¹ 速率下降, 在平原及其南部区域最为明显, 但也存在部分站点 DTR 呈上升趋势。各季节大部分站点 DTR 呈明显下降趋势, 冬季最明显, 其次为春季、夏季、秋季, 秋季大部分站点呈下降趋势, 但下降趋势不大, 且有较多站点呈上升趋势。冬季除个别站点呈上升趋势外, 其余站点均呈明显下降趋势。

(4) 该区域年平均 DTR 的近 60 年气候倾向率为 -0.21 °C (10 a)⁻¹, 呈显著下降趋势, 各个季节平均 DTR 的下降趋势依次为冬季 > 春季 > 夏季 >

秋季。冬季、春季、夏季和秋季的气候倾向率分别为 -0.30、-0.270、-0.161、-0.108 °C (10 a)⁻¹。

由于影响 DTR 分布和变化趋势的因素还有很多, 以后还将进行不同气象要素、不同土地利用类型、不同海拔高度以及城市化发展对 DTR 分布和变化趋势的影响研究, 以期能深入了解京津冀及其周边区域 DTR 的分布与变化规律。

参考文献 (References)

Braganza K, Karoly D J, Arblaster J M. 2004. Diurnal temperature range as an index of global climate change during the twentieth century [J]. *Geophys. Res. Lett.*, 31 (13): L13217, doi: 10.1029/2004GL019998.

陈铁喜, 陈星. 2007. 近 50 年中国气温日较差的变化趋势分析 [J]. *高原气象*, 26 (1): 150–157. Chen Tiexi, Chen Xing. 2007. Variation of diurnal temperature range in China in the past 50 years [J]. *Plateau Meteorology (in Chinese)*, 26 (1): 150–157.

Dai A G, Trenberth K E, Karl T R. 1999. Effects of clouds, soil moisture, precipitation, and water vapor on diurnal temperature range [J]. *J. Climate*, 12 (8): 2451–2473, doi: 10.1175/1520-0442(1999)012<2451:EOCSMP>2.0.CO;2.

Easterling D R, Horton B, Jones P D, et al. 1997. Maximum and minimum temperature trends for the globe [J]. *Science*, 277 (5324): 364–367, doi: 10.1126/science.277.5324.364.

- Feddema J J, Oleson K W, Bonan G B, et al. 2005. The importance of land-cover change in simulating future climates [J]. *Science*, 310 (5754): 1674–1678, doi: 10.1126/science.1118160.
- 华丽娟, 马柱国, 曾昭美. 2006. 中国东部地区大城市和小城镇极端温度及日较差变化对比分析 [J]. *大气科学*, 30 (1): 80–92. Hua Lijuan, Ma Zhuguo, Zeng Zhaomei. 2006. The comparative analysis of the changes of extreme temperature and extreme diurnal temperature range of large cities and small towns in Eastern China [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese)*, 30 (1): 80–92.
- 华文剑, 陈海山. 2013. 区域尺度土地利用/土地覆盖变化对气温日较差的影响 [J]. *气候变化研究进展*, 9 (2): 117–122. Hua Wenjian, Chen Haishan. 2013. Impacts of regional-scale land use/land cover change on diurnal temperature range [J]. *Progressus Inquisitiones de Mutatione Climatis (in Chinese)*, 9 (2): 117–122.
- Jackson L S, Forster P M. 2010. An empirical study of geographic and seasonal variations in diurnal temperature range [J]. *J. Climate*, 23 (12): 3205–3221, doi: 10.1175/2010JCLI3215.1.
- Jhahharia D, Singh V P. 2011. Trends in temperature, diurnal temperature range and sunshine duration in Northeast India [J]. *International Journal of Climatology*, 31 (9): 1353–1367, doi: 10.1002/joc.2164.
- Karl T R, Kukla G, Gavin J. 1984. Decreasing diurnal temperature range in the United States and Canada from 1941 through 1980 [J]. *J. Climate Appl. Meteor.*, 23 (11): 1489–1504, doi: 10.1175/1520-0450(1984)023<1489:DDTRIT>2.0.CO;2.
- Karl T R, Knight R W, Gallo K P, et al. 1993. A new perspective on recent global warming: Asymmetric trends of daily maximum and minimum temperature [J]. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 74 (6): 1007–1023, doi: 10.1175/1520-0477(1993)074<1007:ANPORG>2.0.CO;2.
- Lauritsen R G, Rogers J C. 2012. U. S. diurnal temperature range variability and regional causal mechanisms, 1901–2002 [J]. *J. Climate*, 25 (20): 7216–7231, doi: 10.1175/JCLI-D-11-00429.1.
- 刘伟东, 杨萍, 尤焕苓, 等. 2013. 北京地区热岛效应及日较差特征 [J]. *气候与环境研究*, 18 (2): 171–177. Liu Weidong, Yang Ping, You Huanling, et al. 2013. Heat island effect and diurnal temperature range in Beijing area [J]. *Climatic and Environmental Research (in Chinese)*, 18 (2): 171–177.
- Makowski K, Wild M, Ohmura A. 2008. Diurnal temperature range over Europe between 1950 and 2005 [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 8 (21): 6483–6498, doi: 10.5194/acp-8-6483-2008.
- 唐红玉, 翟盘茂, 王振宇. 2005. 1951~2002 年中国平均最高、最低气温及日较差变化 [J]. *气候与环境研究*, 10 (4): 728–735. Tang Hongyu, Zhai Panmao, Wang Zhenyu. 2005. On change in mean maximum temperature, minimum temperature and diurnal range in China during 1951–2002 [J]. *Climatic and Environmental Research (in Chinese)*, 10 (4): 728–735.
- 汪凯, 叶红, 唐立娜, 等. 2010. 气温日较差研究进展: 化趋势及其影响因素 [J]. *气候变化研究进展*, 6 (6): 417–423. Wang Kai, Ye Hong, Tang Lina, et al. 2010. Research progresses on diurnal temperature range: Variation trend and influential factors [J]. *Advances in Climate Change Research (in Chinese)*, 6(6): 417–423.
- 吴凌云, 张井勇, 董文杰. 2011. 中国植被覆盖对日最高最低气温的影响 [J]. *科学通报*, 56(3): 274. Wu L Y, Zhang J Y, Dong W J. 2011. Vegetation effects on mean daily maximum and minimum surface air temperatures over China [J]. *Chinese Science Bulletin*, 56 (9): 900–905, doi: 10.1007/s11434-011-4349-7.
- 严中伟, 章名立. 1992. 近年我国温度及其日较差的变化问题 [J]. *科学通报*, 37 (14): 1295–1298. Yan Z W, Zhang L M. 1993. On the trends of temperature and daily range in China [J]. *Chinese Science Bulletin*, 38 (1): 54–58.
- 曾昭美, 严中伟. 1999. 本世纪全球变暖的显著性分析 [J]. *应用气象学报*, 10 (S1): 24–34. Zeng Zhaomei, Yan Zhongwei. 1999. Analysis on the significance of global warming trends during the last 100 years [J]. *Quarterly Journal of Applied Meteorology (in Chinese)*, 10 (S1): 24–34.
- 周杰, 邵海燕, 吴永萍, 等. 2013. 华北地区气温日较差的时空特征和气候变化 [J]. *扬州大学学报(自然科学版)*, 16 (3): 35–40. Zhou Jie, Shao Haiyan, Wu Yongping, et al. 2013. Spatial and temporal characteristics of diurnal temperature range in North China [J]. *Journal of Yangzhou University (Natural Science Edition) (in Chinese)*, 16 (3): 35–40.
- Zhou L M, Dai A G, Dai Y J, et al. 2009. Spatial dependence of diurnal temperature range trends on precipitation from 1950 to 2004 [J]. *Climate Dyn.*, 32 (2–3): 429–440, doi: 10.1007/s00382-008-0387-5.
- 周雅清, 任国玉. 2009. 城市化对华北地区最高、最低气温和日较差变化趋势的影响 [J]. *高原气象*, 28 (5): 1158–1166. Zhou Yaqing, Ren Guoyu. 2009. The effect of urbanization on maximum, minimum temperatures and daily temperature range in North China [J]. *Plateau Meteorology (in Chinese)*, 28 (5): 1158–1166.