

文章编号:1673-8411 (2016) 04-0005-07

城市气温变异与季节响应研究

向柳¹, 张玉虎¹, 蔡万园², 谢培¹, 陈秋华³

(1.首都师范大学资源环境与旅游学院, 北京 100048; 2.北京大学地球与空间科学学院遥感与地理信息系统研究所, 北京 100871; 3.首都师范大学数学科学学院, 北京 100048)

摘要:气温变化是气候变化显著特征之一,分析城市气温季节性变异与响应具有重要意义。基于 1951~2014 年逐日平均、最高和最低气温观测资料,利用多种极端气温指数,通过线性倾向估计、Mann-Kendall 检验等方法,研究北京城区气温及其极端气温指数变化趋势,分析入春、入夏、入秋、入冬时间及四季长度变化,并探讨温度变化的可能成因和影响。结果表明:(1)北京城区气温显著升高,升温幅度呈现最低气温>平均气温>最高气温,分别升高 0.19、0.40、0.49℃·(10a)⁻¹,霜冻日数、不热日数、负温日数、不热日数、冷夜日数、冷昼日数、冷持续指数、气温日较差呈显著下降趋势,而热日指数、酷热指数、生长期长度、暖夜日数、暖昼日数呈现升高趋势,基于最低气温的指数增减幅度较大;(2)四季增温明显,气温变化幅度呈冬季>春季>秋季>夏季,平均气温分别增长 0.40、0.32、0.36、0.47℃·(10a)⁻¹,冬季趋暖,夏季趋热,气温突变时间冬季最早,春季次之,夏季最晚;(3)入春、入夏时间提前,入秋、入冬时间推迟,夏季时间延长,冬、春和秋季长度明显缩短,相比前 30 年,1981~2000 年入春、入夏时间分别提前 7、9 天,入秋、入冬时间分别推迟 8、4 天,夏季长度增加 17 天,冬、春、秋季各减少 11、3、3 天;(4)北京城区升温是城市化和气候变化耦合作用的结果,城市温室效应增大升温幅度,持续升温可能会对城市生态系统、大气环境、能源供需、用水结构以及居民健康等产生影响。

关键词:气温;气温指数;变化趋势;季节响应;北京城区

中图分类号:P46

文献标识码:A

Temperature Variation and Its Seasonal Response in Urban Beijing

XIANG Liu¹, ZHANG Yu-hu¹, CAI Wan-yuan², XIE Pei¹, CHEN Qiu-hua³

(1. College of Resources Environment and Tourism, Capital Normal University, Beijing 100048, China; 2. Institute of Remote Sensing and Geographic Information System, School of Earth and Space Sciences, Peking University, Beijing 100871, China; 3. School of Mathematical Sciences, Capital Normal University, Beijing 100048, China)

Abstract: The scientific evaluation of urban air temperature variation and its seasonal response is crucial to urban compound ecosystem management. With the linear trend estimation and the Mann-Kendall test method, the change of ata of all seasons and seasonal length analyzed on the basis of the variation trend of temperature and 16 extreme temperature indices, and the possible attribution and influence of temperature change based on the daily observation data of mean, maximum, and minimum temperature in urban Beijing during 1951–2014 were discussed. The results shows that: (1) During the past 64 years, temperature of urban Beijing has been obviously increasing in the minimum, mean and maximum temperature, which rise by 0.49, 0.40 and 0.19℃/10a respectively. FD0, FD0, ID0, ID25, TN10p, TX10p,

收稿日期:2016-09-15

基金项目:中国清洁发展机制基金赠款项目(2014108、2014092);国家科技支撑计划课题(2012BAC19B03)资助。

作者简介:向柳(1990-),男,四川泸州人,硕士生,研究方向:气候诊断、气候变化适应。E-mail: xiangliu135@yeah.net

CSDI, and DTR showed a direction of reducing, while SU25, TR20, GSL, TN90p, and TX90p risen steadily; the indices based on minimum temperature increase or decrease by a large margin. (2) Seasonal maximum, mean and minimum temperature showed a marked increasing, and mean temperature of winter, spring, autumn, summer and increased by 0.47, 0.40, 0.36, and 0.32℃/10a respectively. The abrupt change time of winter temperature was earlier than the spring followed by the autumn, and summer was the most late. (3) With the data entering spring and summer pushed forward, and the autumn and winter postponed, summer became more longer, and length of winter, spring and autumn shortened obviously. Compared to 1951–1980, spring, and summer respectively advance 7, and 9 days, autumn and winter were delayed 8, and 4 days; summer length increased 17 days, but winter, spring, and autumn delayed by 11, 3, and 3 days respectively during 1981–2010. (4) Warming of urban Beijing was the result of urbanization and climate change. urban greenhouse effect increased warming amplitude in the urban Beijing. Warming in urban area may affect the health of urban ecological system in urban Beijing.

Key words: temperature; temperature indices; change trend; seasonal response; Beijing urban

1 前言

气候变化背景下, 变暖已成为不争的事实。自 20 世纪中叶以来观测到的气候变化可能在几十年到千年时间尺度上前所未有的, 最近 30 年是自 1850 年以来连续最暖的三个 10 年^[1]; 1909~2011 年, 中国区域平均增温 0.9~1.5℃, 增幅高于全球平均水平; 近五六十年, 气温升高 0.21~0.25℃·(10a)⁻¹^[2], 北方地区变暖显著于南方地区^[3]。未来几十年, 即便采取最大程度减排, 温室气体排放仍将导致全球气候进一步变暖。预估未来中国区域气温将继续升高, 且增温幅度高于全球水平; 相对于 1986~2005 年, 预估 2081~2100 年中国区域可能增温 1.3~5.0℃^[2]。

科学认知区域气温变化对理解全球变暖趋势至关重要。根据气温变化特征, 可对中国气温变化进行分区, 描述年代际气温变化的空间动态结构^[4], 分析各区域气温变化趋势和特征^[3]。气温变化在不同区域不同步^[5], 东北、华北^[6]、西北和青藏高原北部^[7]是中国增暖最明显的地区, 中国干旱区气温变化对全球变暖的区域响应显著^[8]; 冬季和春季增温最显著^[9]。城市地区增温与城市化有关^[10]; 气温变化幅度和纬度有较好相关性, 纬度越高, 升温速率越大; 中亚干旱区气温变化与大气环流、海温和太阳活动等密切相关。已有研究缺乏利用多种酒胆气温指数对气温变化进行系统表达, 且尚无探讨气温变化下四季入季时间及季节长度变化。北京位于华北平原西北隅, 特殊的过渡气候和三面环山的地形条件使北京成为气温变化敏感区。近四五十年北京增温显著, 且城区升温比郊区快。利用多种气温指数, 研究北京城

区气温及其指数变化趋势, 并分析四季入季时间及其长度变化, 并探讨温度变化的归因和影响, 有助于更好地理解区域气候特征, 为开展各类活动提供气温背景参考。

2 资料和方法

采用数据来源于中国气象局发布的中国地面气候资料日值数据。选用国家气候站点为北京市气候观测最久、距主城区最近的北京站 (39°47'60"N、116°28'12"E)。

气温指数是表征气温冷热及变化起伏的有效工具, 选取 16 个代表性极端气温指数(表 1)进行分析

表 1 采用气温指数及其定义

名称	简称	定义
霜冻日数	FD0	年内日最低气温<0℃ 的日数
不热日数	FD20	年内日最低气温<20℃ 的日数
热日数	SU25	年内日最高气温>25℃ 的日数
高温日数	SU35	年内日最高气温>35℃ 的日数
负温日数	ID0	年内日最高气温<0℃ 的日数
不热日数	ID25	年内日最高气温<25℃ 的日数
酷热日数	TR20	年内日最低气温>20℃ 的日数
正温日数	TR0	年内日最低气温>0℃ 的日数
生长期长度	GSL	年内日平均气温连续 6 日>5℃ 或<5℃ 的时间跨度
冷夜日数	TN10p	年内日最低气温<10%分位值的日数
冷昼日数	TX10p	年内日最高气温<10%分位值的日数
暖夜日数	TN90p	年内日最低气温>90%分位值的日数
暖昼日数	TX90p	年内日最高气温>90%分位值的日数
热持续指数	WSDI	年内连续 6 日最高气温>90%分位值日数
冷持续指数	CSDI	年内连续 6 日最低气温<10%分位值日数
气温日较差	DTR	月平均日较差

注: 表中除 DTR 的单位为℃外, 其他指数单位为 d。

研究, 各指数详细计算过程见 <http://etccdi.pacificclimate.org/software.shtml>。为便于表达, 定义 TX_x 、 TX_n 、 TN_x 、 TN_n 分别为一定时期内最大、最小日最高气温和最大、最小日最低气温, TX_{mean} 、 AV_{mean} 、 TN_{mean} 分别为一定时期内日最高、平均和最低气温的均值。

采用线性倾向估计描述气温线性趋势及其显著性, 利用 Mann-Kendall 检验揭示气温时间序列趋势变化及其突变。

3 结果与分析

3.1 气温变化趋势

1951~2014 年, 北京城区气温显著升高, 最低气温升高尤其明显, 最高、平均和最低气温分别升高 $0.19^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 、 $0.40^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 、 $0.49^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 。年内极值日气温呈 $TX_x > TN_x > TX_n > TN_n$; 除 TX_x 无显著上升外, TX_n 、 TN_x 、 TN_n 都呈现显著上升趋势, 其中 TN_n 上升最快 ($0.90^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$), TX_n 次之 ($0.54^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$), TN_x 增长速率仅为 $0.34^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ (图 1)。

从累积气温距平看, 最低气温变化幅度最大, 平均气温次之, 最高气温最小。最低气温在 1960s 末至 1970s 初有一个明显低温时期。从 1980s 初起, 最高、平均和最低气温持续升高, 最低气温升高最快, 平均

温度次之, 最高温度升温稳定 (图 2)。最高、平均和最低气温分别于 1988、1987、1988 年突变增长。 TX_n 于 1971 年最早突变增长, 而 TX_x 跃变明显晚于 TX_n (1999 年); TN_x 于 1994 年突变, 晚于 TN_n (1982)。

3.2 气温指数变化

1951~2014 年, 北京城区除高温日数 (SU35)、热持续指数 (WSDI) 无显著趋势性变化外, 其他指数呈现显著变化趋势, 其中霜冻日数 (FD0)、不热日数 (FD0)、负温日数 (ID0)、不热日数 (ID25)、冷夜日数 (TN10p)、冷昼日数 (TX10p)、冷持续指数 (CSDI)、气温日较差 (DTR) 呈下降趋势, 而热日指数 (SU25)、酷热指数 (TR20)、生长期长度 (GSL)、暖夜日数 (TN90p)、暖昼日数 (TX90p) 增势明显 (图 3)。呈减少趋势的变量中, 霜冻日数、不热日数和冷夜日数等基于最低温度的指数减少较明显, 分别减少 3.75 、 5.40 和 $2.95\text{d}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 。而酷热指数、生长期长度和暖夜日数基于最低温度的指数增加明显, 分别增加 5.42 、 2.99 和 $2.92\text{d}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 。M-K 检验显示, 多数气温指数于 1980s 和 1990s 初突变。

3.3 季节气温变化

四季皆呈现增温趋势, 近 30a 增温较明显, 但增温幅度差异较大 (图 4)。冬季气温升高最大, 其次是

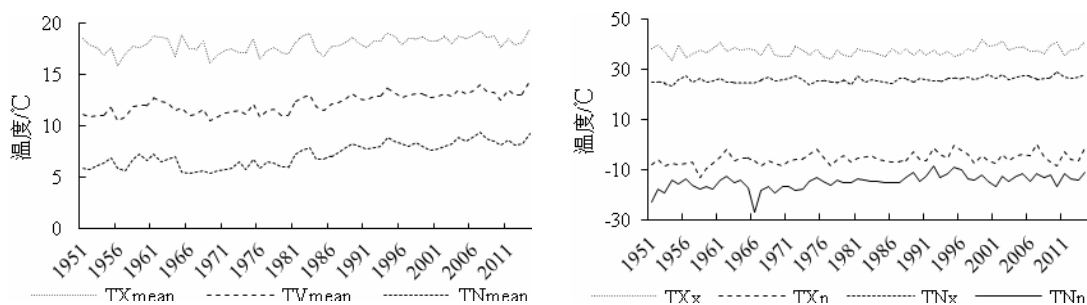


图 1 1951~2014 年北京城区气温变化趋势

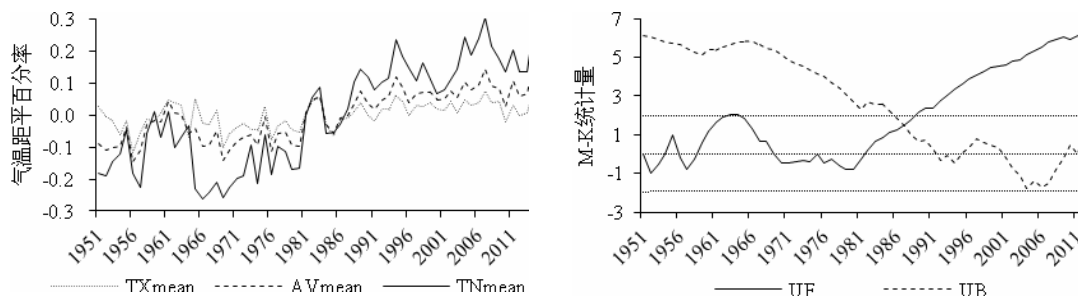


图 2 1951~2014 年北京城区气温距平及趋势

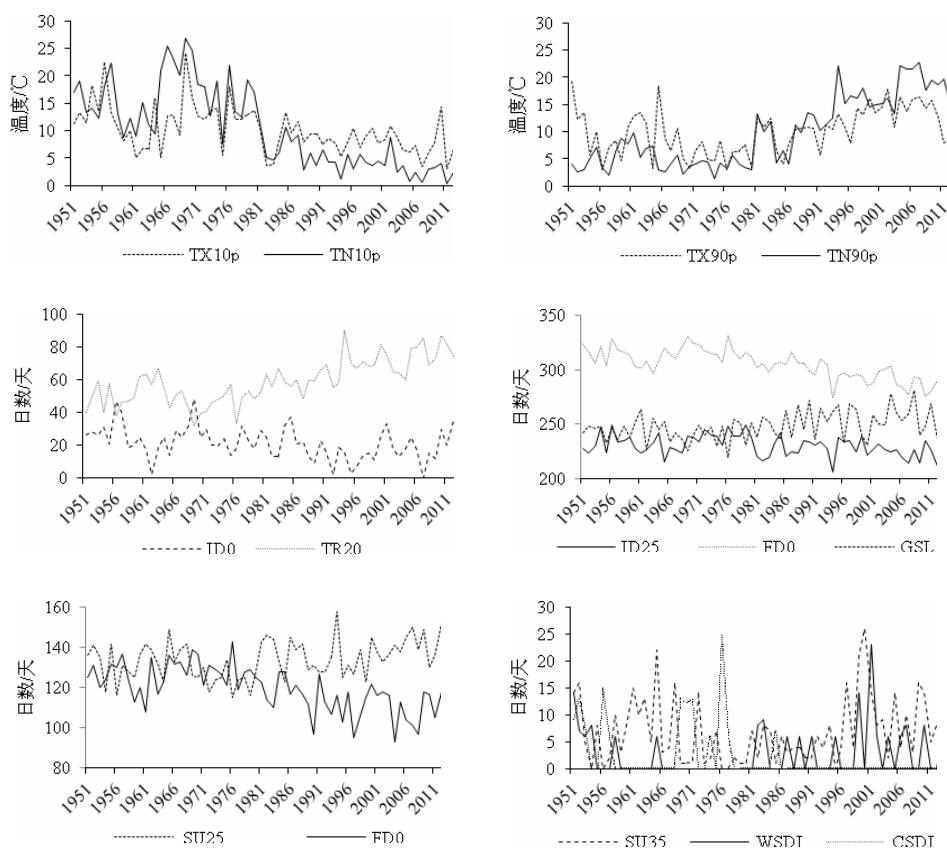


图3 1951~2014年北京城区温度指数变化趋势

春季,夏季最小。1951~2014年,冬季平均气温升高 $0.47^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$,春季升高 $0.40^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 。各季升温幅度:最高气温<平均气温<最低气温,冬季趋向更暖,夏季趋向更热。各季最高气温升幅在 $0.13\sim 0.24^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$,平均气温在 $0.32\sim 0.47^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$,最低气温在 $0.38\sim 0.61^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 。

增温趋势性显著性呈现最低温度显著于平均气温,平均气温显著于最高气温。平均、最高和最低气温显著增长的时间不同,平均气温和最低气温进入显著增温期的时间接近,而最高气温稍晚(图5)。气

温的突变点分布差异较大,冬季最早,春季次之,夏季最晚(图5)。冬季最高、平均和最低气温集中于1982年突变;春季平均气温和最低气温于1988年突变,而最高气温突变于1993、1996年;秋季平均气温突变最早(1988年),最低气温于1990年突变,最高气温于1995年突变;夏季平均气温和最高气温于1990s中期突变,而最高气温于2002年突变。

从相对变化看,冬季是四季中气温变化起伏最大的季节。冬季平均气温在1980s末后明显降低,最高气温在1990s和2000s明显偏高,最低气温1980s初起明显偏低;四季的最低气温起伏明显。从绝对变化看,气温增减量绝对值呈现:冬季>春季>秋季>夏季(图6)。

1951~2014年,北京城区四季冷昼日数(TX10p)、冷夜日数(TN10p)、气温日较差(DTR)呈下降趋势,而暖昼日数(TX90p)、暖夜日数(TN90p)呈增加趋势,与年尺度基本一致;冷夜日数、暖夜日数增减幅度远大于冷昼日数、暖昼日数,凸显最低温度强劲升高(图7)。除春季冷昼日数减少较少外,其他季节减幅均在 $0.7\text{d}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 以上,夏季减少尤为

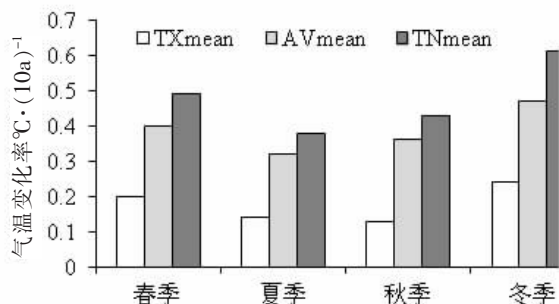


图4 1951~2014年北京城区四季温度变化率

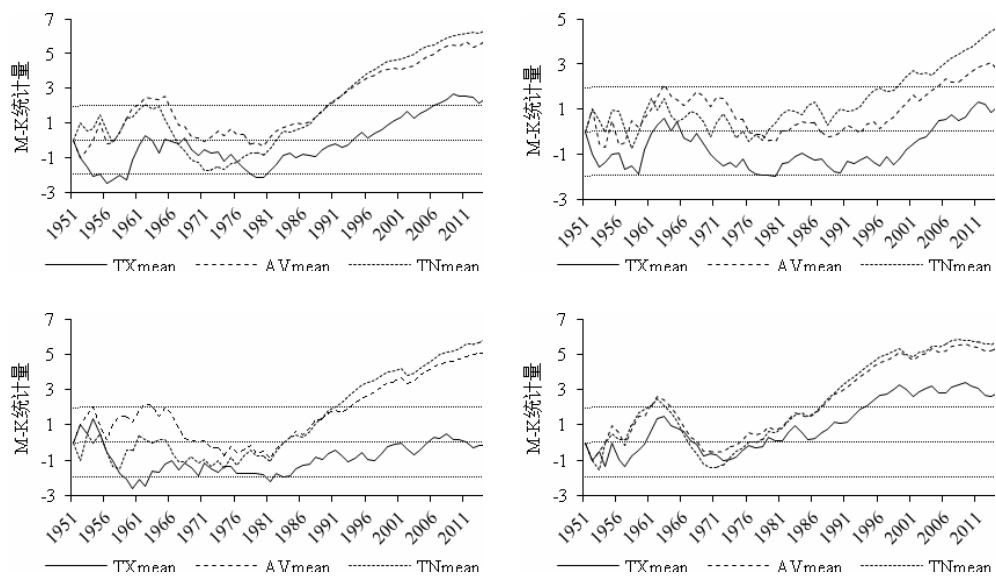


图5 1951~2014年北京城区四季温度变化趋势检验UF曲线

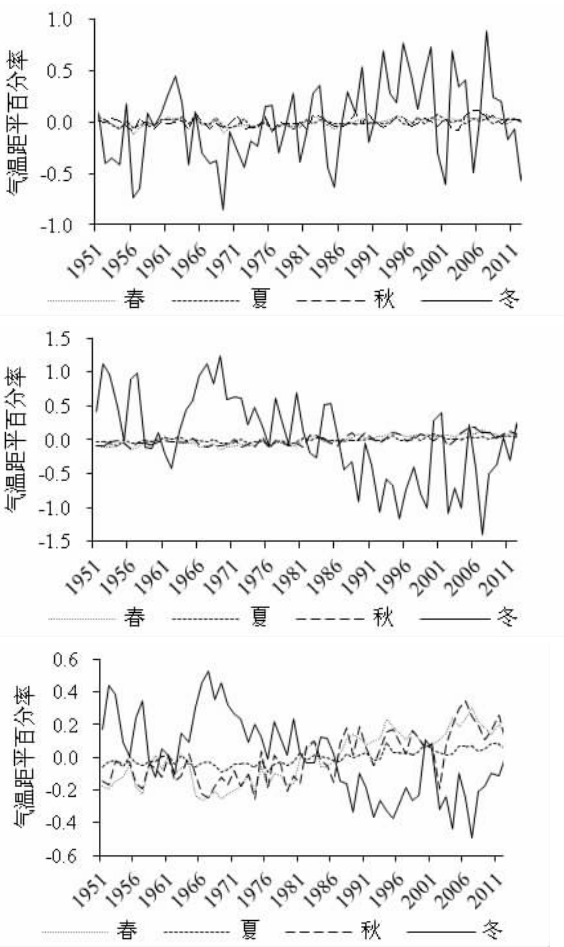


图6 1951~2014年北京城区气温距平

相差不大,冬季减幅最大($0.37^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$),夏季最小($0.24^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$)。暖昼日数增加季节差异较大,夏季增幅最大($1.12\text{d}\cdot10\text{a}^{-1}$),秋季最小,仅为 $0.59\text{d}\cdot10\text{a}^{-1}$;暖夜日数各季增幅均大于暖昼日数,各季节差异不大,夏季最大,秋季最小。

3.4 季节转换变化

根据四季候温划分法,当候(5d为一候)平均气温稳定在 22°C 以上时为夏季开始,候平均气温稳定在 10°C 以下时为冬季开始,候平均气温在 $10\sim22^{\circ}\text{C}$ 之间为春秋季,从 10°C 升到 22°C 是春季,从 22°C 降到 10°C 是秋季。即连续5d平均气温稳定在 10°C ,入春;连续5d日平均气温稳定超过 22°C ,入夏;连续5d日平均气温低于 22°C ,入秋;连续5d日平均气温稳定低于 10°C ,入冬。气温稳定在某一阈值不仅指连续5天平均气温大于(或小于)阈值,而且要求在整个季节里不再出现连续5d平均气温小于(或大于)阈值的情况。

1951~2014年,随着气温升高,南郊四季入季时间和季节长度明显变化(表2)。入春、入夏时间提前,入秋、入冬时间推迟。相比1951~1980年,1981~2000年入春、入夏时间分别7、9d,入秋、入冬时间分别推迟8、4d;2001~2010年入春、入夏时间分别比1951~2010年提前6、14d,入秋、入冬时间分别推迟12、4d。夏天持续时间延长,冬季长度明显缩短。相比1951~1980年,1981~2000年夏季增加17d,冬、春、秋季各减少11、3、3d;2001~2010年夏季持续时间分别比1951~2010年增加25d,冬季减少9d。

明显($0.80\text{d}\cdot(10\text{a})^{-1}$);冷夜日数各季减幅在 $2.33\sim3.61\text{d}/10\text{a}$,冬季减少最多($3.61\text{d}\cdot(10\text{a})^{-1}$),其次是春季($3.18\text{d}\cdot(10\text{a})^{-1}$),夏季最小;气温日较差各季减幅

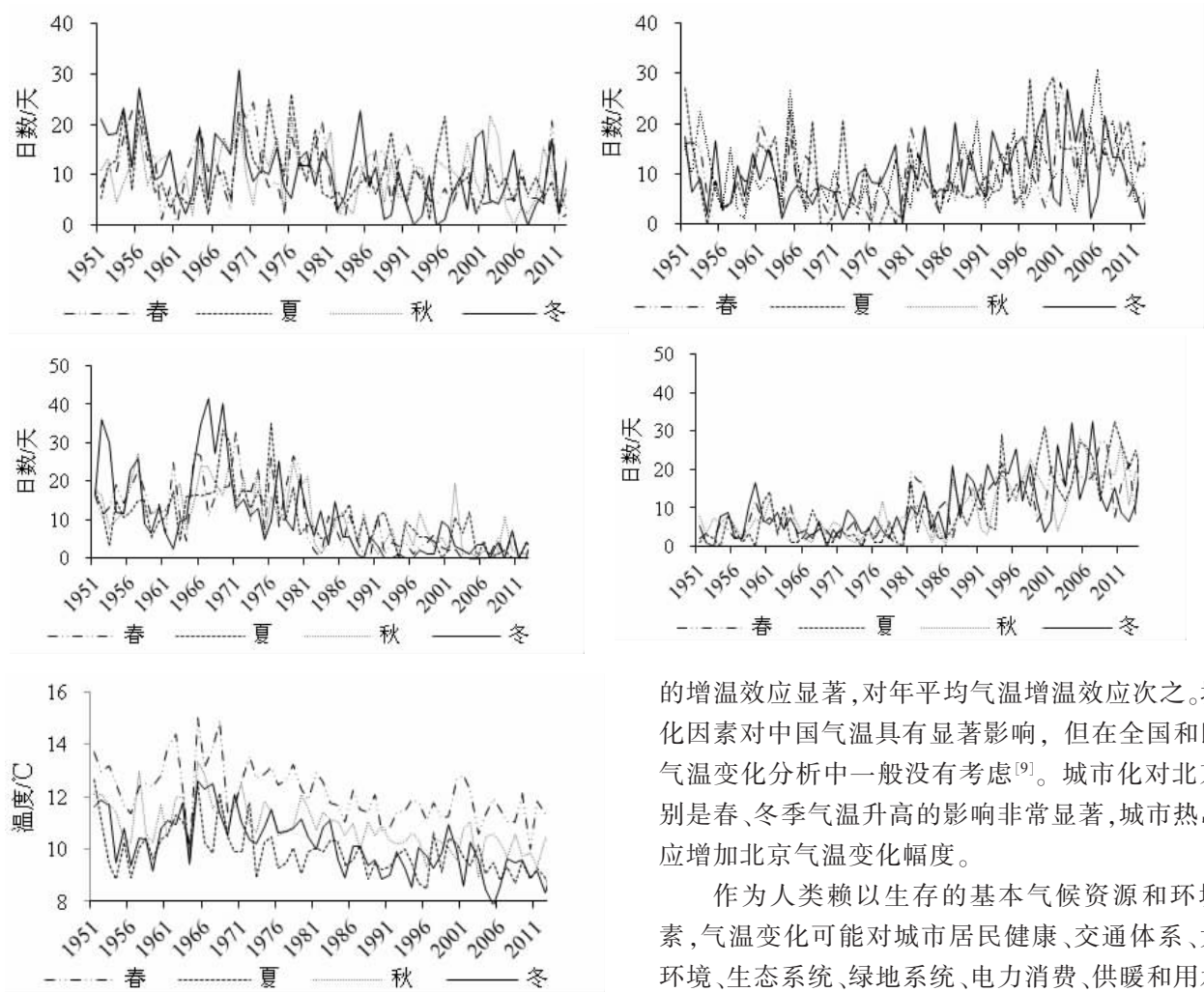


图 7 1951~2014 年北京城区四季气温日数指数变化趋势

4 讨论

特定地域的气温变化主要受其纬度位置、大气环流等自然因素的影响，而城市化地区气温变化还受到城市下垫面变化、大气污染、人工热源等影响。 CO_2 浓度的增加对北京最冷月(1 月)平均最低气温

的增温效应显著,对年平均气温增温效应次之。城市化因素对中国气温具有显著影响，但在全国和区域气温变化分析中一般没有考虑^[9]。城市化对北京特别是春、冬季气温升高的影响非常显著,城市热岛效应增加北京气温变化幅度。

作为人类赖以生存的基本气候资源和环境要素,气温变化可能对城市居民健康、交通体系、大气环境、生态系统、绿地系统、电力消费、供暖和用水量供应等产生了广泛影响。北京冬季升温、冬季长度缩短可能缩短采暖期,进而减少大气污染源,改善大气环境;城市易受高温热浪天气袭扰,夏季气温升高及其持续时间延长,使北京高温热浪脆弱性水平持续上升,可能增加夏季用电、用水量;减少小儿呼吸道感染疾病发生率,增加高温暴露机会。

5 结论

表 2 1951~2014 年北京城区四季入季时间和季节长度

时段	入季时间				季节长度			
	春	夏	秋	冬	春	夏	秋	冬
1951~1960	4 月 5 日	6 月 3 日	9 月 6 日	10 月 29 日	60	95	52	157
1961~1970	4 月 7 日	5 月 29 日	9 月 9 日	10 月 30 日	52	103	51	161
1971~1980	4 月 7 日	6 月 10 日	9 月 3 日	10 月 26 日	64	85	53	162
1981~1990	4 月 1 日	5 月 28 日	9 月 13 日	11 月 1 日	58	108	49	152
1991~2000	3 月 30 日	5 月 27 日	9 月 11 日	11 月 2 日	58	107	53	147
2001~2010	3 月 30 日	5 月 20 日	9 月 18 日	11 月 2 日	51	120	46	148
2011~2014	3 月 28 日	5 月 20 日	9 月 11 日	11 月 7 日	54	114	57	141

基于 1951~2014 年逐日气温观测资料,利用多种气温指数,通过线性倾向估计、Mann-Kendall 非参数检验方法,分析北京城区气温及其极端气温指数变化趋势。初步得出以下结论:

(1)北京城区近 64a 气温呈逐渐升高趋势,升温幅度呈现最低气温>平均气温>最高气温,分别升高 0.19 、 0.40 、 $0.49^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$,1988 年附近为突变年,气温呈现陡增趋势。

(2)除高温日数、热持续指数无显著变化趋势外,霜冻日数、不热日数、负温日数、不热日数、冷夜日数、冷昼日数、冷持续指数、气温日较差呈显著下降趋势,而热日指数、酷热指数、生长期长度、暖夜日数、暖昼日数呈现升高趋势,基于最低气温的指数增减幅度较大,多数指标在 1980s 和 1990s 初突变。

(3)四季增温明显,气温变化幅度呈冬季>春季>秋季>夏季,平均气温分别增长 0.40 、 0.32 、 0.36 、 $0.47^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$,冬季趋向更暖,夏季趋向更热。平均气温和最低气温进入显著增温期接近,最高气温稍晚。气温突变冬季最早,春季次之,夏季最晚。冷夜日数、暖夜日数增减幅度远大于冷昼日数、暖昼日数。

(4)随着气温升高,入春、入夏时间提前,入秋、入冬时间推迟,夏天持续时间延长,冬、春和秋季长度明显缩短。1981~2000 年入春、入夏时间比前 30 年分别提前 7、9d,入秋、入冬时间分别推迟 8、4d。1981~2000 年夏季长度比前 30 年增加 17d,而冬、春、秋季各减少 11、3、3d。

(5)北京城区升温是城市化和气候变化耦合作用的结果,城市温室效应增大升温幅度,持续升温可

能会对城市生态系统、大气环境、能源供需、用水结构以及居民健康等产生影响。

参考文献:

- [1] IPCC. Climate Change 2013: the Physical Sciences Basis [R]. Cambridge: Cambridge University Press, 2013.
- [2] 《第三次气候变化国家评估报告》编写委员会. 第三次气候变化国家评估报告 [M]. 北京: 科学出版社, 2015.
- [3] 张晶晶, 陈爽, 赵昕奕. 近 50 年中国气温变化的区域差异及其与全球气候变化的联系 [J]. 干旱区资源与环境, 2006, 20 (4): 1-6.
- [4] 韩翠华, 郝志新, 郑景云. 1951-2010 年中国气温变化分区及其区域特征 [J]. 地理科学进展, 2013, 32 (6): 887-896.
- [5] 唐红玉, 翟盘茂. 1951-2002 年中国东、西部地区地面气温变化对比 [J]. 地球物理学报, 2005, 48 (3): 526-534.
- [6] 陈效述, 彭嘉栋, 李慧敏. 内蒙古地区气温变化的季节和区域差异 [J]. 地理研究, 2009, 28 (1): 27-35.
- [7] 易湘生, 尹衍雨, 李国胜, 等. 青海三江源地区近 50 年来的气温变化 [J]. 地理学报, 2011, 66 (11): 1451-1465.
- [8] 张雪芹, 孙杨, 毛炜峰, 等. 中国干旱区气温变化对全球变暖的区域响应 [J]. 干旱区研究, 2010, 27 (4): 592-599.
- [9] 任国玉, 初子莹, 周雅清, 等. 中国气温变化研究最新进展 [J]. 气候与环境研究, 2005, 10 (4): 701-716.
- [10] 朱家其, 汤绪, 江灏. 上海市城区气温变化及城市热岛 [J]. 高原气象, 2006, 25 (6): 1154-1160.