

辽宁省城市化发展对区域气温序列的影响研究

赵春雨¹, 任国玉², 王颖¹, 严晓瑜¹

(1. 沈阳区域气候中心, 辽宁沈阳 110016; 2. 中国气象局气候研究开放实验室, 国家气候中心, 北京 100081)

摘要 利用 1961~2006 年辽宁省 50 个气象站的气温观测资料, 分析了大中城市站、小城市站、国家基本/基准站和乡村站的气温变化趋势特点, 重点研究了城市化对城镇站和国家站气温记录的影响程度和相对贡献比例。结果表明: 近 46 年辽宁省所有台站的年平均气温、年平均最高气温、年平均最低气温都呈增温趋势, 且平均最低气温的增温率远大于平均最高气温; 增温率大小依次为: 大中城市站 > 小城市站 > 国家基本/基准站 > 乡村站; 城市热岛效应对气温的影响是显著的, 尤其近 20 多年更加明显; 由于热岛效应增强的影响, 辽宁省各类城市站均存在不同程度的城市化影响。其中大中城市站、小城市站和国家站的年平均热岛增温分别为 0.05 °C/10 a、0.03 °C/10 a 和 0.01 °C/10 a, 其热岛增温贡献率分别为 14.9%、5% 和 3.3%。此外, 城市热岛增温还有明显的季节变化。

关键词 辽宁省; 气温序列; 城市热岛效应; 气候变化

中图分类号 D404 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2009)29-14251-04

Study on the Effect of Urbanization Development on Regional Temperature Sequence in Liaoning Province

ZHAO Chun-yu et al (Shenyang Regional Climate Center, Shenyang, Liaoning 110016)

Abstract Using a data set of monthly mean temperature of 50 stations, the surface air temperature change trends and the effect of urbanization development on mean surface air temperature records of towns and cities in Liaoning province during 1961-2006 were analyzed. On the basis of calculating air temperature change trends of towns and cities at national reference/baseline stations and rural stations, the extent and relative contribution proportion of urbanization effect were obtained by comparing the differences between the change trends of various station and rural stations. The results show that there were warming trends of mean, maximum and minimum temperature for each of the station, the warming rates in minimum temperature was higher than maximum temperature; the warming rates were in sequence of big/middle cities stations > small cities stations > national reference/baseline stations > rural stations; the effect urban heat island on air temperature was significantly, especially in recent twenty years. The urban warming rates of big/middle cities, small cities and national stations were estimated as 0.05 °C/10 a, 0.03 °C/10 a and 0.01 °C/10 a, respectively, and their contributions to overall annual mean temperature change were 14.9%, 5% and 3.3%, respectively. In addition, there were obvious season changes in urban warming rates.

Key words Liaoning Province; Temperature sequence; Urban heat island effect; Climate change

根据 IPCC 第 4 次评估报告, 过去 100 年(1906~2005 年)全球地表平均气温升高 0.74 °C, 过去 50 年观测到的全球平均温度的升高, 很可能由人为温室气体浓度增加引起^[1]。检测和识别近百年气候变暖的性质和原因, 是当前气候研究的热点问题。气候变化检测与原因识别主要依据积累多年的仪器观测记录, 然而, 长期以来不断有学者对全球和区域地表平均气温序列的代表性提出质疑, 指出观测资料是造成气候变暖的不确定因素^[2]。在全球和区域气候变化检测的研究中, 需要选用观测条件较好的气象观测站, 由于人类活动造成的城市化影响, 使一些位于城市内或者附近的台站, 其地面气温记录中不可避免地含有城市化的影响。城镇化对区域平均温度变化趋势的影响程度大小, 是目前气候变暖研究中人们最关心和要解决的问题之一。

国外的一些研究证实了区域的年平均地面气温序列中不同程度地存在着城市化的影响^[3-5]。国内的研究认为气温序列中城市热岛效应显著, 如: WANG 等用 1954~1983 年的城乡地表资料将中国分为 6 个区域进行了研究, 发现城市热岛影响比较显著^[6]; 赵宗慈对中国 39 年气温变化与城市化影响的研究认为, 城市化影响不容忽视^[7]。林学椿等研究了北京地区气温的年代际变化和热岛效应, 发现北京站记录中城市热岛效应的影响非常明显^[8]。初子莹和任国玉证实北京地区城市热岛效应影响存在显著的随时间增大趋势, 近 40 年城市热岛效应对国家基本、基准站的增温贡献率已达

71.1%, 近 20 年达到 50%^[9]。山东、河北、湖北和甘肃等省的研究人员也对本省的城市化对区域气温序列的影响进行了研究, 结果表明这些地区城镇化影响非常显著^[10-13]。

辽宁位于我国东北地区, 是气候变暖最显著的地区之一^[14], 在辽宁省记录的增温中, 城市化对地面温度记录影响程度大小是需要研究的问题。笔者利用 1961~2006 年的地面气温观测资料以及台站所在地的人口资料等, 分析了各类台站地面气温变化趋势的特点及增温速率, 重点研究了城市化对各类城镇站地面记录的影响, 并估算了热岛增温对城市站和国家基本/基准站平均气温变化的贡献。

1 资料来源

辽宁省共有 61 个气象站, 其中国家基准站 5 个, 基本站 20 个, 去掉 1961 年以后建站和资料不连续的 11 个站, 仍有 50 个。所选取的台站中大多数在 1961 年以后都发生过迁移, 站点中没发生过迁站经历的占 26%, 有 1 次迁站经历的占 42%, 2 次迁站的占 22%, 3 次以上的占 10%。由于辽宁省大多数气象台站是 20 世纪 50 年代后期建立的, 所以资料开始年选 1961 年。根据 50 站 1961~2006 年逐月地表平均、最高和最低气温资料, 求出各站逐季、逐年 3 项气温序列。

2 研究方法

从 50 个台站中选择大中城市站 11 个, 小城市站 26 个, 乡村站 13 个, 国家基本/基准站 25 个(图 1)。选取方法: ①大中城市站指人口在 10 万人以上, 台站在市区; ②小城市站指人口在 5 万~10 万人, 台站在集镇内; ③乡村站指人口在 5 万以下, 台站在郊区、海岛或山顶。按照上述标准, 选取的大中城市站有沈阳、新民、大连、瓦房店、海城、鞍山、本溪市、锦州、营口、辽阳和朝阳共 11 个; 乡村站有庄河、长海、台安、

基金项目 国家自然科学基金项目(40575039); 国家科技支撑项目课题(2007BAC03A01 和 2007BAC29B02)。

作者简介 赵春雨(1968-), 女, 辽宁抚顺人, 在读博士, 高级工程师, 从事区域气候变化研究。

收稿日期 2009-06-12

新宾、抚顺、丹东、宽甸、北宁、熊岳、大石桥、彰武、阜新和凌源共13个,其余是小城市站26个。在选择城市或乡村站时,参考了台站所在城镇的人口统计资料。人口资料来自国家统计局2000年第5次人口普查数据《中国乡、镇、街道人口资料》^[15]。

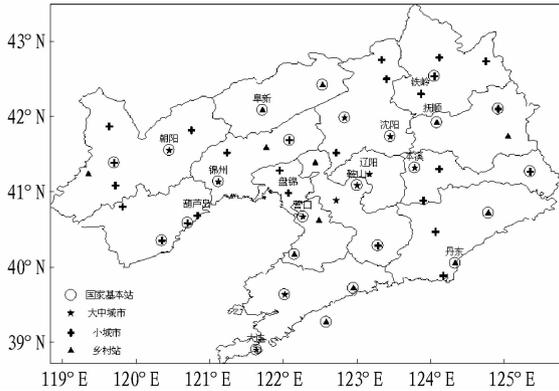


图1 辽宁省50个气象站的分布

Fig. 1 Distribution of 50 meteorological stations in Liaoning Province

然后采用最小二乘法计算温度变化的线性趋势。研究中,定义城市站平均温度变化速率与乡村站平均温度变化速率之差为区域热岛增温率,热岛增温率在其总增温率中所占的百分比为热岛增温贡献率。

3 结果与分析

3.1 全省气温倾向率的空间分布 对辽宁省1961~2006年增温率的空间分布特征进行分析。如图2(a)所示。结果表明:辽宁省年平均气温增温率在 $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ (本溪)~ $0.53\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ (本溪县)之间(图2a),增温率最大的中心均位于大中城市附近;总体来看,辽河流域下游及辽西大部分地区增温率较大,这可能与这些台站中大部分1961年以来一直没迁站,台站周边环境受城市化影响有关。把所有观测站的年平均增温率做降序排列,分别选出增温率最大和最小的5个站,增温率最大的5个站分别是本溪县 $0.53\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 、鞍山 $0.52\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 、大石桥 $0.48\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 、朝阳 $0.45\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 和新民 $0.42\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,其中有3个站是大城市站,1个站是小城市站,1个站是乡村站;增温率最小的5个站分别是本溪 $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 、建平 $0.15\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 、抚顺 $0.19\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 、庄河 $0.19\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 和凌源 $0.2\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,其中有3个站是乡村站,建平虽然没被选进乡村站,但它是全省海拔最高的台站,也应是较标准的乡村站,抚顺是一个远离市区的小城市站,因此也可以说是一个较好的乡村站。这几个台站除庄河位于海边以外,其余海拔高度都在100 m以上。由此可见,城市化对平均温度的影响很明显。

辽宁省年平均最高温度的增温率在 $0.11\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ~ $0.40\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ (图2b),全省全部为正的增温率,增温率最大的是小城市站本溪县,次之是大城市站大连。总体上,最高温度的增温率小于平均温度的增温率。

辽宁省年平均最低温度的增温率在 $0.02\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ~ $0.89\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ (图2c),全部表现为正的增温率。增温率最大的是大城市站鞍山,最小的是建平站,且最低温度的增温率总体上远远大于平均温度和平均最高温度,非对称性明显。

上述3种温度的变化有2个共同特点,即增温中心均位于城市站周围;辽河流域下游和辽西地区增温率普遍大于其他地区。因此,除城市化对地面温度有影响以外,辽西地区也是全球气候变暖响应的敏感区。

3.2 温度的年代际变化及增温率 如图3可见,大中城市站、小城市站、国家基本/基准站和乡村站这4类台站的年平均气温总体变化特征非常相似,均呈上升趋势,明显的增温发生在20世纪80年代中期以后。40多年来,大中城市站、小城市站、国家基本/基准站和乡村站年平均气温的线性增温率分别为 $0.34\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 、 $0.32\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 、 $0.30\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 和 $0.29\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,大中城市的增温率明显高于乡村站和国家基本/基准站的增温率,同时,国家基本/基准站又略高于乡村站的增温率。这反映出城市站和国家基本/基准站的温度资料序列在一定程度上存在着城市化的影响。

由图3可知,辽宁省各地城市化发展主要是在20世纪80年代以后。因此将研究时段分为1961~1983年和1984~2006年2段计算增温率,大中城市站、小城市站、国家基本/基准站和乡村站在1961~1983年的增温率分别为 $0.15\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 、 $0.16\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 、 $0.14\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 和 $0.01\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$;1983~2006年的增温率分别为 $0.61\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 、 $0.51\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 、 $0.51\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 和 $0.49\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 。可以看出,在1984年以前的20多年内,城市增温率很小,尤其是乡村站更小;而在近20多年时间里,4类台站的增温率都大幅度增大,这可能和城市化发展有关。

3.3 增温率的季节变化 从表1看出,从4个季节的平均气温、平均最高气温和平均最低气温来看,基本上都是城市站增温率最大,其次是国家基本/基准站,而乡村站增温最小。从季节变化来看,无论平均气温还是最高、最低气温,它们的增温率依次为:冬季>春季>秋季>夏季;年平均最高气温和最低气温也都是大中城市站升温趋势最大,小城市次之,然后是国家基本/基准站,它们都比乡村站升温趋势高,这说明气温增温率存在着城市化影响。

3.4 热岛增温的贡献率 如表2所示,在46年间,大中城市站热岛效应的年增温率为 $0.05\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,年平均气温增暖14.9%,这是由城市化影响引起的;小城市站热岛效应的年增温率为 $0.03\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,年平均气温的增暖5%,这是由城市化影响引起的;同样,国家基本/基准站热岛增温率为 $0.01\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,年平均气温的增暖3%是由城市化影响引起的。从季节来看,热岛增温贡献率秋季>冬季>春季>夏季,在春季和夏季,国家基本/基准站热岛增温贡献率大于小城市站,而在秋季和冬季,城市国家基准/基本站的热岛贡献率小于小城市站。

4 结论

(1)近46年辽宁省所有台站的年平均气温、年平均最高气温、年平均最低气温都呈增长趋势,且平均最低气温的增温率远大于平均最高气温。其中,辽河流域下游和辽西地区增温率普遍大于其他地区,且增温中心均位于大中城市站附近。

(2)近46年辽宁省增温率最大的为大中城市站,其次为小城市站,然后是国家基准/基本站,乡村站最小。城市热岛

效应对气温的影响是显著的,尤其近 20 多年更加明显。

(3)从平均气温、平均最高气温和平均最低气温来看,不论是年平均还是季节平均,增温率基本都是大中城市站最大,小城市站次之,然后是国家基准/基本站,乡村站最小。增温率的季节变化明显:冬季增温最为明显,春季次之,然后

是秋季,夏季增温最小。

(4)由于热岛效应增强的影响,辽宁省各类城市站均存在不同程度的城市化影响。其中大中城市站、小城市站和国家站的热岛增温分别为 0.05 °C/10 a、0.03 °C/10 a 和 0.01 °C/10 a,其热岛增温贡献率分别为 14.9%、5% 和 3.3%。

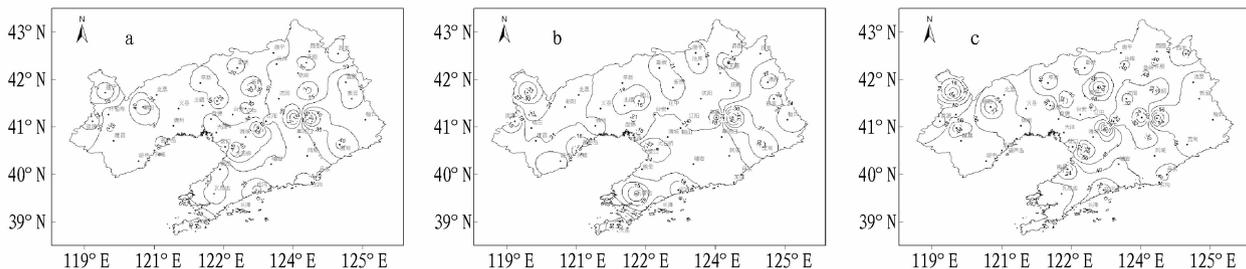


图 2 辽宁省 1961~2006 年年平均(a)、最高(b)、最低(c)气温倾向率的空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of the inclination rate of annual average(a), maximum(b) and minimum temperature(c) in Liaoning Province from 1961 to 2006

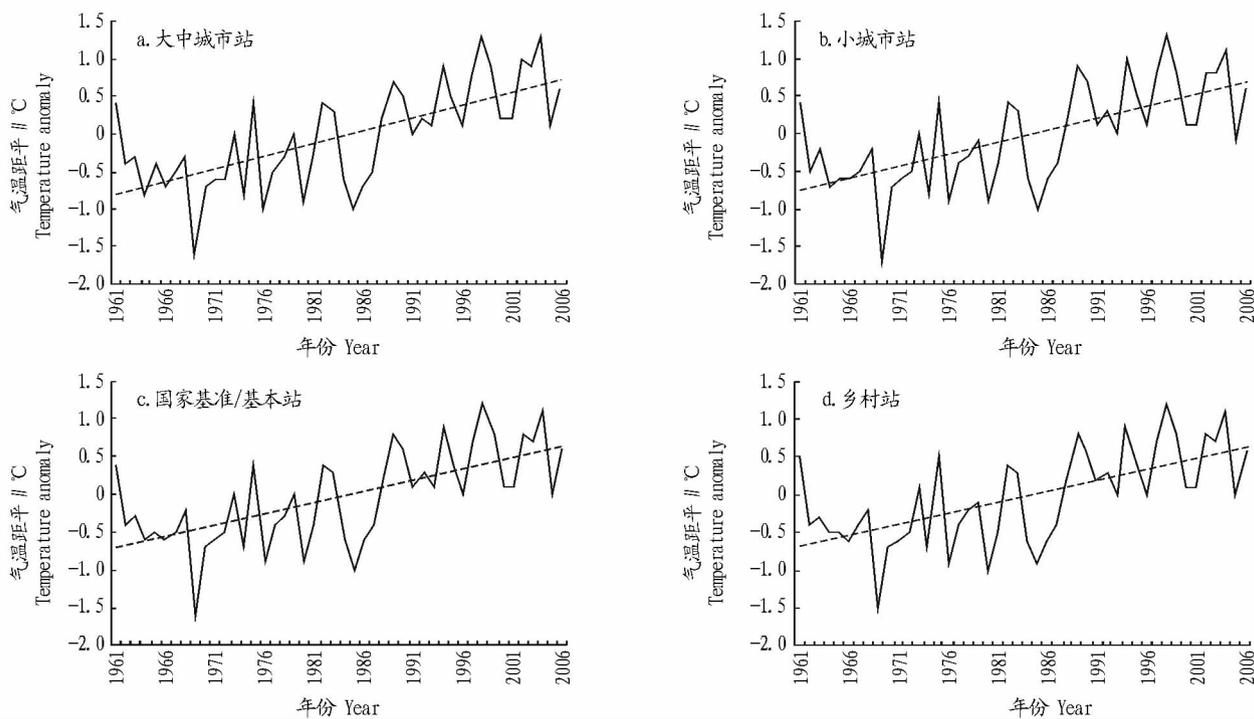


图 3 1961~2006 年辽宁省大中城市站、小城市站、国家基本/基准站和乡村站的年平均气温距平序列及变化趋势(虚线为线性趋势)

Fig. 3 Annual mean temperature anomaly series and the change trends of big/middle city stations, small city stations, national reference/basic stations and rural stations in Liaoning Province from 1961 to 2006 (The dashed is the linear trend)

表 1 1961~2006 年辽宁省大中城市站、小城市站、国家基本/基准站和乡村站平均增温率

Table 1 The average increasing rate of temperature at big/middle city stations, small city stations, national basic/reference stations, and rural stations in Liaoning Province from 1961 to 2006

| 温度要素 Temperature | 四类台站 Four types of stations | 春季 Spring | 夏季 Summer | 秋季 Autumn | 冬季 Winter | 年 Annual |
|------------------|-----------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|
| 平均气温增温率 | 大中城市站 | 0.37 | 0.18 | 0.28 | 0.55 | 0.34 |
| | 小城市站 | 0.35 | 0.14 | 0.24 | 0.55 | 0.32 |
| | 国家基本/基准站 | 0.36 | 0.16 | 0.23 | 0.51 | 0.30 |
| | 乡村站 | 0.33 | 0.14 | 0.20 | 0.51 | 0.29 |
| 平均最高气温增温率 | 大中城市站 | 0.27 | 0.13 | 0.15 | 0.29 | 0.23 |
| | 小城市站 | 0.25 | 0.10 | 0.18 | 0.32 | 0.22 |
| | 国家基本/基准站 | 0.28 | 0.13 | 0.16 | 0.29 | 0.23 |
| | 乡村站 | 0.26 | 0.12 | 0.15 | 0.28 | 0.21 |
| 平均最低气温增温率 | 大中城市站 | 0.56 | 0.31 | 0.42 | 0.79 | 0.50 |
| | 小城市站 | 0.50 | 0.27 | 0.33 | 0.73 | 0.45 |
| | 国家基本/基准站 | 0.48 | 0.25 | 0.32 | 0.71 | 0.44 |
| | 乡村站 | 0.44 | 0.24 | 0.29 | 0.67 | 0.41 |

°C/10 a

表 2 1961~2006 年辽宁省大中城市站、小城市站、国家基准/基本站热岛增温率及热岛增温贡献率

Table 2 Average increasing rate of temperature and heat island temperature-increasing contribution rate at big/middle city stations, small city stations, national basic/reference stations in Liaoning Province from 1961 to 2006

| | 大中城市站 Big/middle city stations | | 小城市站 Small city stations | | 国家基准/基本站 National basic/reference stations | |
|----|--|---|--|---|--|---|
| | 热岛增温率// $^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ Heat-island temperature- increasing rate | 增温贡献率//% Temperature- increasing contribution rate | 热岛增温率// $^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ Heat-island temperature- increasing rate | 增温贡献率//% Temperature- increasing contribution rate | 热岛增温率// $^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ Heat-island temperature- increasing rate | 增温贡献率//% Temperature- increasing contribution rate |
| 春季 | 0.04 | 10.7 | 0.02 | 5.7 | 0.03 | 8.3 |
| 夏季 | 0.04 | 22.0 | 0.00 | 0.0 | 0.02 | 12.5 |
| 秋季 | 0.08 | 28.5 | 0.04 | 16.7 | 0.03 | 13.0 |
| 冬季 | 0.04 | 7.0 | 0.04 | 7.0 | 0.00 | 0.0 |
| 年 | 0.05 | 14.9 | 0.03 | 5.0 | 0.01 | 3.3 |

(5) 对于大中城市站和小城市站,热岛增温的季节变化表现为秋季最强,春季或冬季次之,而夏季最弱;对于国家站热岛增温最强的季节为春季和秋季,冬季最弱。

参考文献

- [1] IPCC. Climate change 2007: science basis [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- [2] 龚道溢, 王绍武. 全球气候变暖研究中的不确定性[J]. 地学前沿, 2002, 9(2): 371-376.
- [3] KARL T R, JONES P D. Comments on "Urban bias in area-averaged surface air-temperature trends" reply to GM Cohen [J]. Bull Amer Meteor Soc, 1990, 71: 571-574.
- [4] GOODRIDGE J D. Urban bias influences on long-term California air temperature trends [J]. Atmos Environ, 1992, 26(1): 1-7.
- [5] HUGHES W E, BALLING R C. Urban influences on South African temperature trends [J]. Int J Climatol, 1996, 16: 935-940.
- [6] WANG W C, ZENG Z, KARL T R. Urban heat islands in China [J]. Geophys Res Lett, 1990, 17: 2377-2380.

- [7] 赵宗慈. 近 39 年中国的气温变化与城市化影响 [J]. 气象, 1991, 17(4): 14-16.
- [8] 林学椿, 于淑秋, 唐国利. 北京城市化进程与热岛强度关系研究 [J]. 自然科学进展, 2005, 15(7): 882-886.
- [9] 初子莹, 任国玉. 北京地区热岛强度变化对区域温度序列的影响 [J]. 气象学报, 2005, 63(4): 534-540.
- [10] 张爱英, 任国玉. 山东省城市化对区域平均温度序列的影响 [J]. 气候与环境研究, 2005, 10(4): 734-753.
- [11] 刘学峰, 阮新, 谷永利. 石家庄地区气温变化和热岛效应分析 [J]. 环境科学研究, 2005, 18(5): 11-14.
- [12] 陈正洪, 王海军, 任国玉, 等. 湖北省城市热岛强度变化对区域气温序列的影响 [J]. 高原气象, 2005, 10(4): 771-779.
- [13] 白虎志, 任国玉, 张爱英, 等. 城市热岛效应对甘肃省温度序列的影响 [J]. 高原气象, 2006, 25(1): 91-94.
- [14] 赵春雨, 曲晓波, 王颖, 等. 辽宁气候变化及若干气象灾害的事实分析 [J]. 灾害学, 2007, 22(4): 77-80.
- [15] 国家统计局人口和社会科技统计司. 中国乡、镇、街道人口资料 [Z]. 北京: 中国统计出版社, 2002.

(上接第 14248 页)

涝, 70 年代出现 2 次, 80 年代出现 3 次, 90 年代出现 2 次, 2000 年以后出现 1 次。由此可见, 20 世纪 90 年代后, 随着气候变暖, 长春市洪涝灾害有减少趋势。

2.4.4 冰雹。冰雹是长春市主要的农业气象灾害之一, 幼苗遭受冰雹袭击, 轻者导致作物减产, 重者导致绝收。由于冰雹是强对流天气, 局地性较强, 因此年代际、年际分布不均。由图 2 可知, 近 50 年来长春市年均出现冰雹日数为 1.7 d, 呈下降趋势, 20 世纪 60、70 年代冰雹较多, 80 年代以后冰雹呈减少趋势; 且年际分布差异较大, 有的年份一次冰雹也没有, 而 1975 年则出现了 7 次冰雹天气。

3 结论

通过上述分析可见, 在全球气候变暖的背景下, 长春市农业气象条件的变化特征为: 作物生长期日照时数呈下降趋势, 但光照条件能满足作物生长需求; 热量条件呈增加趋势, 气温显著升高, 初霜延后、终霜提前, 无霜期延长, 活动积温增加; 水分条件呈下降趋势, 降水减少, 暖干化的趋势比较明显; 洪涝、低温冷害、冰雹等农业气象灾害有减少的趋势, 但干旱灾害有频繁而严重的势头。近 50 年长春市农业气象条件的变化对农业的影响有正负两种效应, 气候变暖可以增加热量资源, 延长作物生育期, 降低低温冷害发生的概率, 扩大优质高产种植品种的选择范围, 对农业生产有利, 属于正效应; 但另一方面, 降水减少和气候干燥限制了热量资源的有效利用, 尤其是干旱灾害频繁, 对农业生产将产生负效应。

参考文献

- [1] 王书裕. 作物低温冷害研究 [M]. 北京: 气象出版社, 1995: 116-120.
- [2] 马树庆. 吉林省农业气候研究 [M]. 北京: 气象出版社, 1996: 166-180.
- [3] 马树庆, 王琪. 东北区低温冷害致灾因素的分析 [J]. 自然灾害学报, 2003, 12(2): 182-187.
- [4] 孙玉亭, 王书裕, 杨永歧. 东北区作物冷害研究 [J]. 气象学报, 1983, 41(3): 313-321.
- [5] 姚佩珍. 近四十年东北夏季低温冷害的气候特征 [J]. 灾害学, 1995, 10(1): 51-56.
- [6] 崔锦, 李辑, 张爱忠, 等. 东北夏季低温的研究进展 [J]. 气象, 2007, 33(4): 3-10.

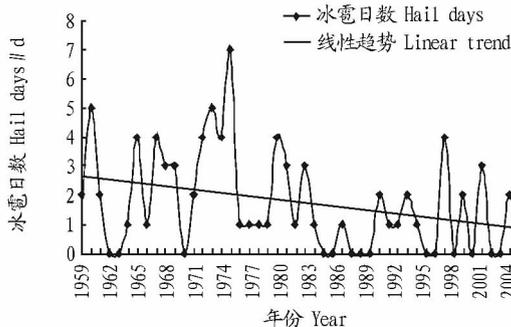


图 2 1959~2008 年长春市逐年平均冰雹日数

Fig. 2 The average hail days in every year in Changchun from 1959 to 2008