

中国北方地区 50 年来最高和最低气温 变化及其影响

王 菱, 谢贤群, 苏 文, 郭学兵

(中国科学院 地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要: 最高和最低温度的变化对农业和环境的影响比平均温度更加重要。自 20 世纪 50 年代以来, 中国北方最高和最低温度变化的特点是: 最低温度升温速率大于最高温度的升温速率; 冬季升温速率大于夏季; 偏北(纬度较高)地区的升温速率大于偏南(纬度较低)地区。黄淮海和西北区, 夏季最高气温呈下降趋势。对最高和最低温度变化作突变性检验, 年平均最高气温变化的突变点发生于 1992 年, 年平均最低温度变化的突变点发生于 1981 年。最低温度明显升高的年份远远早于最高气温, 这说明最低气温的变化比最高气温变化敏感, 中国北方气候变暖主要来自于最低温度升高的贡献。自 20 世纪 80 年代气候变暖以来, 中国北方喜温作物种植面积扩大, 作物种植北界向北推移。

关 键 词: 最高温度; 最低温度; 变化; 影响

中图分类号: P423.3

文献标识码: A

文章编号: 1000-3037(2004)03-337-07

自 20 世纪 50 年代以来, 全球温度不断升高, 对作物和环境产生了影响, 国内外学者对此进行了许多研究, 但大部分只限于平均温度变化的研究。对陆地生态来说, 最高和最低温度的变化对环境和植物生理活动有着更重要的作用, 因为日间最高温度对于植物的光合作用正常机能的控制、果品的品质、冰川积雪融化的影响非常重要; 高温低湿并伴随一定风速的天气, 也称干热风, 对作物生长、灌浆是非常不利的。夜间最低温度则对作物的呼吸作用、干物质积累的影响很重要; 春季低温对作物的返青、果树的开花, 夏季低温对东北区的水稻生长, 秋季低温对作物成熟, 冬季低温对作物的安全越冬都会产生不利影响, 甚至造成严重的寒(冻)害, 因此, 研究最高和最低温度变化对生态系统来说是很重要的。在许多情况下, 平均温度、最高温度和最低温度变化趋势不同, 以西北区的 4 个站(和布克赛、奇台、阿勒泰和乌鲁木齐)为例: 平均温度 20 世纪 90 年代比 60 年代上升 0.73°C , 最低温度上升 2.5°C , 而最高温度却下降了 0.64°C 。下面将对 50 年来中国北方地区最高和最低气温 50 年来的变化趋势进行分析, 并对它们对生态环境的影响作简单的概述。

1 研究区域和资料来源

中国北方是指淮河、秦岭和昆仑山以北的广大区域。秦岭、淮河从热量分布上来说, 为北亚热带和暖温带的分界; 从水分平衡上来说, 干燥(湿润)指数约等于 1.0, 也就是说, 降水和潜在蒸发的数值相近; 从耕作制度上, 在其以南以水田为主, 以北则以旱田为主, 历来视为我国地理上非常重要的南北分界线。为研究区域温度变化趋势, 把中国北方分为 5 个农业生态类型区^[1]: 东北区、黄淮海区、内蒙古高原及长城沿线区、黄土高原区和西北区, 从中选取资料年代较长的 120 个气象台(站), 自 20 世纪 50 年代建站以来, 至 2000 年的历年月平均最高、

收稿日期: 2003-10-29; 修订日期: 2004-01-29。

基金项目: 国家自然科学基金重大项目(49890330)。

第一作者简介: 王菱(1940~), 女, 大连市人, 研究员, 多年从事农田蒸发、气候变化等研究。

月平均最低气温,资料来源于中国气象局。

2 最高气温的变化

2.1 年平均最高气温的变化

表 1 是中国北方 5 个农业生态类型区年平均最高气温 10 年际变化,可以看出:东北区 20 世纪 60 年代平均最高气温比 50 年代略有下降,60 年代以后,最高气温在稳步上升,90 年代比 60 年代上升了 0.9℃。黄淮海区、内蒙古高原及长城沿线区、西北区 70 年代最高气温比 60 年代略有下降,也就是说,从 60 年代到 70 年代,除东北区外,北方大部分地区最高气温略微下降或保持稳定,80 年代开始回升,90 年代则明显上升,是年平均最高气温升温速率最快的 10 年。

表 1 中国北方年平均最高温度(℃)10 年际变化

地区	1951~1960	1961~1970	1971~1980	1981~1990	1991~2000	1990s~1960s
东北区	10.7	10.5	10.6	10.9	11.4	0.9
黄淮海区	18.9	19.0	18.8	19.0	19.3	0.3
内蒙古高原及长城沿线	13.6	13.9	13.8	14.1	14.6	0.7
黄土高原	16.7	16.5	16.5	16.5	17.3	0.8
西北区	15.4	15.7	15.6	15.7	16.1	0.4

2.2 最高气温的四季变化

表 2 是中国北方四季年平均最高气温的变化,可以看出:冬季(12~2 月)升温速率最快,以下依次为秋季(9~11 月)、春季(3~5 月)和夏季(6~8 月),90 年代比 60 年代分别上升 1.6℃、0.6℃、0.2℃和 0.1℃,50 年来,最高气温的变化以冬季升温起着重要作用。

表 2 中国北方四季平均最高温度(℃)10 年际变化

	1951~1960	1961~1970	1971~1980	1981~1990	1991~2000	1990s~1960s
12~2 月	-1.1	-1.2	-1.0	-0.6	-0.4	1.6
3~5 月	16.6	17.1	16.8	17.1	17.3	0.2
6~8 月	28.9	29.1	28.8	28.7	29.2	0.1
9~11 月	15.8	15.4	15.6	15.7	16.0	0.6

表 3 以冬季和夏季为例,进一步说明最高温度的区域和季节变化,可以看出:最高温度在季节变化上,冬季的升温速率大于夏季,在地域上,纬度较高地区的升温速率大于纬度较低的地区。冬季 10 年际变化呈明显上升趋势,东北区、内蒙古高原及长城沿线区、西北区、黄土高原和黄淮海区,90 年代比 60 年依次升高 2.0℃、1.8℃、1.5℃、1.4℃和 1.3℃;夏季在 70 年

表 3 中国北方冬季(12~2 月)夏季(6~8 月)最高气温(℃)10 年际变化

地区	1951~1960	1961~1970	1971~1980	1981~1990	1991~2000	1990s~1960s
东北区	-8.5	-9.1	-8.5	-8.0	-7.1	2.0
黄淮海区	4.4	4.8	4.8	4.9	6.1	1.3
冬季 内蒙古高原长城沿线	-2.8	-2.8	-2.2	-2.2	-1.0	1.8
黄土高原	3.2	3.3	3.3	3.5	4.7	1.4
西北区	-2.0	-2.2	-2.4	-1.2	-0.7	1.5
东北区	26.4	26.4	26.4	26.2	26.9	0.5
黄淮海区	31.2	31.4	30.7	30.9	31.2	-0.2
夏季 内蒙古高原长城沿线	27.5	28.0	27.7	27.9	28.3	0.3
黄土高原	28.8	28.8	28.6	28.2	29.1	0.2
西北区	30.8	30.9	30.6	30.4	30.5	-0.3

代和 80 年代呈下降趋势,90 年代略有上升,与 60 年代的差值依次是 0.5℃、0.3℃、-0.3℃、0.2℃和-0.2℃。值得注意的是,西北区和黄淮海区夏季最高温度降低了,这可能与其环境变化有一定关系。近 50 年来,黄淮海地区的农业生态环境发生了巨大变化,20 世纪 50~60 年代的盐碱地、风沙地、旱薄地得到改良,有效灌溉面积迅速扩大,如河南省新乡地区,目前灌溉面积已占耕地面积的 86.5%^[2],水稻面积扩大,农田林网的发展和复种指数的增加改变了下垫面的植被状况;在西北地区,由于大规模营造防护林,特别是“三北”防护林的建设,绿洲扩大,植被度增加,如西北区的河西走廊地区,截止 1995 年,共保存防护林面积 131.13×10⁴hm²,封山育林,四周植树折合面积 71.13×10⁴hm²,已初步形成片、带、网相结合,乔、灌、草相搭配的绿洲灌溉农业防护林体系,对改善生态环境起到明显的作用^[3]。植被覆盖度的增加,改变了地面热量平衡分量的变化,用于植被蒸腾和土壤蒸发耗热的能量增加,而用于空气增热的能量减少,最高气温相应地下降了。

3 最低气温的变化

3.1 年平均最低气温的变化

表 4 为中国北方地区年平均最低温度 10 年际区域变化,可以看出:各农业生态类型区的年平均最低温度都呈增加趋势,5 个生态类型区 20 世纪 90 年代比 60 年代依次增加 1.8℃、1.1℃、1.6℃、0.9℃和 0.7℃,与表 1 相比,最低温度的升温速率约为平均最高温度的升温速率的 2 倍左右。Thomas R.Karl 对全球陆地表面 1951~1990 年的月平均最高和最低气温变化研究表明,最低温度升高是最高温度升高的 2.78 倍^[4],这说明中国北方地区最低和最高温度的变化趋势与全球变化基本是同步的。

表 4 中国北方年平均最低温度(℃)10 年际变化

Table 4 The decadal change of annual mean minimum temperature(℃)in northern China

地区	1951~1960	1961~1970	1971~1980	1981~1990	1991~2000	1990s~1960s
东北区	-0.8	-1.0	-0.7	0.1	0.7	1.8
黄淮海区	7.8	7.9	8.2	8.6	9.0	1.1
内蒙古高原及长城沿线	0.6	0.7	1.1	1.7	2.2	1.6
黄土高原	3.8	4.0	4.2	4.4	4.9	0.9
西北区	2.5	2.5	2.7	3.0	3.2	0.7

3.2 平均最低气温的四季变化

表 5 为中国北方四季最低温度变化,可以看出:升温速率是冬季>春季>秋季>夏季;90 年代比 60 年代分别增加 2.4℃、1.1℃、0.8℃、0.6℃。

表 5 中国北方四季平均最低温度(℃)10 年际变化

Table 5 The decadal seasonal changes of mean minimum temperature (℃)in northern China

	1951~1960	1961~1970	1971~1980	1981~1990	1991~2000	1990s~1960s
12~2 月	-12.6	-13.1	-12.4	-11.6	-10.7	2.4
3~5 月	3.0	3.6	3.7	4.3	4.7	1.1
6~8 月	17.3	17.2	17.2	17.4	17.8	0.6
9~11 月	3.4	3.4	3.6	4.0	4.2	0.8

表 6 为冬季和夏季最低温度 10 年际区域变化,可以看出,冬季升温速率大于夏季,东北区、黄淮海区、内蒙古高原及长城沿线、黄土高原和西北区,冬季 90 年代分别比 60 年代增加 3.2℃、2.0℃、2.9℃、1.8℃和 2.3℃,夏季则依次为 1.1℃、0.5℃、0.8℃、0.7℃和-0.2℃;地理位置偏北地区的增温速率大于偏南地区。与表 3 的最高温度变化相比,最低温度的增温速率大于最高温度的增温速率。西北区夏季平均最低气温呈下降趋势,这与上面提到的植被覆盖度增加有关,用于植被蒸腾和土壤蒸发耗热的能量增加,而用于空气增热的能量减少,最高气温

相应地下降了,也影响到夜间最低温度的提高。

表 6 中国北方冬季(12~2月)夏季(6~8月)平均最低气温(°C)10年际变化

Table 6 The decadal changes of mean minimum temperature (°C) in winter (Dec-Feb) and summer (Jun-Aug) in northern China

地区	1951~1960	1961~1970	1971~1980	1981~1990	1991~2000	1990s~1960s
东北区	-20.4	-20.7	-19.8	-18.7	-17.5	3.2
黄淮海区	-5.9	-6.0	-5.1	-4.9	-4.0	2.0
冬季 内蒙古高原长城沿线	-15.9	-15.8	-14.8	-14.1	-12.9	2.9
黄土高原	-9.2	-9.2	-8.4	-7.9	-7.3	1.8
西北区	-14.5	-14.1	-13.6	-12.3	-11.8	2.3
东北区	16.1	15.9	15.9	16.5	17.1	1.1
黄淮海区	20.9	21.0	20.9	21.2	21.5	0.5
夏季 内蒙古高原长城沿线	15.8	15.9	15.9	16.4	16.8	0.8
黄土高原	16.5	16.3	16.4	16.3	17.0	0.7
西北区	16.9	16.7	16.7	16.5	16.5	-0.2

4 温差变化

图 1a 为中国北方地区 20 世纪 60 年代和 90 年代气温日较差月际变化比较图,可以看出:气温日较差的月际变化减小速率是冬、春季高于夏、秋季,这是因为冬季最低温度上升速率大于最高温度的上升速率,日较差减小速率比夏季快。图 1b 是中国北方气温年较差变化图。中国北方大陆性气候明显,气温年较差大,50 年来,年较差呈波动下降趋势,平均每 10 年下降 0.69°C。

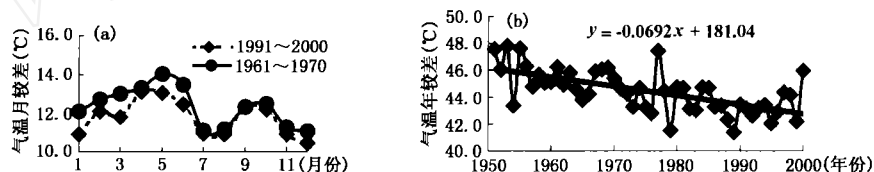


图 1 中国北方日较差月际变化(a)和年较差变化(b)

Fig.1 The monthly changes in daily range of temperature (a) and annual range (b) in northern China

5 最高和最低温度变化趋势的检验

利用 Mann-Kendall 气候突变统计诊断技术^[9],对中国北方地区最高和最低温度变化作突变性检验。图 2 中 UF_k 为温度的顺序统计量曲线, UB_k 为温度逆序统计量曲线,并给定显著性水平:当 $\alpha = 0.05$,临界线 $U = \pm 1.96$ 。若 UF_k 或 UB_k 的值大于 0,则表明温度序列呈上升趋势,小于 0,则表明呈下降趋势。如果 UF_k 和 UB_k 两条曲线出现交点,且交点在两条临界线之间,那么交点对应的时间便是突变开始时间。当统计量曲线超过临界线 $U = \pm 1.96$ 时,为出现突变的时间区域。图 2a 为中国北方年平均最高气温的 Mann-Kendall 统计量曲线,可以看出:

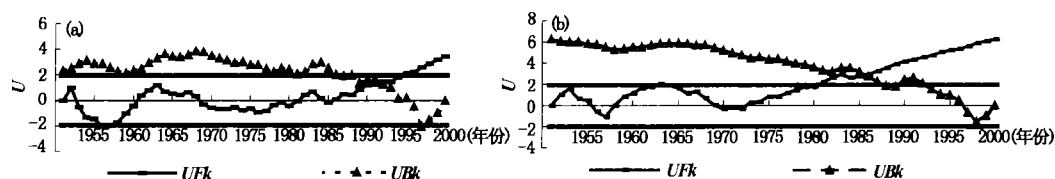


图 2 中国北方年平均最高气温(a)和年平均最低气温(b)Mann-Kendall 统计量曲线

Fig.2 Statistical Mann-Kendall curves of annual mean maximum temperature(a) and annual mean minimum temperature(b) in northern China

最高气温变化的突变点发生时间为 1992 年,明显升高发生于 1994 年,信度超出 $U_{0.05}>+1.96$ 。图 2b 是年平均最低温度统计量曲线,年平均最低温度呈明显上升趋势发生的时间为 1981 年,信度超出 $U_{0.05}>+1.96$ 的时间远远早于最高气温明显升高的年份(1994 年),这说明最低气温的变化比最高气温变化敏感。

50 年来,北方各地的最低气温都呈明显上升趋势,只是信度超出 $U_{0.05}>+1.96$ 发生的时间不同:内蒙古高原及长城沿线最低气温呈明显上升趋势发生时间为 1976 年,以下依次为黄土高原(1977 年)、黄淮海区(1982 年)、东北区(1987 年),西北区为 1993 年(图略)。与最低温度变化趋势相比,最高温度的变化趋势,只有东北区和内蒙古高原及长城沿线区的最高温度有明显升高的趋势(前者信度超出 $U_{0.05}>+1.96$ 发生的时间为 1987 年,后者为 1993 年)。黄淮海区、黄土高原区和西北区 50 年来最高温度的正向统计量曲线(UF_k)在 $U_{0.05}=\pm 1.96$ 之间变动,最高温度未有明显升高(降低)的趋势(图略)。从上述分析可以得出这样的结论:中国北方大部分地区气温的上升主要来自于最低温度的升高。

6 最高和最低温度变化对环境和农业的影响

6.1 西北冰川变化

西北地区年平均温度 90 年代比 60 年代平均升高 1.1°C ^[6],但对西北冰川变化的研究结果表明:近年来,我国西北多数冰川的长度和面积退缩量及其变率减少,稳定或前进冰川数量增多^[7]。究其原因有以下 3 个方面:①影响冰川变化的主要是夏季最高温度的变化,冰川通常发育在海拔高的山区,由于气温随海拔高度上升而下降,即使在夏季,山区的温度也很低,因此,夏季最高气温的变化对冰雪融化起着重要作用,50 年来,我国西北地区平均气温和最低气温在升高,但夏季最高气温却呈下降趋势,90 年代比 60 年代下降了 0.3°C (表 3),因而对冰川的稳定起着重要的作用;②近年来西北区降水量增加,根据统计,西北区降水量 90 年代比 60 年代平均增加 23.1mm ^[6];③潜在蒸发下降,潜在蒸发是表征大气蒸发能力的一个量度,是水分平衡的重要分量,计算结果表明,西北区 90 年代的潜在蒸发平均比 60 年代减少 102.9mm ^[6]。由于雪线或冰川附近一般都缺乏气象观测资料,通常依据气象资料随高度变化规律进行推算,根据气温随海拔高度下降、降水随高度增加和潜在蒸发随海拔高度降低(辐射平衡是决定潜在蒸发的主要因子,辐射平衡随海拔高度降低)的规律,可以推断:在雪线附近 90 年代比 60 年代的最高温度应该是下降的,而雨(雪)量是增加的;潜在蒸发减少,这样的气候变化有利于冰川的稳定或增长。

6.2 对农业生产的影响

中国北方地区热量资源有限,作物生长常受低温影响,50 年来,由于气候变暖,特别是最低温度的升高,使作物生长的热量条件有所改善,作物的低温寒害得到一定的缓解,如黑龙江省为我国重要的商品粮基地,由于所处地理纬度较高,冷害发生频繁,且具有一定的群发性和周期性,成为粮食生产波动的重要原因,在 1949~1996 年的 48 年间,粮食产量大幅度下降有 60% 的年份是由于较严重的冷害造成的,如 1957、1969、1972、1976、1981 和 1993 年都是冷害年,减产幅度均在 10%~30%,低温冷害是造成黑龙江省农业生产最主要的气象灾害之一。低温冷害发生较严重年份以 20 世纪 60~70 年代居多;80~90 年代低温危害相对较少^[8],近年来水稻种植面积扩大,并能引种一些相对晚熟品种,对增加作物产量起到一定作用,这固然与气候变暖有一定关系,但另一方面也与使用薄膜覆盖、早育稀植等一些新的耕作措施有关。

冬季最低温度的升高对作物的安全越冬有利,作物种植北界向北推移了。近年来,有关冬小麦北移问题被许多研究者所关注^[9],据研究:最冷月平均温度等于 -8°C 的等温线构成了我国冬小麦种植北界和海拔高度上界^[10],按照这一标准,冬小麦种植北界,在 60 年代为辽宁的丹东、营口,河北的青龙,山西的大同、兴县,陕西省的吴旗等地,由于冬季最低温度的升

高,到 90 年代,冬小麦种植北界在理论上可北移至辽宁的宽甸、锦州,河北的承德、张家口,山西的河曲,宁夏的银川一线。但是,冬小麦北移界线只是代表平均状况,在实际运用中,存在着许多的不确定因素,而且这种平均状况往往掩盖了最低温度的瞬时变化,冬小麦寒害的发生往往是瞬时的。气候变暖只是种植制度发生变化的一种可能性,一个地区种植制度和种植方式不仅取决于气候条件,还要考虑土壤、品种、生产水平、经济环境、社会需求、劳动力资源及技术水平,要根据当地具体情况,科学评价北移的利弊和风险。

气候变化对农业的影响是通过产量和质量变化来实现的。从作物本身的生物学特性来说,对最高和最低温度的变化有一定的适应性,在科学技术相当发达的今天,气候变化不会立即造成农业生产的变化,但是气候变化确实对作物和环境产生了影响。为确保人类的安定生活,应对气候变化及其影响特别加以关注。

参考文献(References):

- [1] 陈百明.中国农业资源综合生产能力与人口承载能力[C].北京:气象出版社,2001.50~56.[CHEN Bai-ming.Integrate Productivity of Agricultural Resources and Carrying Capacity.Beijing:Meteorological Press,2001.50~56.]
- [2] 徐富安,赵炳梓.豫北地区水分生态环境要素演变及其原因初探[J].地理科学进展,1998,17(增刊):71~77.[XU Fu-an, ZHAO Bing-zi.The development of ecological environment factors related with water in North Henan Province.*Progress in Geography*,1998,17(supplement):71~77.]
- [3] 王根绪,程国栋,沈永平.近 50 年来河西走廊区域生态环境变化特征与综合防治对策[J].自然资源学报,2002,17(1):78~85.[WANG Gen-xu,CHENG Guo-dong,SHEN Yong-ping.Features of eco-environmental changes in Hexi Corridor Region in the last 50 years and comprehensive control strategies.*Journal of Natural Resources*,2002,17(1):78~85.]
- [4] Thomas R Karl, Richard W Knight, Kevin P Callo,et al.A new perspective on recent global warming:A symmetric trends of daily maximum and minimum temperature[J].*Bulletin of the American Meteorological Society*,1993,74(6):1007~1024.
- [5] 魏凤英.现代气候统计诊断与预测技术[M].北京:气象出版社,1999.[WEI Feng-ying.Technology of Statistical Diagnosis and Prediction of Modern Climate.Beijing:Meteorological Press,1999.]
- [6] 王菱,谢贤群,李运生,等.中国北方地区 40 年来湿润指数和气候干湿带界线的变化[J].地理研究,2004,(1):45~54.[WANG Ling,XIE Xian-qun,LI Yun-sheng,et al.Changes of humid index and border line of wet and dry climate zone in North China over the past 40 Years.*Geographical Research*,2004,(1):45~54.]
- [7] 康尔泗,程国栋,董增川.中国西北干旱区冰雪水资源与出山迳流[M].北京:科学出版社,2002.[KANG Er-si,CHENG Guo-dong,DONG Zeng-chuan.Glacier—snow water resources and mountain runoff in the arid area of Northwest China.Beijing: Science Press,2002.]
- [8] 祖世享,祖雪梅.黑龙江省农作物冷害气候区划[J].中国农业气象,1999,20(2):1~7.[ZU Shi-heng,ZU Xue-mei.Climatic zoning for cool injury to crops in Heilongjiang Province.*Chinese Journal of Agrometeorology*,1999,20(2):1~7.]
- [9] 邹立坤,张建平,姜青珍,等.冬小麦北移种植的研究进展[J].中国农业气象,2001,22(2):53~57.[ZOU Li-kun,ZHANG Jian-ping,JIANG Qing-zhen,et al.Research and development of winter wheat growing in northern region.*Chinese Journal of Agrometeorology*,2001,22(2):53~57.]
- [10] 邓根云.气候变化对中国农业的影响 [C].北京:北京科学技术出版社,1993.263~281.[DENG Gen-yun.The Impact of Climate on Agriculture in China.Beijing: Beijing Science and Technology Press,1993. 263~281.]

Changes of maximum and minimum temperature and their impacts in northern China over the second half of the 20th century

WANG Ling, XIE Xian-qun, SU Wen, GUO Xue-bing

(Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

Abstract: Since the second half of the 20th century, many researchers at home and abroad have studied global temperatures rising and its impacts on crops and environment. But most of the studies have been only limited to the change of mean temperature. For the terrestrial ecosystem, the daily maximum temperature is the important factor determining the normal photosynthetic mechanism control, fruit quality and glaciers melting. Moreover, the minimum temperature at night is important for crop respiration, dry material accumulation, and crops overwintering. Therefore, changes of the maximum and minimum temperatures are more important than the mean temperature in terms of their impacts on environment and physiological activities of plants.

In terms of the seasons, the rising rate of temperature in winter is higher than that in summer.

In terms of regions, the rising rate of temperature in the northern part of northern China is higher than that in the southern part of northern China. The maximum temperature in summer tends to decline in Huang-Huai-Hai plain.

In terms of the temperature types, the rising rate of the minimum temperature is higher than that of the maximum temperature.

A sudden change test was made for the maximum and minimum temperature of northern China by using Mann-Kendall climate sudden change statistics check method. The results show that the sudden change point of annual mean maximum temperature was in 1992, and the temperature evident rising occurred in 1994. The evident rising of annual mean minimum temperature occurred in 1981, and the time of the occurrence in sudden change point of minimum temperature is far prior to that of maximum temperature. These facts indicate that the change of the minimum temperature is more sensitive than that of the maximum temperature. It is concluded that the main contributor of climate warming in northern China is the rising of the minimum temperature. Meanwhile, since the occurrence of global evident warming in the 1980s, the growing area of thermophilic crops in northern China has been expanded and the north limit of crops cultivation has been shifted northward.

Key words: maximum temperature; minimum temperature; change; impact