

中国西北地区最高、最低气温的非对称变化*

马晓波

(中国科学院兰州高原大气物理研究所, 兰州, 730000)

摘 要

利用中国西北地区 4 个台站 1932~1992 年月平均最高气温(T_{\max})、最低气温(T_{\min})及气温日较差(DTR), 1971~1992 年总云量及低云量资料, 分析了西北干旱区最高、最低气温的非对称变化和可能影响因子, 并与华北地区、中国东部及北半球进行了比较。发现中国西北地区普遍存在非对称变化现象, 可分为 3 种类型: ①西北东部型, 以西安、兰州为代表, T_{\max} 显著下降, 最大达 $-0.31\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$; T_{\min} 显著上升, 最高为 $0.41\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$; ②西北中部型, 以安西为代表, T_{\max} 和 T_{\min} 都显著下降, 但 T_{\max} 下降幅度大于 T_{\min} ; ③西北北部型, 以乌鲁木齐为代表, T_{\max} 和 T_{\min} 都显著上升, 但 T_{\min} 上升幅度大于 T_{\max} 。 T_{\max} 下降主要表现在夏季, T_{\min} 上升主要表现在冬季, DTR 在所有季节均显著下降, 最大为 $-0.79\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, 冬季、春季、秋季及年下降幅度较大, 夏季较小。与华北地区和中国东部相比, 西北地区非对称变化的幅度更大, DTR 大 1~4 倍。也大于北半球的变化幅度。总云量与 DTR, T_{\max} 有显著的负相关, 东部高于中部和北部, 最高可达 -0.92 , 低云量的影响不大。

关键词: 中国西北地区, 最高最低气温, 非对称变化。

1 引 言

气候变暖是当今全球变化研究中的一个重要内容, 从 19 世纪末到 20 世纪 80 年代, 全球平均气温大约上升 $0.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ^[1]。气候模拟结果表明, 在 CO_2 浓度增加的情况下, 白天和夜间将出现基本相同的变暖情况^[2]。但事实并非如此, Karl 等^[3]发现 1951~1990 年全球日平均最高气温仅增加了 $0.28\text{ }^{\circ}\text{C}$, 而日平均最低气温却增加了 $0.84\text{ }^{\circ}\text{C}$, 相差 3 倍, 中国东部 1951~1988 年冬季和夏季气温日较差分别下降了 $3.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $2.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。谢庄等^[4]分析了北京最高最低气温后指出 1 月最低气温倾向率为 $4.08\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{a}$, 7 月最高气温倾向率为 $-0.245\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{a}$ 。笔者通过对中国西北地区 4 个代表台站的资料分析, 并与中国华北、东部和北半球进行比较, 分析其变化特点及可能的影响因子。

2 资料与方法

中国西北地区地域辽阔, 地形复杂, 但台站稀少, 有比较完整的最高、最低气温观测资料的台站就更少, 经过筛选, 确定以年限较长且连续性较好的西安、兰州、安西、乌鲁木齐

* 初稿时间: 1997 年 6 月 28 日; 修改稿时间: 1998 年 10 月 6 日。
资助课题: 我国西北地区干旱气候变化规律及趋势。

4 站,分析月平均最高、最低气温及气温日较差(以下均以 T_{\max} , T_{\min} , DTR 表示;其中 $DTR = T_{\max} - T_{\min}$)的变化趋势,并与华北(以北京为代表)、中国东部及北半球进行了比较,结合云量资料,探讨云与非对称变化的关系。台站资料年限最长为北京(1915~1992 年),最短为乌鲁木齐(1941~1992 年)。为减少由于资料年限不一造成的误差,实际分析中选用 1932~1992 年资料,对缺测资料利用自回归模型进行插补^[5]。

台站位置的迁移对气温的影响可通过迁移前后气温资料连续性的检验来判断。李栋梁^[8]、谢庄等^[4]认为兰州和北京气温资料基本不受台站迁移的影响,调查表明西安基本未迁移,安西的迁移也非常小,因此这 4 个站的资料可以认为是连续的。乌鲁木齐在水平方向基本没有迁移,只是在 1975 年前后海拔高度有变化。为了检验乌鲁木齐高度的变化对资料连续性是否有较大影响,利用均值检验方法进行了统计检验,结果表明进行高度订正后连续性和变化趋势均未受到影响。

城市热岛效应对气温的影响程度随城市的规模、人口多少及地理位置而异,很难有一个统一和准确的量化标准,谢庄等^[4]认为北京气温变化主要是自然因素造成的。由于北京和西北 4 站同属北方,纬度相差不大,但北京城市规模和人口都远远大于其它台站,徐国昌^[9]曾估计兰州城市热岛效应最大可达 0.3°C ,因此可以认为西北地区气温变化也主要是由自然因素造成的。

为便于比较,所有的资料均计算成距平值,平均时段为 1961~1990 年。

3 结 果

从表 1 可看出在气候变暖的背景下^[6],西北地区普遍存在非对称变化现象,即 T_{\max} , T_{\min} 变化趋势不一致甚至相反,而 DTR 却一致显著减小的特点。这表明非对称变化在中国是一个普遍现象,但在西北地区又有其明显的地域特点,可分为 3 种类型:① T_{\max} 显著下降, T_{\min} 显著上升,以西安、兰州为代表,称为西北东部型;② T_{\max} 显著下降, T_{\min} 也显著下降,但 T_{\max} 下降幅度大于 T_{\min} ,以安西为代表,称为西北中部型;③ T_{\max} 显著上升, T_{\min} 也显著上升,但 T_{\min} 上升幅度大于 T_{\max} ,以乌鲁木齐为代表,称为西北北部型。

西北地区非对称变化存在明显的季节变化,除冬季外,其它季节 T_{\max} 下降都很显著,以西北中部的安西最为显著,达 $-0.66^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ (7 月),是北京 的 2 倍($-0.33^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, 5 月),中国东部的 3.7 倍;西北北部的乌鲁木齐 T_{\max} 与其它地方相反,基本上都呈上升趋势,冬季最为显著,最大达 $0.85^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ (12 月); T_{\min} 上升在西北东部和北部主要表现在冬季和年,上升最明显的是乌鲁木齐,达 $1.57^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ (1 月),夏季呈下降趋势,不过并不十分显著;西北中部与其它地区相反,包括年在内有 8 个月 T_{\min} 显著下降,夏季最为显著,达 $-0.53^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ (7 月),而冬季上升很弱。由此可见,在总体变暖的背景下,西北地区东部冬季夜间趋于温暖,夏季白天趋于凉爽,这与西北地区、全国及北半球平均气温变化趋势很相似,但西北中部却出现夜间变冷,白天也变冷,白天变冷幅度大的现象;西北北部则是夜间变暖,白天也变暖,夜间变暖幅度大,这说明 T_{\max} 和 T_{\min} 的非对称变化比较复杂,因而对影响它的因子和由此带来的相应的气候变化要进行深入的分析研究。虽然如此,与北半球及全球一样,西北地区和华北以及中国东部 DTR 一致显著下降,冬季下降幅度大于夏季, DTR 下降最大在西北东部,达 $0.79^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ (兰州, 2 月),是北京 的 2.88 倍。这是一个普遍

表 1a T_{\min} , T_{\max} , DTR 线性趋势(单位: $^{\circ}\text{C}/10\text{a}$)

站名	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年
T_{\min}	0.41 ^c	0.23 ^c	0.14	0.17 ^b	0.05	-0.02	-0.21 ^b	-0.10	0.07	0.19 ^b	0.20 ^b	0.23 ^b	0.13 ^c
T_{\max}	0.01	-0.06	-0.28 ^b	-0.14	-0.45 ^c	-0.40 ^c	-0.45 ^c	-0.25 ^a	-0.06	-0.15	-0.07	0.00	-0.17 ^c
DTR	-0.40 ^c	-0.29 ^b	-0.42 ^c	-0.31 ^c	-0.50 ^c	-0.38 ^c	-0.24 ^b	-0.15	-0.12	-0.34 ^b	-0.27 ^b	-0.23 ^b	-0.30 ^c
T_{\min}	0.72 ^c	0.55 ^c	0.37 ^c	0.24 ^c	0.18 ^b	0.05	-0.03	-0.04	0.03	0.19 ^a	0.48 ^c	0.59 ^c	0.31 ^c
T_{\max}	0.09	-0.24	-0.22 ^a	0.04	-0.21 ^b	-0.26 ^c	-0.03	0.09	-0.04	-0.02	0.07	-0.02	-0.04
DTR	-0.64 ^c	-0.79 ^c	-0.58 ^c	-0.20 ^b	-0.39 ^c	-0.31 ^c	0.00	0.13	-0.07	-0.21	-0.41 ^c	-0.62 ^c	-0.35 ^c
T_{\min}	0.10	-0.10	-0.31 ^b	-0.03	0.12	-0.36 ^c	-0.53 ^c	-0.48 ^c	-0.18	-0.12	0.25 ^b	0.13	-0.12 ^b
T_{\max}	-0.03	-0.21	-0.48 ^c	-0.24 ^a	-0.27 ^b	-0.63 ^c	-0.66 ^c	-0.49 ^c	-0.45 ^c	-0.34 ^b	0.04	0.05	-0.31 ^c
DTR	-0.13	-0.11	-0.17 ^a	-0.21 ^a	-0.40 ^c	-0.27 ^b	-0.13	-0.03	-0.28 ^b	-0.22 ^b	-0.21 ^b	-0.06	-0.19 ^c
T_{\min}	1.16 ^c	0.97 ^c	0.43	0.38 ^a	0.45 ^a	0.20	0.29	0.12	0.22	0.17	0.67 ^b	0.46 ^c	0.55 ^c
T_{\max}	0.48 ^b	0.54 ^a	-0.03	0.10	0.10	0.05	0.09	0.03	0.08	-0.04	0.37	0.85 ^c	0.24 ^b
DTR	-0.68 ^c	-0.43 ^c	-0.46 ^c	-0.27 ^b	-0.36 ^c	-0.15 ^b	-0.20 ^b	-0.09	-0.14 ^c	-0.21 ^a	-0.30 ^b	-0.61 ^c	-0.31 ^c
T_{\min}	0.36 ^c	0.38 ^c	0.40 ^c	0.36 ^c	0.18 ^b	0.12 ^a	0.03	0.08	0.08	0.31 ^c	0.29 ^c	0.35 ^c	0.25 ^c
T_{\max}	0.11	-0.01	0.04	-0.09	-0.33 ^c	-0.25 ^c	-0.28 ^c	-0.09	-0.21 ^c	-0.32 ^c	-0.09	0.04	-0.09
DTR	-0.13 ^b	-0.18 ^c	-0.19 ^c	-0.18 ^c	-0.25 ^c	-0.19 ^c	-0.14 ^c	-0.08 ^b	-0.15 ^c	-0.27 ^c	-0.17 ^c	-0.17 ^c	-0.16 ^c

注:北京、西安、兰州计算年代为1932~1992年;安西为1932~1992年;乌鲁木齐为1941~1992年。

a, b, c 分别表示通过 0.1, 0.05, 0.01 信度水平检验

表 1b 中国东部 44 站(1951~1988 年)及北半球(1951~1990 年) T_{\min} , T_{\max} , DTR 线性趋势($^{\circ}\text{C}/10\text{a}$) (a, b, c 说明表 1a)

	中国东部						北半球					
	冬	春	夏	秋	年	冬	春	夏	秋	年		
T_{\min}	0.35 ^c	0.14 ^b	-0.08	0.10	0.13 ^c	0.29	0.32	0.08	0.13	0.20		
T_{\max}	0.05	-0.08	-0.18 ^b	0.06	-0.07	0.13	0.20	-0.03	-0.04	0.05		
DTR	-0.30 ^c	-0.22 ^c	-0.10 ^c	-0.16 ^c	-0.20 ^c	-0.15	-0.13	-0.11	-0.17	-0.14		

的事实,而 T_{max} , T_{min} 的非对称变化在西北地区表现更为强烈,为了能更清楚地反映 T_{max} , T_{min} 及 DTR 的地区差异、季节和年代际变化特点,下面分别讨论冬季、夏季和年的情况。

由图 1 可见, T_{max} 除乌鲁木齐有明显的上升外(0.48°C/10a, 1月),其它地方没有显著的变化趋势,根据图 1 及年代际变化(图略),西北地区冬季 T_{max} 普遍存在两个暖期和一个冷期,暖期在 1940 年代和 1980 年代,冷期从 1950 年代持续到 1970 年代,西北地区东部 1930 年代也是冷期,1980 年代以来开始明显回升,但东部还没有超过 1940 年代水平,中部和北部则是最炎热的时期,这些变化与平均气温的变化趋势基本一致,在最暖期的时间上有一定差异,而且变化幅度比华北 T_{max} 要大; T_{min} 西北东部、北部均显著上升,中部变化不大,冬季夜间变暖最大为乌鲁木齐(1.16°C/10a, 1月),其次为兰州(0.72°C/10a, 1月)和西安(0.41°C/10a, 1月),西北地区 T_{min} 1930 年代~1960 年代持续为冷期,1950 年代为最冷期,1970 年代开始回升,1980 年代是西北地区冬季夜间最温暖的时期;乌鲁木齐虽然白天、夜间均增温,但夜间比白天大 2.4 倍,所以 DTR 仍然呈下降趋势。同样,西北地区 T_{min} 变化幅度也大于华北;冬季 DTR 显著下降,最大在乌鲁木齐(-0.68°C/10a, 1月),其次为兰州(-0.64°C/10a, 1月)和西安(-0.42°C/10a, 3月)为华北的 2.97~5.02 倍。

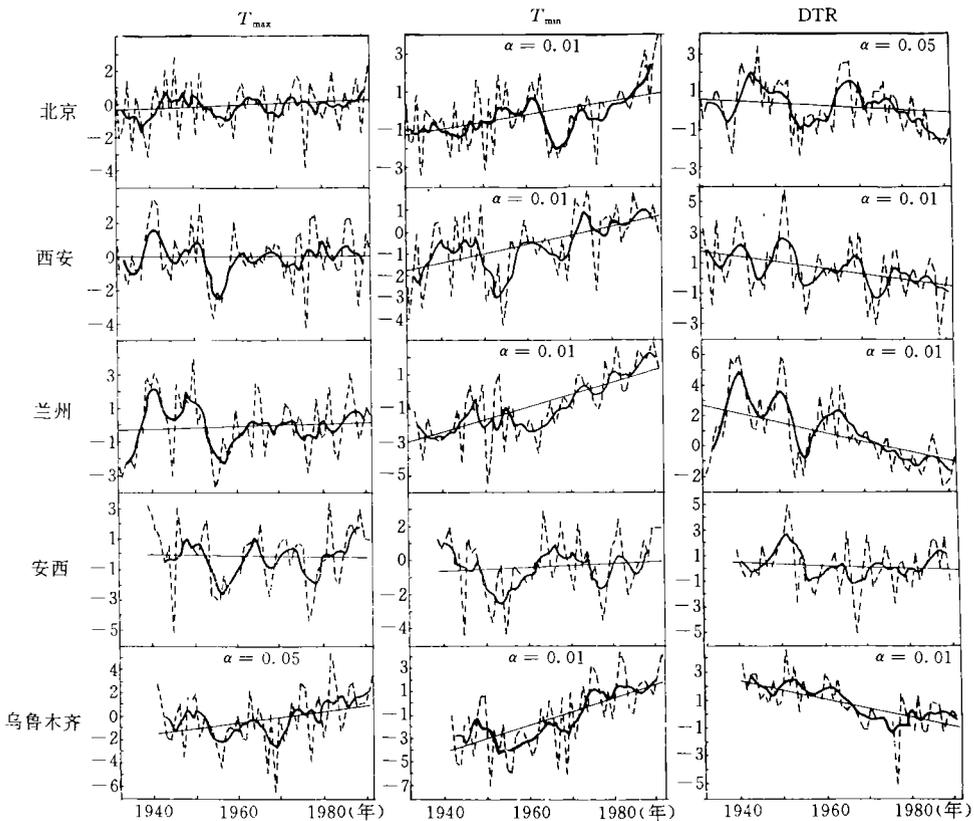


图 1 冬季西北地区及北京 T_{max} , T_{min} 及 DIR 变化曲线

以上分析表明冬季夜间变暖是冬季变暖的主要原因,可能也是全年变暖的主要贡献

者。

由图 2 可见,夏季变化比冬季复杂,主要特点是 T_{max} , T_{min} 下降, T_{max} 在西北东部和中部最为明显,安西下降最大,达 $-0.66\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ (7 月), T_{min} 下降安西达 $-0.53\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ (7 月),西安为 $-0.21\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ (7 月),兰州和乌鲁木齐略有上升,但并不十分显著,也就是说西安变成西北中部型,从表 1 发现西安仅在夏季表现出这一类型。DTR 仍然呈一致下降趋势,最大为 $-0.38\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ (西安,6 月),只是幅度比冬季小,但仍比华北大 $1\sim 1.65$ 倍。西北地区夏季 T_{max} 年代际变化主要有两个暖期和两个冷期,暖期为 1940 年代~1950 年代,冷期为 1980 年代; T_{min} 年代际变化西北地区东部 1960 年代以前为暖期,最暖期在 1940 年代前后,1970 年代和 1980 年代为冷期,1980 年代为最冷期,西北地区北部 1960 年代为暖期,其余均为冷期,最冷在 1950 年代。

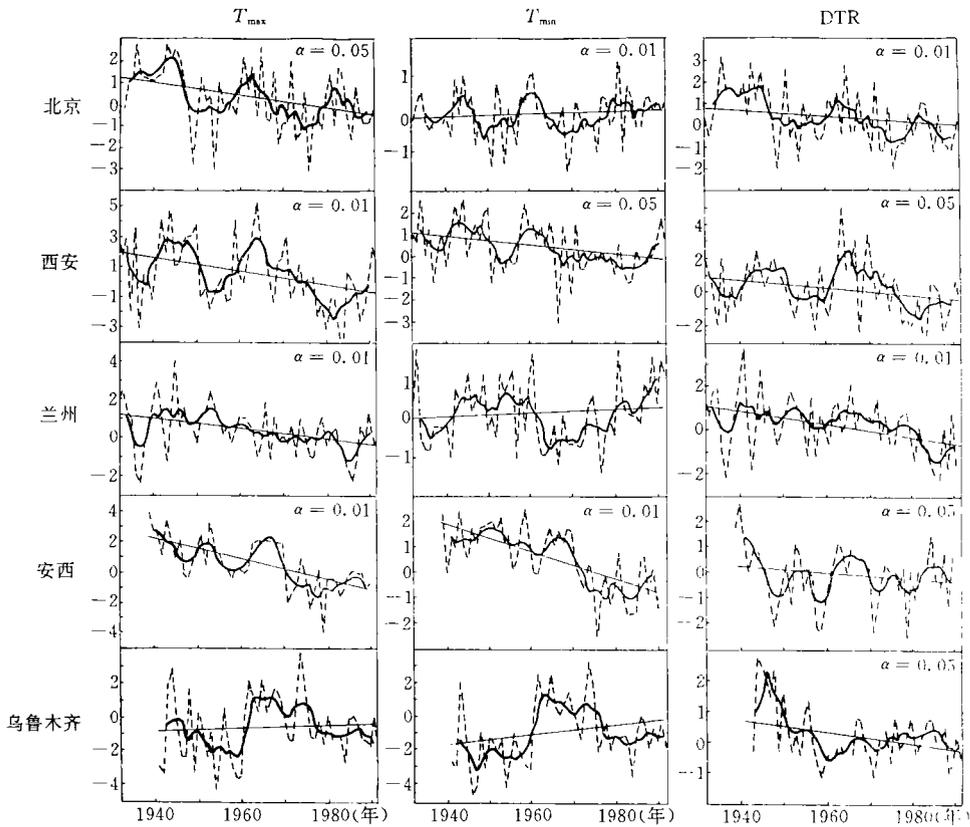


图 2 夏季西北地区及北京的 T_{max} , T_{min} , DTR 变化曲线

由年际图(图略)可见:年的变化表现为前面所划分的 3 种类型,即西北东部型、西北中部型和西北北部型, T_{max} 下降最大在安西,为 $-0.31\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, T_{min} 上升最大为乌鲁木齐,为 $0.55\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, DTR 下降最大为兰州,为 $-0.35\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 。对东部和中部而言,1940 年代为最暖期,1970 年代至 1980 年代为冷期,对北部来说,1960 年为暖期,其余均为冷期,最冷期为 1950 年代。

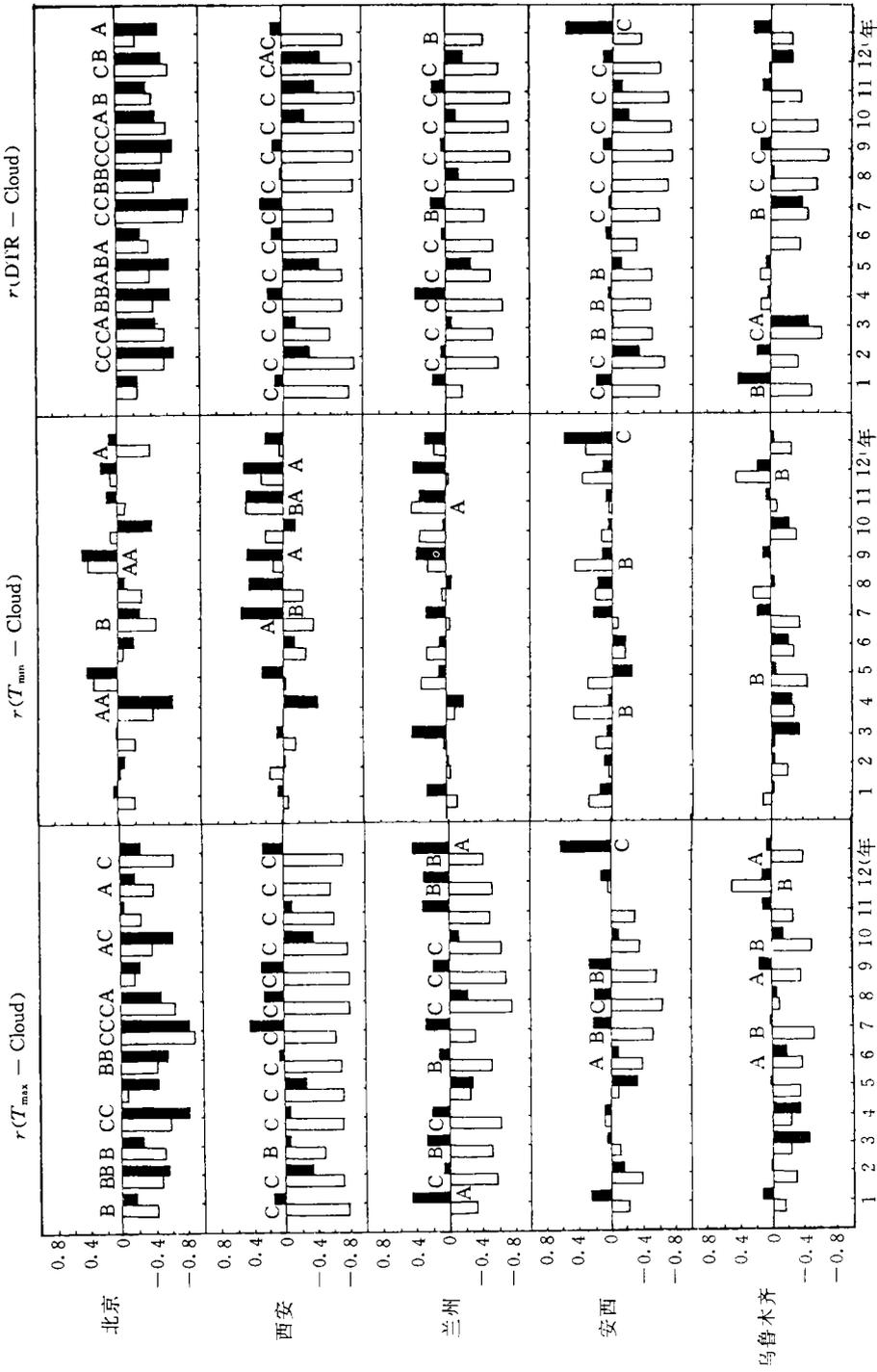


图3 1~12月及全年 T_{max} , T_{min} 及 DTR 与总云量和低云量的相关系数

(横坐标 1, 2, …, 12 的单位为月, □ 为与总云量的相关分数, ■ 为与低云量的相关分数; A, $\alpha=0.1$; B, $\alpha=0.05$; C, $\alpha=0.01$)

Karl 等^[3]指出 DTR 下降与多种因素有关,如云量、风速、湿度、大气中气溶胶及温室气体的含量等等,其中云量是最直接和关系较密切的一个,美国秋季 DTR 与云量的相关系数达 -0.96 。为了探讨影响西北地区非对称变化的可能原因,研究中利用西北地区各站总云量(1971~1992)和低云量(1979~1992)资料分别计算了与 T_{\max} , T_{\min} 及 DTR 的相关系数(图 3)。

由图 3 可见西北地区总云量与 DTR 有显著的负相关,最高为 -0.92 (西安,11 月)。在西北东部最显著,甚至高于华北,而在西北中部和北部次之,有趣的是,虽然云量和 DTR 都有明显的季节变化,但相关系数随季节变化却很小,负相关最高的月也不是云量最多的季节。总之,总云量对 T_{\max} 的负相关在西北东部仍然很高,达 -0.81 (西安,8 月),但在中部和北部要弱得多;与 T_{\min} 的相关则更弱,还不如与平均气温的相关系数高。因此,总云量对白天最高气温的影响要远远超过对夜间最低气温的影响。

西北地区气候干旱,低云量很少,平均不到总云量的 20%,冬季很多月份低云量甚至为零,因此低云对西北地区 T_{\max} , T_{\min} 及 DTR 的影响自然不明显,事实上,图 3 中西北地区几乎没有与低云量较好的相关,而北京低云量与 T_{\max} , T_{\min} 及 DTR 有较好的负相关,有些月份甚至超过总云量的影响。

4 结 论

通过对西北地区 T_{\max} , T_{\min} 及 DTR 非对称变化的分析,并与华北、中国东部及北半球的比较,可以就中国西北地区最高最低气温的非对称变化得出以下几点结论:

1. 西北地区最高最低气温普遍存在非对称变化,有 3 种类型:①西北地区东部表现为 T_{\max} 显著下降(最大可达 $-0.45^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,西安,5 月), T_{\min} 显著上升(最高可达 $0.79^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,兰州,2 月);②西北地区中部表现为 T_{\max} , T_{\min} 同时显著下降,但 T_{\max} 下降幅度大于 T_{\min} , 最大为 $-0.66^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ (7 月);③西北地区北部 T_{\max} , T_{\min} 同时显著上升,但 T_{\min} 上升幅度大于 T_{\max} , 最大为 $1.16^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ (1 月)。

2. 西北地区最高最低气温的非对称变化有明显的季节变化,东部 T_{\max} 下降主要在夏季,中部除冬季外所有季节都显著下降,北部 T_{\max} 上升主要是在冬季及年平均最高气温; T_{\min} 在东部上升主要是在除夏季以外的所有季节,中部集中在夏季及春、秋个别月份和年,北部主要集中在冬季及年、春、秋个别月份。西北北部是变化振幅最大的地区。西北地区是中国非对称变化振幅最大的地区,最大可比华北大 2.88 倍,也大于北半球和全球的变化幅度。

3. 西北地区 DTR 普遍呈显著下降趋势,最大可达 $-0.79^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ (兰州,2 月)。冬季下降幅度高于夏季。西北地区 DTR 下降幅度高于华北、中国东部及北半球。

4. 西北地区总云量与 DTR 有显著的负相关,东部相关系数最大,可达 -0.92 (西安 11 月),其次为中部(最大为 -0.75 ,9 月)和北部(最大为 -0.69 ,9 月),季节变化很小,总云量对 T_{\max} 的影响比 T_{\min} 要大;低云量在西北地区的绝对数量和占总云量中所占的比例都很小,因此对 T_{\max} , T_{\min} 及 DTR 的影响很小。

5 讨论

研究所用的台站除安西外都位于大城市, Jones 等^[7]指出城市化可以造成北半球百年时间尺度上平均气温上升 0.5°C , Karl 等^[3]估计热岛效应对 DTR 的影响可达 0.1°C , 谢庄等^[4]认为北京最高、最低气温的非对称变化主要是自然变化的结果, 对包括大城市台站资料在内的气候变暖的分析, 不考虑城市热岛效应的影响显然是不行的, 在西北地区显得更加重要, 但这是一个复杂的问题, 和其它影响非对称变化的重要因子一样不在讨论范围。因此, 要完全弄清产生这种变化的自然和非自然因素及其对气候变化可能产生的影响, 还需要做大量的工作。

致谢: 高玲同志为本文资料搜集和录入做了大量细致认真的工作, 作者在此表示衷心的感谢。

参考文献

- 1 王绍武. 气候系统引论. 北京: 气象出版社, 1994. 54~59
- 2 李永红译. 气候变化: 白天温暖, 夜晚炎热. 地球科学进展, 1996, 11(4): 402~403
- 3 Karl T R. et al. Asymmetric trends of daily maximum and minimum temperature. Bull Amer Meteor Soc, 1993, 74(6): 1007~1023
- 4 谢庄, 曹鸿兴. 北京最高和最低气温的非对称变化. 气象学报, 1996, 54(4): 501~507
- 5 黄嘉佑. 北京地面气温可预报性及缺测资料恢复的研究. 气象学报, 1995, 53(2): 211~216
- 6 马晓波, 高由禧. 我国西北地区四十年来气温时空特征和变化趋势的分析. 高原气象, 1997, 16(3): 282~291
- 7 Jones P D. et al. Assessment of urbanization effects in time series of surface air temperature over land. Nature, 1990, 347(6289): 169~172
- 8 李栋梁. 兰州温度变化的气候特征. 高原气象, 1993, 12(1): 18~26
- 9 徐国昌. 干旱半干旱地区气候变化. 北京: 气象出版社, 1997, 19

THE ASYMMETRIC CHANGE OF MAXIMUM AND MINIMUM TEMPERATURE IN THE NORTHWEST CHINA

Ma Xiaobo

(Lanzhou Institute of Plateau Atmospheric Physics, CAS, Lanzhou Gansu 730000)

Abstract

4 stations in Northwest China monthly mean maximum and minimum temperature and cloud from 1932 to 1992 were used to analyse and compare with Beijing, Eastern China and North Hemisphere. The results show that asymmetry is detectable in all seasons, the diurnal temperature range decreases, maximum -0.79 °C/decade. There are Three kinds of asymmetry: ① T_{\max} decreases, minimum -0.31 °C/decade, T_{\min} increases, maximum 0.41 °C/decade, in the eastern part of Northwest China (Xian and Lanzhou), ② T_{\max} and T_{\min} decrease, but T_{\max} decrease more than T_{\min} , in The middle part of Northwest China (Anxi), ③ T_{\max} and T_{\min} increase, but T_{\min} increase more than T_{\max} , in the northern part of Northwest China. The decrease of T_{\max} is mainly in winter, The increase of T_{\min} in summer, The decrease of daily temperature range is in all seasons, winter bigger than summer. The degree of asymmetric trend in Northwest China is bigger than Beijing, Eastern part of China and North Hemisphere, in which daily temperature ranges 1—4 times. The decrease of daily temperature range is partially related to increase in cloud. The maximum correlation coefficient is -0.92 .

Key words: Northwest China, Maximum and minimum temperature, Asymmetry change.