

蒙古高原中部气候变化及影响因素比较研究

王 菱¹, 甄 霖¹, 刘雪林^{1,2}, Ochirbat Batkhishig³, 王勤学⁴

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049;
3. 蒙古科学院地理所, 乌兰巴托 210620; 4. 日本国立环境研究所, 茨城 305-8506)

摘要: 利用蒙古国中部 6 个气象站 1940~2004 年和中国内蒙古自治区中部 6 个气象站 1951~2004 年的温度和降水资料, 对两地的气候变化及其影响因素作了对比研究。结果表明: 20 世纪 90 年代与 60 年代相比, 中国内蒙古 6 站平均升温 1.35℃, 蒙古国 6 站上升 1.13℃, 2000~2004 年与 60 年代相比: 中国内蒙古 6 站上升 1.89℃, 蒙古国则为 1.37℃, 中国内蒙古 6 站的升温速率高于蒙古国 6 站。对温度变化趋势作突变性检验, 结果表明: 温度发生突变时间是纬度较高地区早于纬度较低的地区, 大城市早于中小城镇, 城市化对温度变化影响比较明显。相对于温度变化, 降水变化没有显著性的突变, 但有周期变化, 中国内蒙古降水变化有 2.8 年周期, 蒙古国有 4 年、8 年的周期, 这可能因为中国内蒙古降水水汽主要来源于太平洋, 而蒙古国降水的水汽主要来源于北冰洋。

关键词: 蒙古国; 中国内蒙古自治区; 气候变化; 比较研究

文章编号: 1000-0585(2008)01-0171-10

1 前言

蒙古国和中国内蒙古自治区相毗邻, 位于亚洲大陆中部, 同属蒙古高原, 目前正面临着许多社会和环境问题, 例如: 人口增加和工业发展所导致的土地荒漠化、环境污染和气候变化等, 严重限制了蒙古高原的可持续发展。近年来, 两国的经贸往来和文化交流日益频繁, 对共同发展蒙古高原经济、研究其环境所面临的问题具有重要的作用。穿过蒙古国中部的中央铁路, 其南端扎门乌德 (Zamyn-Uud) 与中国内蒙古的二连浩特相衔接, 北端苏赫巴托 (Suhbaatar) 与俄罗斯西伯利亚大铁路相连, 是中国、蒙古国和俄罗斯贸易发展的主要通道^[1]。蒙古高原北部气候相对湿润, 水草丰富, 是蒙古国主要的农、牧业区; 中部和南部为半干旱和干旱区, 以牧业为主。蒙古国的工、农业生产主要分布于中部地区, 首都乌兰巴托 (Ulaanbaatar) 集中了蒙古国的许多重要工业产业, 是一座具有浓郁草原风貌的现代城市; 中国内蒙古自治区与蒙古国毗邻, 首府呼和浩特和重工业城市包头, 人口密集, 工农业发达。锡林郭勒盟和乌兰察布市拥有中国最好的草原生态系统。

近 30 年来, 气候变化情景、形成原因及其影响的研究, 已成为地理科学最为活跃的研究领域之一, 并取得重大进展。中国学者对“中国气候变化与环境演变”^[2,3]、中国近 80 年来气候变化^[4]、气候变化对内蒙古农业发展的影响、生态环境演变和监测^[5~8], 以及土地利用变化对气候的影响^[9]等等, 作了一系列研究; 蒙古国学者对蒙古的气候变化及

收稿日期: 2007-03-27; 修订日期: 2007-07-13

基金项目: 中国科学院知识工程创新项目 (06W60000SZ, 066U0401SZ).

作者简介: 王菱 (1940-), 女, 大连市人, 研究员。多年从事农田蒸发、山地气候和气候变化研究。

其对农牧业生产的影响也作了许多研究,如无霜期、积温、沙尘暴变化趋势和草原生态系统对 CO_2 变化的响应等,都进行了比较详细的研究^[10~12]。但把蒙古高原作为一个独特的地理单元,在生产经营方式、人口密度不同的两个国度里,比较其气候变化趋势的异同及其影响因素,却较少涉及。

本文的研究区域包括蒙古国的色楞格省 (Selenge)、达尔汗省 (Darhan-Uul)、首都乌兰巴托市、戈壁苏木尔省 (Govi-Sumber)、中央省 (Tov)、中戈壁省 (Dundgovi) 和东戈壁省 (Dornogovi),面积为 31.29 万 km^2 ,2004 年人口为 132.07 万人,人口密度为 4.22 人/ km^2 ,高于蒙古全国平均人口密度 1.62 人/ km^2 ^[13];中国内蒙古自治区中部的呼和浩特市、包头市、锡林郭勒盟和乌兰察布市,面积约 30.25 万 km^2 ,2004 年人口 814.11 万人,人口密度为 26.9 人/ km^2 ,高于全内蒙古平均人口密度 20.16/ km^2 ^[14]。蒙古高原处于我国上风上水地区,是我国重要的生态环境屏障,对其气候变化和影响因素研究,将有益于减小我国资源环境风险系数,实现共同发展。

2 蒙古高原中部的温度变化

在研究区域内,蒙古国境内自北至南选取 6 个气象站的历年 (1940~2004 年) 月平均温度资料,和中国内蒙古自治区中部 6 个站资料 (1951~2004 年),它们大约位于东经 $105^\circ\sim 120^\circ$ 、北纬 $38^\circ\sim 50^\circ$ 的区域 (图 1 所示) 内,分析比较两地温度变化,重点比较内蒙古首府呼和浩特和蒙古国首都乌兰巴托的气候变化。



图 1 研究区域内的测站位置

Fig. 1 The geographic location of weather stations in the study region

2.1 温度年际和 10 年际变化

图 2 是呼和浩特和乌兰巴托年平均气温的变化趋势 (1951~2004 年),从图中可以看出:两地温度变化趋势线近于平行,这说明两地温度变化的一致性,只是变化速率略有差

异，呼和浩特每 10 年温度升高约为 0.52℃，乌兰巴托为 0.42℃，前者升温速率大于后者，而且相关系数也高于后者。

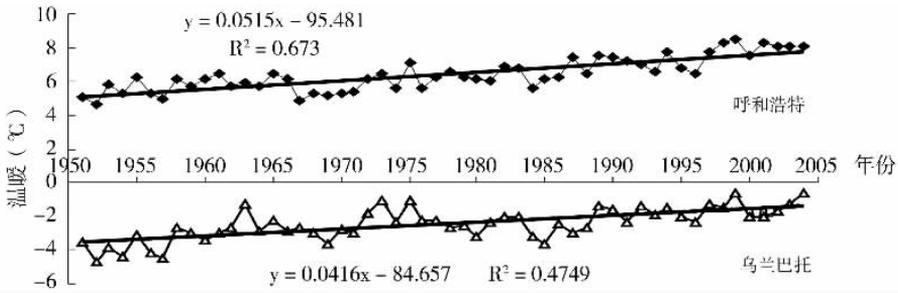


图 2 呼和浩特和乌兰巴托年平均温度变化率

Fig. 2 Variation rate of temperature in Huhhot and Ulaanbaatar

图 3 是呼和浩特和乌兰巴托温度变化的标准化距平，从图中可以看出：两地的温度距平变化特点是：20 世纪 50~60 年代是以负距平为主，60~70 年代为正、负距平相间时期，进入 80 年代后期则为正距平。但距平变化的位相则有差异：乌兰巴托以负距平为主时期转为正、负距平相间的开始时间是 20 世纪 60 年代初期，早于呼和浩特（70 年代中期）；而转变为正距平的时间（1989 年）略晚于呼和浩特（1987 年）。

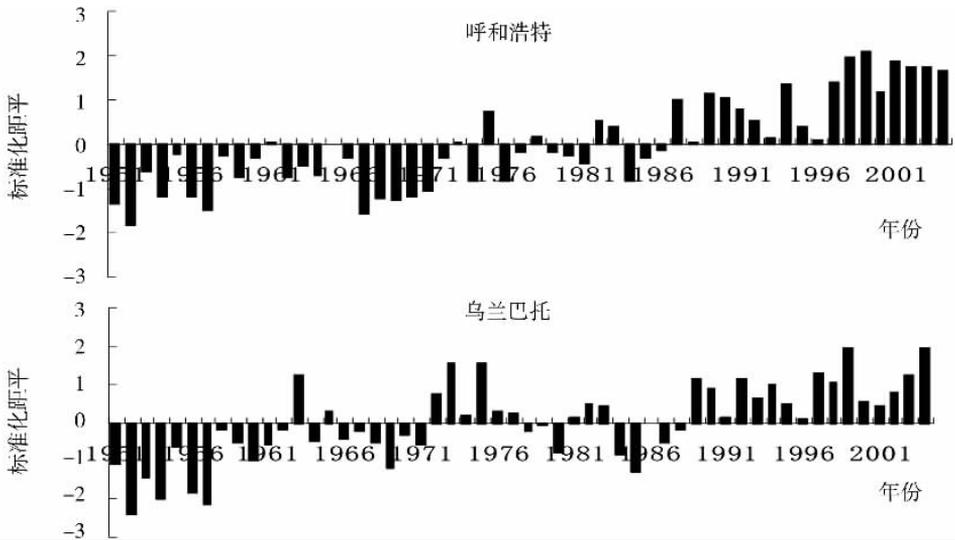


图 3 呼和浩特和乌兰巴托年平均温度标准化距平

Fig. 3 Average temperature anomaly in Huhhot and Ulaanbaatar

它们的共同特点是近地面气温的增暖，主要是发生在最近的 20 余年内，20 世纪 90 年代后半期和 21 世纪初，是近半个多世纪以来的最暖时期，这与中国全国平均温度变化趋势基本相同^[15]。

表 1 是两国年平均温度 10 年际变化，从表中可以看出以下几个特点：（1）中国内蒙古 6 站 20 世纪 90 年代平均温度比 60 年代平均温度上升 1.35℃，在同一时期，蒙古国 6

站则相应上升 1.13°C ，中国内蒙古升温速率大于蒙古国。但不论是内蒙古还是蒙古国，温度上升速率都远高于世界同期 0.6°C ^[16]和中国北方 0.93°C 的平均水平^[17]；(2)就蒙古国 6 站来说，纬度较高地区升温速率高于纬度较低的地区，如巴音哈拉 ($\text{N}49^{\circ}55'$) 20 世纪 90 年代比 60 年代上升 1.46°C ，纬度较低的赛音山达 ($\text{N}44^{\circ}54'$) 和扎门乌德 ($\text{N}43^{\circ}44'$) 温度升高同为 0.87°C ；(3)城市化对温度影响比较明显，特别是中国的呼和浩特和包头，90 年代比 60 年代分别升高 1.59°C ， 1.28°C ，高于蒙古国首都乌兰巴托的 1.09°C ；(4)进入 21 世纪 (2000~2004 年) 以来，中国内蒙古 6 站平均比 20 世纪 60 年代上升 1.89°C ，蒙古国 6 站则上升 1.37°C ，温度上升更加明显。

表 1 蒙古国 6 站和中国内蒙古 6 站 10 年际的温度 ($^{\circ}\text{C}$) 变化

Tab. 1 Decadal average temperature variations of Mongolia vs Inner Mongolia ($^{\circ}\text{C}$)

站点	1940~	1950~	1960~	1970~	1980~	1990~	2000~	1990s—	(2000~2004)
	1949	1959	1969	1979	1989	1999	2004	1960s	-1960s
巴音哈拉	-1.87	-2.23	-1.38	-0.72	-0.79	0.07	0.06	1.46	1.44
乌兰巴托	-3.6	-3.67	-2.77	-2.17	-2.61	-1.68	-1.56	1.09	1.22
蒙古国 6 站平均	0.40	0.06	0.63	1.00	0.91	1.76	2.00	1.13	1.37
呼和浩特		5.44	5.77	6.06	6.52	7.36	7.98	1.59	2.2
包头		6.23	5.8	5.98	6.29	7.08	8.39	1.28	2.59
内蒙古 6 站平均		4.13	4.63	4.83	5.04	5.98	6.52	1.35	1.89

2.2 气温的季节变化趋势

表 2 以呼和浩特和乌兰巴托为例，分析 1951~2004 年期间，各季的温度变化。从表中可以看出：呼和浩特和乌兰巴托冬季 (12~2 月) 平均气温分别上升 $0.85^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 和 $0.71^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ，其次为春季 (3~5 月)，为 $0.49^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 和 $0.50^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ，夏季 (6~8 月) 为 $0.35^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 和 $0.27^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ，秋季 (9~11 月) 最小，为 $0.33^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 和 $0.23^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ，乌兰巴托除春季外，升温速率都低于呼和浩特。

表 2 1951~2004 年温度的季节变化 ($^{\circ}\text{C}/10\text{a}$)

Tab. 2 Seasonal variations of temperature ($^{\circ}\text{C}/10\text{ year}$)

	冬季 (12 月~2 月)	春季 (3 月~5 月)	夏季 (6 月~8 月)	秋季 (9 月~11 月)
呼和浩特	0.85	0.49	0.35	0.33
乌兰巴托	0.71	0.50	0.27	0.23

3 蒙古高原中部降水变化

蒙古高原北部 (蒙古国) 降水的水汽主要来自北冰洋，降水自北向南减少。北部的色楞格河流域年降水量为 $300\sim400\text{ mm}$ ，由于气温低，蒸发量较少，气候相对湿润，在气候分区上应为半湿润区，山区分布着西伯利亚松和西伯利亚落叶松的山地针叶林；中部的杭爱 (Handay) 山—肯特 (Hentiy) 山区北部降水多在 $200\sim300\text{ mm}$ ，属森林草原带，水草较充足，牧草以禾草和杂类草为主，在草原上点缀着稀疏的落叶松林；杭爱山—肯特山以南是广阔的草原，年平均降水在 150 mm 以上；蒙古国南部年降水仅 100 mm 左右，

为荒漠草原和沙漠相间分布的地区。蒙古高原南部（中国内蒙古）降水水汽主要来自太平洋，降水自内蒙古的南部和东南部的 300~400mm，向北和向西北减少为 100~200mm 左右，中蒙交界处的二连浩特最少，约 100mm。蒙古高原南部的年降水量与北部相近，但由于气温较高，蒸发量较大，气候分区上是半干旱区。从植被的分布上，由呼和浩特和包头等地的农牧交错带、锡林浩特的草原带，到二连浩特的荒漠草原带。从水系上来说，蒙古高原中部的杭爱—肯特山地是一个巨大的世界性的分水岭：杭爱山以北和肯特山以西、以北属北冰洋水系，杭爱山以南和中国内蒙古阴山以北属内陆水系，阴山以南和肯特山以东属太平洋水系。

3.1 降水量年际和 10 年际变化

图 4 为乌兰巴托和呼和浩特年降水量距平变化，从图中可以看出两地降水距平变化趋势是有差异的：乌兰巴托 20 世纪 50 年代为少雨期，60~70 年代为正、负距平相间，80 年代到 90 年代初期降水的正距平年多于负距平年，进入 90 年代中期以后，以负距平年为主；呼和浩特在 20 世纪 50 年代中期以前为少雨期，50 年代末到 60 年代中期为正、负距平相间，70 年代~90 年代中期正、负距平相间，进入 90 年代中期以后，降水明显减少。比较两地降水的特点：不同点在于乌兰巴托的多雨期发生在 60 年代中期~70 年代中期，而呼和浩特多雨期却发生在 50 年代末期~60 年代中期，其共同点是：进入 90 年代中期以后，降水明显减少。

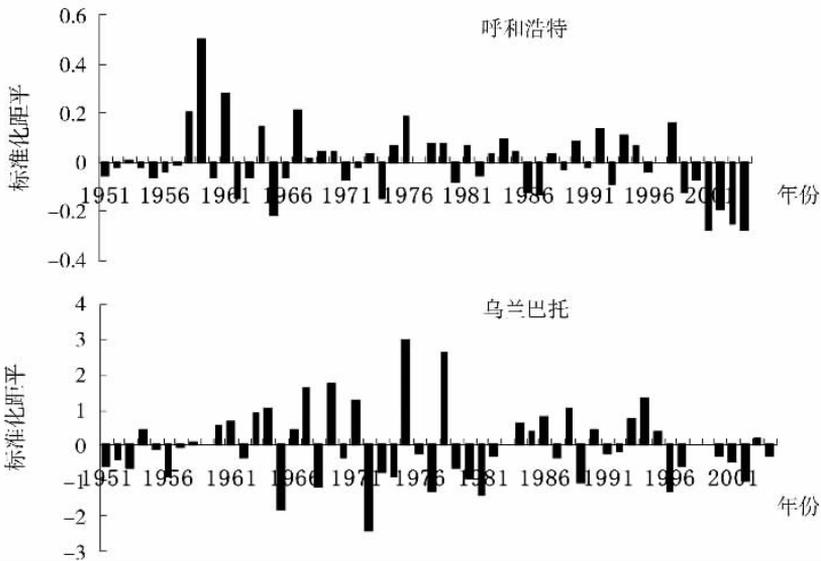


图 4 年降水量标准化距平的年际变化

Fig. 4 Interannual variations of average precipitation anomaly

表 3 列出了两地降水量的 10 年际变化，从区域平均来说，中国内蒙古 6 站的平均降水量多于蒙古，从变化趋势来说，20 世纪 90 年代与 60 年代相比，内蒙古 6 站平均增加 15.2mm，蒙古国 6 站只增加了 1.7mm；21 世纪的前 5 年（2000~2004 年）内蒙古比 60 年代平均减少 28.7mm，占多年平均的 10.8%，蒙古国则减少了 33.8mm，占多年平均的 18.1%，也就是说，蒙古国比中国内蒙古变干的速率快。

表 3 中国内蒙古和蒙古国降水 (mm) 的 10 年际变化

Tab. 3 Decadal variations of precipitation of Mongolia vs Inner Mongolia (mm)

	1940~1949	50~59	60~69	70~79	80~89	90~99	2000~2004	90'~60'	(2000~2004) - 60
巴音哈拉	285.9	240.3	332.1	301.6	278.5	306.6	269	-25.5	-63.1
乌兰巴托	243.4	246.3	291.1	263.6	251.4	266.2	230.5	-24.9	-60.6
蒙古国 6 站平均	168.6	190.6	199.7	201.1	178.6	201.5	166.0	1.7	-33.8
呼和浩特		405.3	404.1	412.7	373.2	419.3	378	15.14	-26.1
包头		308.8	297.4	300.6	274.5	340	266.2	42.61	-31.2
内蒙古 6 站平均		284.9	266.1	282.3	246.2	281.3	237.4	15.2	-28.7

3.2 降水的功率谱分析

为了比较来自北冰洋和太平洋水汽引起降水差异, 我们利用谱分析公式^[18]作了乌兰巴托和呼和浩特降水量的功率谱分析。谱分析公式如式 (1) 表示:

$$S_L = \frac{B_L}{m} [r(0) + \sum_{\tau=1}^{m-1} r(\tau)(1 + \cos \frac{\pi\tau}{m}) \cos \frac{L\pi\tau}{m}] \quad [18] \quad (1)$$

式中 S_L 为谱密度, 其中 $L=0, 1, 2, \dots, m$; $B_L = 1(L \neq 0, m), B_L = 0.5(L = 0, m)$; τ 为落后时间间隔长度 ($\tau=0, 1, 2, \dots, m$); m 为最大步长或最大落后时间长度; $r(t)$ 为样本落后自相关系数 ($t=0, 1, 2, \dots, m$), π 为常数。图 5 是根据式 (1) 的计算结果, 从图中可以看出两地的谱密度频率是不同的: 呼和浩特只有 2.8 年周期通过了 95% 的置信水平检验, 而乌兰巴托有 4 年和 8 年两个周期通过了 95% 的置信水平检验, 说明来自北冰洋水汽引起的降水和来自太平洋的水汽引起的降水周期是有差异的。与此同时, 本文也对乌兰巴托和呼和浩特的温度变化作了谱分析, 结果表明: 在长达半个多世纪中, 都没有表现出明显的温度周期变化。

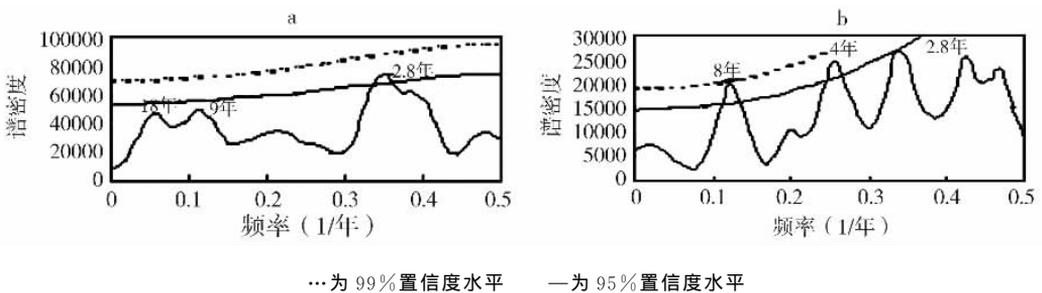


图 5 年降水量功率谱分析 (a 为呼和浩特, b 为乌兰巴托)

Fig. 5 Power spectrum of annual precipitation (a-Huhhot, b-Ulaanbaatar)

4 温度和降水变化趋势的检验

利用 Mann-Kendall 法^[19], 对蒙古高原气温和降水变化作趋势性的突变性检验。图 6 中的 UF_k 为正向统计量曲线, UB_k 为逆向统计量曲线, 并给定显著水平: $\alpha=0.05$, 临界线 $U = \pm 1.96$ 。若 UF_k 和 UB_k 的值 > 0 , 则表明呈上升趋势, < 0 , 则表明呈下降趋势。如果 UF_k 和 UB_k 两条曲线出现交点, 且交点出现在 ± 1.96 两条临界线之间, 那么交点对应的时便是突变的开始时间。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。

为比较不同纬度和城市化对温度变化的影响, 选取巴音哈拉、乌兰巴托、赛音山达

和呼和浩特 4 站作温度变化的突变性检验。从图中可以看出：各站变暖突变（信度超出 $U_{0.05} > +1.96$ ）时间是不一致的：呼和浩特正向统计量曲线信度超出 $U_{0.05} > +1.96$ 的时间为 1975 年，而正向统计量曲线和逆向统计量曲线交点发生在 1986 年，说明温度从 1986 年以后，上升呈明显加速趋势；乌兰巴托正向统计量曲线信度超出 $U_{0.05} > +1.96$ 为 1962 年，在此后的一段时间，正向统计量曲线和逆向统计量曲线交织在一起，直到 1985 年正向曲线上穿逆向曲线，说明温度上升呈明显加速趋势。巴音哈拉变暖突变时间为 1973 年，赛音山达为 1992 年。乌兰巴托是蒙古国的首都，人口密集，但纬度偏北，巴音哈拉是蒙古国最偏北的小城镇之一，赛音山达为蒙古国纬度偏南的小城，从温度突变时间来说，可得到这样的结果：纬度较高地区显著变暖时间要早于纬度较低地区；大城市要早于中小城镇，同为大城市，纬度偏北地区要早于纬度偏南地区。

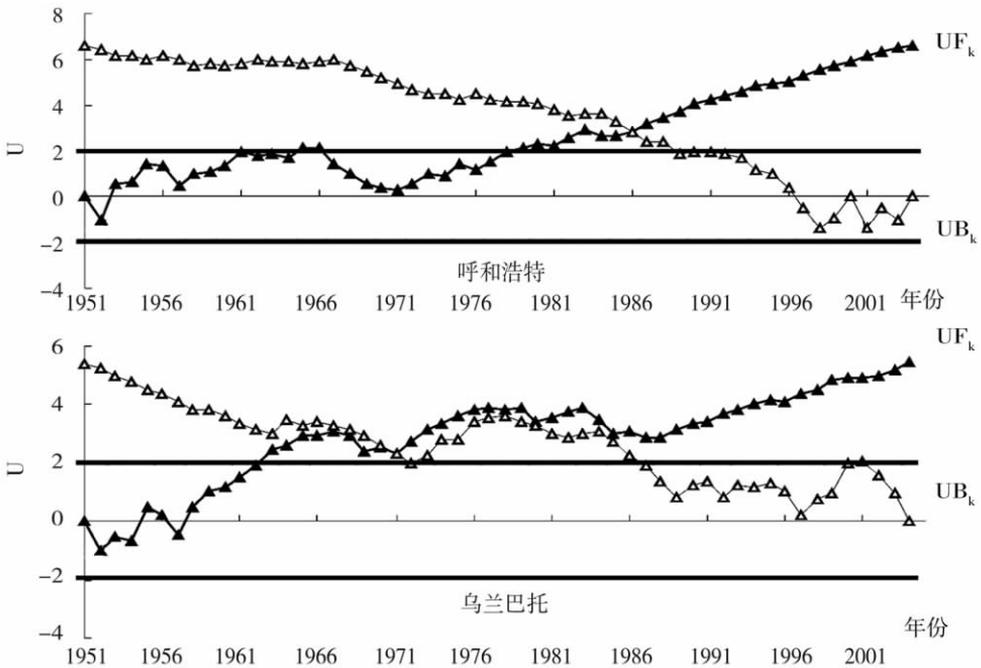


图 6 蒙古国和中国呼和浩特年平均温度 M-K 统计量曲线
(直线为 $\alpha=0.05$ 显著性水平临界线)

Fig. 6 M-K curve of annual temperature in Mongolia and Inner Mongolia

乌兰巴托和呼和浩特年降水量统计量曲线仅在信度 $U_{0.05} = \pm 1.96$ 之间变动（图略），这说明两地的降水都未发生明显的突变。但值得注意的是：在 20 世纪 90 年代中期以后，两地的正向统计量曲线有明显的向下趋势，说明气候有变干的现象，但都未超过 $U_{0.05} = -1.96$ 的显著水平。

5 气候变化影响因素比较的讨论

蒙古高原气候变化是全球气候变化的一部分，即具有与全球气候变化的一致性，又有它的特殊性，即在全球变暖的大背景下，蒙古高原变暖速率高于全球水平，也高于中国平均水平，这可能与它的脆弱生态系统有关。气候变暖的原因一般认为：人类活动产生的温

室气体、城市化过程、土地利用变化等, 这些因素对气候变暖的影响是比较显著的^[20~23]; 政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 在第三次评估报告 (2001) 中更明确指出: “在过去 50 年观测到的大部分增温, 可以归因于人类活动”。当然, 不能排除当前的地面气温变化是海洋—大气系统年代际以上尺度的低频振动一部分的可能性, 但现在还不清楚它对温度变化究竟产生了多大影响^[15]。

中国内蒙古自治区和蒙古国同属蒙古高原, 在地理环境上, 具有相对的一致性, 除北部外, 大部分地区属半干旱、干旱和荒漠草原脆弱的生态系统, 极易受人类活动的影响。我们曾对呼和浩特和乌兰巴托作了温度变化的波谱检测, 检测结果没有发现温度有年代际以上尺度的低频振动, 这说明两地的温度变化可能受人类活动影响因素更大。中国内蒙古自治区面积 118.3 万 km², 2004 年人口 2384.35 万人, 人口密度为 20.16 人/km²; 蒙古国为 156.4 万 km², 人口 253.31 万人, 人口密度为 1.62 人/km², 人口数量的增加, 特别是城市化的影响, 对温度的升高有着重要的贡献, 下面将简要讨论城市化对温度变化的影响。

作为内蒙古自治区首府呼和浩特和蒙古国首都乌兰巴托, 近 35 年以来, 人口增加迅速, 城市化步伐明显加快。呼和浩特人口数量在 1970 年、1990 年和 2004 年分别为 96.9 万人、138.3 万人和 254.43 万人, 分别占全内蒙古人口的 6.5%、6.4% 和 10.7%^[14], 1970~1990 年期间, 人口每年增加约 2.1 万人, 1990~2004 年每年增加约 8.3 万人; 乌兰巴托人口在 1970 年、1990 年、2004 年依次为 31 万人、59 万人和 93 万人, 分别占全蒙古国人口的 24.8%、26.9% 和 36.6%, 1970~1990 年期间, 每年增加约 1.4 万人, 1990~2004 年每年增加人口约 2.4 万人, 到 2004 年, 居住在首都乌兰巴托的人口占全蒙古国人口的 1/3 以上。由于城市人口的迅速增加, 引起自然环境发生变化, 如楼房、道路增加, 绿地减少, 汽车数量增加、工业生产发展导致的大气中温室气体和气溶胶增加, 这些因素改变了地面原有的能量平衡和水分循环模式, 对温度变化产生明显影响。为此, 我们建立了两地 1970~2004 年期间人口数量与温度变化的相关, 它们分别用下式表示:

$$Y_{\text{呼}} = 0.0169X_1 + 4.3732 \quad R^2 = 0.6446, \quad F_{0.01} = 63.4806 >> F = 7.435 \quad (2)$$

$$Y_U = 0.0185X_2 - 3.0912 \quad R^2 = 0.1925, \quad F_{0.01} = 8.3436 > F = 7.435 \quad (3)$$

式中, $Y_{\text{呼}}$ 和 Y_U 分别为呼和浩特和乌兰巴托年平均温度, X_1 和 X_2 分别为呼和浩特和乌兰巴托的人口 (万人), 前者复相关系数 (R^2) 高达 0.6446, 说明前者人口数量变化对气温影响明显; 后者 $R^2 = 0.1925$, 相关系数较小, 但也通过了 $F = 0.01$ 的相关性检验, 这说明人口增加, 也就是说城市化对气候变暖有着重要贡献。

蒙古国降水水汽的主要来源于北冰洋, 内蒙古自治区降水的水汽主要来源于太平洋, 不同洋面的水汽来源, 对降水强度、频率周期变化产生影响。而在中蒙边界, 即两个洋面水汽都很难到达的地区, 降水最少, 仅约 100mm。

6 结论

根据分析, 得出如下结果:

(1) 中国内蒙古温度上升速率高于蒙古国, 20 世纪 90 年代与 60 年代相比: 中国内蒙古 6 站年平均气温平均上升 1.35℃, 蒙古国 6 站平均上升 1.13℃, 但不论是内蒙古还是蒙古国温度上升速率远高于世界平均 0.6℃的水平, 也高于中国北方 0.93℃平均水平;

(2) 城市化进程对气候变暖有着重要贡献,特别是呼和浩特和包头,20世纪90年代比60年代分别升高 1.59°C , 1.28°C ,乌兰巴托则为 1.09°C ;

(3) 温度发生的突变时间是纬度较高地区早于纬度较低地区,大城市早于中小城市;

(4) 乌兰巴托的多雨期发生在20世纪60年代中期至70年代中期,而呼和浩特多雨期却发生在50年代末期至60年代中期;

(5) 由于降水的水汽来源不同,降水的谱密度频率分析,呼和浩特有2.8年周期通过了95%的置信水平检验,乌兰巴托有4年和8年两个周期通过了95%的置信水平检验,说明两地的降水周期是有差异的。其共同点是:进入90年代中期以后,降水明显减少,温度明显升高,气候趋向于干旱化。

致谢:中科院地理科学与资源研究所信忠保博士协助完成降水的功率谱分析,特此致谢。

参考文献:

- [1] 叶宝明.我国东北与蒙古国铁路通道建设研究.世界地理研究,2004,13(2):26~33.
- [2] 秦大河,陈宜瑜,李学勇 主编.中国气候变化与环境演变:上卷.北京:科学出版社,2005.1~200.
- [3] 秦大河,陈宜瑜,李学勇 主编.中国气候变化与环境演变:下卷.北京:科学出版社,2005.1~397.
- [4] 陈隆勋,周秀骥,李维亮.中国近80年来气候变化特征及其形成机制.气象学报,2004,62(5):634~644.
- [5] 陈素华,杨丽桃.气候变暖与内蒙古农业的发展.内蒙古气象,2001,(1):24~25.
- [6] 白美兰.内蒙古东部近54年气候变化对生态环境演变的影响.气象,2006,(6)31~36.
- [7] 路云阁,李双成,蔡运龙.近40年气候变化及其空间分异的多尺度研究——以内蒙古自治区为例.2004,24(4):432~438.
- [8] 曹宇,欧阳华,肖笃宁,等.额济纳天然绿洲景观变化及其生态环境效应.地理研究,2005,24(1)131~139.
- [9] 许炯心.土地利用变化对鄂尔多斯高原周边地区沙尘暴的影响.地理研究,2004,23(4)463~468.
- [10] Tuvdendorj D. Dust storms over the territory of Mongolia. Thesis for the Ph. D. in Geography, Moscow, 1974, 190.
- [11] Natsagdorj L, Jugder D, Chung Y S. Analysis of dust storms observed in Mongolia during 1937~1999. Atmospheric Environment, 2003, (9-10): 1401~1411
- [12] S GLi, Asanuma J, Eugster W, *et al.* Net ecosystem carbon dioxide exchange over grazed steppe in central Mongolia. Global Change Biology, 2005, 11(1): 1941~1955.
- [13] Oyun D, Batbuyan G, Enkhzaya D. Mongolian Statistical Yearbook 2004, Ulaanbaatar; National Statistical Office of Mongolia, 2005. 87.
- [14] 内蒙古自治区统计局. 内蒙古统计年鉴 2005. 北京: 中国统计出版社, 2005. 507~510.
- [15] 任国玉, 郭军, 徐铭志. 近50年中国地面气候变化基本特征. 气象学报, 2005, 63(6): 944~953.
- [16] Robert T Watson, Daniel L Albritton, Terry barker, *et al.* Climate Change 2001: Synthesis Report. Cambridge: Cambridge University Press, 2001. 1~46.
- [17] 王菱, 谢贤群, 李运生, 等. 中国北方地区40年来湿润指数和干湿带界线的变化. 地理研究, 2004, 23(1): 45~54.
- [18] 黄嘉佑 编著. 气象统计分析与预报方法. 北京: 气象出版社, 2004. 215~226.
- [19] 魏风英 编著. 现代气候统计诊断与预测技术. 北京: 气象出版社, 1999. 35~89.
- [20] 丁一汇, 张锦, 徐影, 等. 气候系统的演变及其预测. 北京: 气象出版社, 2003. 137.
- [21] 高学杰, 赵宗慈, 丁一汇, 等. 温室效应引起的中国区域气候变化的数值模拟, 第二部分: 中国区域气候的可能变化. 气象学报, 2003, 61(1): 29~38.
- [22] 赵宗慈, 王绍武, 徐影, 等. 近100年我国地表气温趋势变化的可能原因分析. 气候与环境研究, 2005, 10(4): 808~817.
- [23] 林学椿, 于淑秋. 北京地区气温的年代际变化和热岛效应. 地球物理学报, 2003, 48(1): 39~45.

Comparative studies on climate changes and influencing factors in central Mongolian Plateau Region

WANG Ling¹, ZHEN Lin¹, LIU Xue-lin^{1,2}, Ochirbat Batkhishig³, WANG Qinxue⁴

(1. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

2. Graduate University of CAS, Beijing 100049, China;

3. Institute of Geography of Mongolian Academy of Sciences, Ulaanbaatar 210620, Mongolia;

4. National Institute for Environmental Studies, Ibaraki 305-8506, Japan)

Abstract: Mongolian Plateau Region is facing many problems in environment and sustainable development including land degradation, soil erosion, water pollution, solid and hazardous waste disposal, land use conflicts and desertification, which have led to social consequences such as urban unemployment and poverty. Those issues are very serious in central part of the region where population density is relatively high and intensive economic activities have caused several problems such as climate change. The central Mongolian Plateau Region covers seven provinces (municipalities) of Mongolia including Selenge, Darhan-Uul, Ulaanbaatar, Govisumber, Tov, Dundgovi and Dornogovi and four sub-provinces of Inner Mongolian Autonomous Region of China like Huhhot, Baotou, Xilin-Gol, and Ulan Qab. The study aims at comparative analysis of climate changes, impacts on major economic activities and affecting factors in Mongolia and Inner Mongolia using temperature and precipitation data extending from 1940 to 2004 from six stations of Mongolia and 1951~2004 from six stations of Inner Mongolia of China. The results show that in comparison with temperature data in the 1960s, the average temperature has risen by 1.35°C in the 1990s in Inner Mongolia of China, while it is 1.13°C in Mongolia. In the period of 2000-2004, the average temperature increase was 1.89°C in Inner Mongolia and 1.37°C in Mongolia in comparison with the 1960s, showing a faster temperature increase in Inner Mongolia than that in Mongolia. Mutation test of the changing trend of temperature indicates that temperature mutation usually occurs in the areas with high latitude followed by those of low latitude, and big cities followed by small and medium-sized towns. However, significant change of precipitation was not observed, but periodic changes instead. For instance, duration of precipitation in Inner Mongolia is 2.8 years, while it is 4 and 8 years in Mongolia, and those results reach 95% level of correction test. The climate change has brought about significant impacts on agricultural production, livestock raising and environment, which have been considered as important components of sustainable development of the region in a long run.

The results are significant for understanding interaction between climate change, impacts and driving factors, and identifying most important areas for policy intervention, and finally for sustainable use and management of fragile natural resources.

Key words: Mongolia, Inner Mongolia of China; climate change; comparative study