

王冀, 宋瑞艳, 郭文利. 统计降尺度方法在北京月尺度预测中的应用[J]. 气象, 2011, 37(6): 693-700.

# 统计降尺度方法在北京月尺度预测中的应用<sup>\*1</sup>

王 冀<sup>1</sup> 宋瑞艳<sup>2</sup> 郭文利<sup>1</sup>

1 北京市气候中心, 北京 100089

2 天津市气候中心, 天津 300074

**提 要:** 利用 SDSM(statistical downscaling method)方法对北京 47 年(1961—2007 年)的最低、最高气温和降水变化情况进行了模拟评估,在此基础上对 2008 年北京奥运期间和 2009 年国庆期间天气变化进行实际预测应用。结果表明,SDSM 方法具备模拟气温和降水等要素的能力。从年际变化模拟的情况上看,SDSM 模型对气温模拟的效果好于降水,其中对于月平均最低(最高)气温模拟的效果好于最低(最高)气温极值的模拟。模型模拟的逐年极端最高(最低)气温结果在整体上低于实况气温,体现出气温极值模拟能力的不足。SDSM 模型模拟的降水量整体上小于实测值,对降水极大值模拟能力更弱。对奥运会和国庆期间北京天气预测结果表明,模型对日最高、最低气温和降水的数值预测能力较差,预测值低于实际值,但升温 and 降温过程发生的时段能够准确的预测。

**关键词:** SDSM, 统计降尺度, 月尺度预测, 气温, 降水

## Application of Statistical Downscaling Method to Forecasts in Monthly Scale

WANG Ji<sup>1</sup> SONG Ruiyan<sup>2</sup> GUO Wenli<sup>1</sup>

1 Beijing Regional Climate Centre, Beijing 100089

2 Tianjin Climate Centre, Tianjin 300074

**Abstract:** Using a statistical downscaling method (SDSM) we simulated and evaluated the changes of minimum and maximum temperatures, as well as precipitation during 47 years (1961—2007) in Beijing, and on this basis, we predicted the weather during the 2008 Beijing Olympic Games and during the 2009 National Day. The results show that, the SDSM has the ability of simulating temperature and precipitation. From the point of inter-annual simulation variability, the SDSM simulated temperature is better than precipitation, in which the simulated mean minimum (maximum) temperature is better than the simulated lowest (highest) temperature extremes. Meanwhile, the simulated annual maximum (minimum) temperatures are overall lower than the observed indicating there are systematic errors which show less ability to simulate extreme temperatures. The SDSM-simulated precipitation on the whole is less than the measured values, and the large values in the simulation of precipitation are even more serious. Weather forecasts during the Beijing Olympic Games and the National Day indicated that the predicted values for maximum and minimum temperatures, and precipitation are lower than the actual values, but the heating and cooling processes can be accurately predicted by the SDSM.

**Key words:** SDSM (statistical downscaling method), statistical downscale, forecast in monthly scale, temperature, precipitation

\* 本文受国家科技支撑计划课题(2009BAC51B05)、中国气象局气候变化专项(CCSF-09-01)和北京市自然科学基金项目(8092013)共同资助

2010 年 9 月 9 日收稿; 2011 年 1 月 14 日收修定稿

第一作者: 王冀, 主要从事气候预测与变化研究. Email: wangji\_zl@163.com

## 引言

准确的天气预报是对大型活动的有力保障,奥运会、残奥会以及国庆气象服务都证明了这一点。近来各级政府部门不仅需要气象部门提供精细、准确的临近预报,对月预测和旬预报精度的要求也很高。月尺度预测介于中期预报和季节预测之间,这段时间海洋异常的影响也还没有完全起作用,而大气的初值信息接近于丧失,是一个很难预测的时间尺度<sup>[1]</sup>。目前月气候预测手段主要是统计和动力两种,统计方法主要是建立预报对象和预报因子之间的统计关系,动力学意义不足,历史拟合率可能较好,但预报准确率有限且不稳定,而传统动力模式预报方法,仅考虑了大气的初始状态,没有考虑大气的历史演变状况。丑纪范等<sup>[2]</sup>曾明确指出,提高短期气候预测准确率需要走统计与动力相结合之路,因此在业务中合理利用动力方法和统计方法,客观地给出预测意见非常重要。国内外研究人员对此作了大量探讨<sup>[3-13]</sup>,近年来大气环流模式和海气耦合模式作为气候趋势预测的工具越来越受到重视,但是模式对大尺度变量的特征模拟较好,而对于温度、降水等气候要素的预测技巧较低,而对于极端气候事件预测能力更差<sup>[3-5,14]</sup>,因而如何利用气候模式资料来提高对局地降水、温度等变量的预测能力就显得十分重要。统计降尺度 SDSM (Statistical Down-Scaling Model) 方法是一个基于 Windows 界面对当前和未来逐日气象要素进行单站情景集合的降尺度工具,是多元回归和天气发生器相耦合的降尺度方法。迄今为止,SDSM 方法已经广泛应用于遍布欧洲、北美和东南亚等地的气象、水文及环境评价等诸多领域<sup>[15-19]</sup>,但是对于该方法的应用主要是对于未来气候情景的预估而没有应用到短期气候预测中。本文则通过对 SDSM 方法的因子选择方式的改进、标定预测方程,对该方法模拟能力进行评估,在此基础上将该方法应用于 2008 年奥运会、残奥会和 2009 年国庆期间的短期气候预测,取得了良好的预报效果,得到各级行管部门的好评,为 10~30 天的延伸期天气预测提供了一种有效的方法。

## 1 资料和方法

### 1.1 资料

本文所选的站台资料为北京市 1961—2007 年

逐日降水、日最高和最低气温资料。模型模拟所需环流场资料为 NCEP 再分析资料,研究<sup>[19-22]</sup>发现 NCEP 再分析资料具有很高的精度,可以成为大气环流要素的代用资料。月气候预测资料的环流资料使用国家气候中心的 T63L16 动力模式,T63L16 模式评估<sup>[6]</sup>的结果表明延伸预报环流的旬和月平均场预报有一定的预报技巧和业务参考价值,可以直接在业务中应用,该模式提供的资料见表 1。

表 1 T63L16 月尺度预测模式输出的数值产品  
Table 1 Numerical products output by the T63L16 monthly-scale model

预测时段/d	环流资料
40	高度场(200,500,700 hPa)
40	U-风场(200,700 hPa)
40	V-风场(200,700 hPa)
40	降水量、2 m 温度、海平面气压

### 1.2 SDSM 方法介绍

SDSM 方法的主要原理:区域气候变化是以大尺度(如大陆尺度甚至行星尺度)气候为条件的,把大尺度、低分辨率的 GCMs 输出信息转化为区域尺度的地面气候变化信息(如气温、降水)。该模型概括起来包括以下 5 个重要模块:(1)大尺度气候预报因子的选择,即筛选预报因子变量;(2)统计降尺度模型的选择和标定;(3)利用独立的观测资料检验模式;(4)把统计模型应用于 GCM 模式输出产生未来气候要素变化;(5)对未来气候情景进行诊断分析研究,包括对输出数据进行统计分析、模型输出制图等。

## 2 预报因子的选取

SDSM 方法对于预报因子的选取是所选站点临近的格点值<sup>[16]</sup>,但这种方式并不合理,并且缺乏物理机制。采用典型分析方法分析出逐日气象要素与环流场中相关最大值所在格点位置,并将该格点资料进行标准化处理作为被选因子,然后利用 SDSM 方法中的“筛选变量”模块,进行因子选择,其原则选择的预报因子要与所预报的预报量有很强的相关,它必须能够代表大尺度气候重要的物理过程和大尺度气候变率,通过偏相关分析,预测因子对变量的典型特征(如方差、月降水量等)具有较小的残差,所选预测因子见表 2(由于篇幅仅列出了北京 6,7,8 月降水和最高最低气温的预测因子以及因子所在的经纬度)。

表 2 筛选预测因子

Table 2 Selected forecasting factors

月份	降水	最高气温	最低气温
6 月	500 hPa 高度场 (37.5°N,132.5°E)	500 hPa 高度场 (40°N,112.5°E)	500 hPa 高度场 (40°N,122.5°E)
	700 hPa 高度场 (40°N,132.5°E)	700 hPa 高度场 (37.5°N,115°E)	700 hPa 高度场 (40°N,125°E)
	700 hPa 纬向风(U) (30°N,115°E)	700 hPa 纬向风(U) (45°N,117.5°E)	700 hPa 纬向风(U) (40°N,115°E)
	700 hPa 经向风(V) (40°N,122.5°E)	700 hPa 经向风(V) (40°N,107.5°E)	
7 月	500 hPa 高度场 (42.5°N,130°E)	500 hPa 高度场 (40°N,110°E)	500 hPa 高度场 (40°N,117.5°E)
	700 hPa 高度场 (40°N,130°E)	700 hPa 高度场 (40°N,112.5°E)	700 hPa 高度场 (40°N,120°E)
	700 hPa 纬向风(U) (37.5°N,112.5°E)	700 hPa 纬向风(U) (45°N,117.5°E)	700 hPa 纬向风(U) (37.5°N,115°E)
	700 hPa 经向风(V) (40°N,122.5°E)	700 hPa 经向风(V) (40°N,107.5°E)	700 hPa 经向风(V) (47.5°N,125°E)
8 月	500 hPa 高度场 (40°N,127.5°E)	500 hPa 高度场 (40°N,110°E)	500 hPa 高度场 (40°N,120°E)
	700 hPa 高度场 (40°N,130°E)	700 hPa 高度场 (40°N,112.5°E)	700 hPa 高度场 (40°N,122.5°E)
	700 hPa 纬向风(U) (37.5°N,115°E)	700 hPa 纬向风(U) (45°N,115°E)	700 hPa 经向风(V) (37.5°N,112.5°E)
	700 hPa 经向风(V) (40°N,120°E)	700 hPa 经向风(V) (40°N,107.5°E)	

通过 SDSM“筛选变量”模块选取的因子是否具有明确的物理意义是我们需要关注的问题,以 8 月降水和高温的因子选择为例进一步分析所选因子的物理意义。从 8 月降水因子的相关场发现,在 500 hPa(图 1a)上最大正相关区域位于日本海上空。由此可知,北京地区在发生降水异常时,高度场为“东高西低”的环流形势,又称为欧洲-日本型(EJ1)<sup>[23-24]</sup>波列。这种形势场易于北京地区受偏南暖湿空气的影响,文中所选的 500 hPa 高度场因子所处位置正位于日本海上空。纬向风和经向风的因子选择体现出(图略),在北京地区降水异常时,在北京上空受西北气流影响(纬向风的正相关中心),而在北京东部有偏南气流(经向风的正相关中心)的输送,因此导致冷暖空气的交汇。8 月高温因子 500 hPa 典型相关第一模态(图 1b)表现出,高温发生时华北地区易受高压脊影响,西风在 45°N 以北地区盛行,冷空气不易南下,经向风表现为华北地区易受偏南风影响,因此导致华北地区高温,这与卫捷等<sup>[25]</sup>研究成果完全一致。以上分析可知,对于因子选择是具有明确的物理意义的。

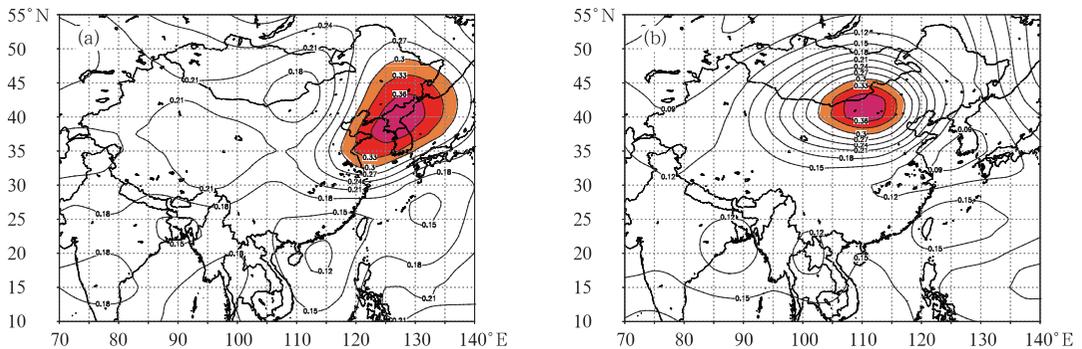


图 1 8 月份北京地区降水(a)和最高气温(b)与 500 hPa 高度场典型相关第一模态空间分布

Fig. 1 The first pattern of CCA between August rainfall (a) and maximum temperatures (b) and 500 hPa height

### 3 SDSM 模型对降水和气温的模拟能力评估

在前面的研究中已经完成了预测因子的筛选和模型标定。在此基础上利用 SDSM 中的天气发生器(Weather Generator)模块对北京市各月份(1961—2007 年)的日最高、最低和降水情况进行模拟并对模拟结果进行效果评估。

#### 3.1 SDSM 模型对最高气温模拟能力的评估

北京地区高温主要出现在 6—8 月,因此通过评估模型对 6—8 月最高气温的模拟来分析 SDSM 方法模拟高温的能力。图 2 是北京地区逐年 6—8 月平均最高气温和月最高气温极值模型模拟与实况的逐年变化时间曲线。整体上模拟结果的逐年变化与实况非常接近。6,7 和 8 月模拟结果与实况具有相同的变化趋势,平均最高气温和最高气温模拟与实

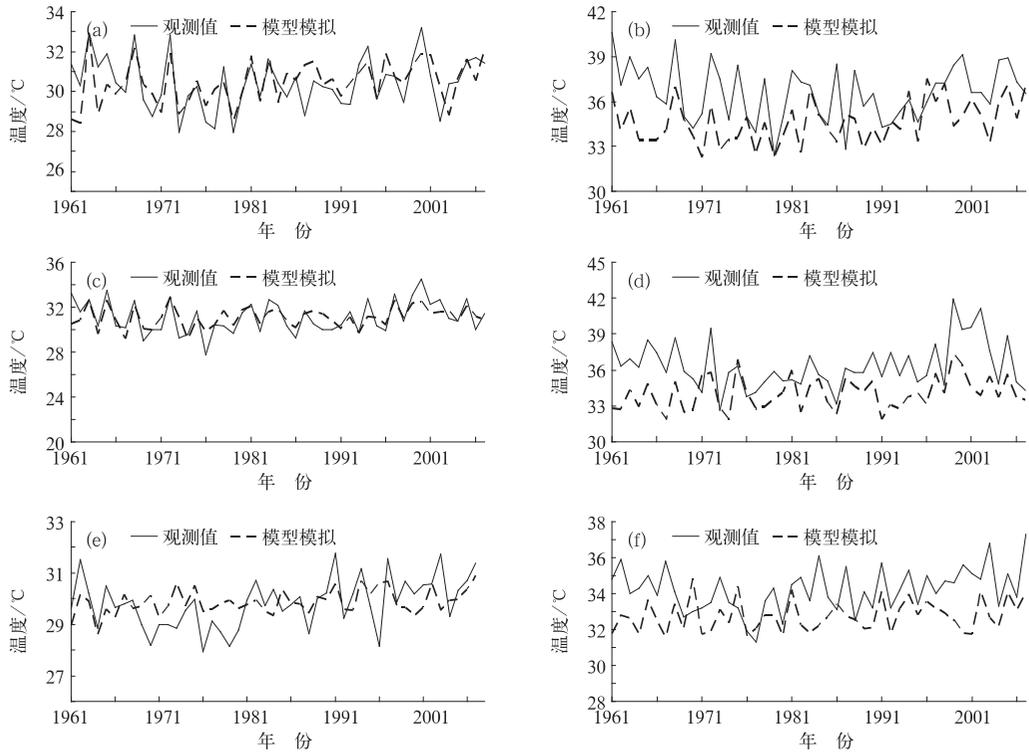


图 2 北京夏季各月平均最高气温(左)及月最高气温值(右)逐年(1961—2007)变化曲线

(a,b)6月, (c,d)7月, (e,f)8月

Fig. 2 Monthly mean maximum temperature (left panel) and monthly maximum temperature (right panel) variations in June (a, b), July (c, d) and August (e, f) during 1961—2007 in Beijing

况的相关系数均通过了 0.05 的显著性水平检验。其中 SDSM 方法对于平均最高气温的模拟好于最高气温,对于各月模拟与观测的相关系数分别为 0.61, 0.74 和 0.55,而最高气温模拟与观测的相关系数分别为 0.43, 0.49 和 0.40。从对月极端最高气温的模拟能力发现,模拟的结果相对比较平稳,整体上低于观测的月极端最高气温,存在着明显的系统误差。从对各月的模拟情况看,SDSM 对 7 月最高气温的模拟效果最好,其次是 6 月。

### 3.2 SDSM 模型对最低气温模拟能力的评估

北京地区对于冬季最低气温也是非常关注。因此对北京冬季最低气温的模拟能力评估也是非常重要的。图 3 是北京地区逐年冬季各月(12, 1, 2 月)平均最低气温和月最低气温极值模拟结果与实况逐年变化时间曲线。SDSM 对于最低气温也有比较好的模拟能力,如图 3 所示模拟的逐年月平均最低气温与实际月平均最低气温的变化趋势和数值都很接近,SDSM 对于平均最低气温模拟结果较好,各月模

拟与实况相关系数分别为 0.67, 0.46 和 0.65,均通过 0.05 显著性水平检验。SDSM 对于月最低气温模拟结果比月平均最低气温的模拟差,各月相关系数分别为 0.46, 0.21 和 0.29, 1 月份没有通过 0.05 的显著性水平检验。从模拟的情况看 20 世纪 90 年代之前模拟的月平均最低温度稍高于实际的月平均最低温度,20 世纪 90 年代之后模型模拟的月平均最低温度略低于实际的月平均最低温度。从对于月最低气温具体数值的模拟上看,模拟的最低气温一般高于观测值,存在着系统性误差。

### 3.3 SDSM 模型对降水模拟能力的评估

北京地区的降水主要集中于夏季,而冬季降水相对较少,但冬季的降雪给交通等带来很大影响,因此我们分别评估了模型对北京 1 月和 8 月降水的模拟能力。

图 4a 和 4b 对比了北京地区 1 月逐年月降水量和日最大降水量模拟的结果与实测数据,由图 4a 看出 SDSM 对逐年月降水量与实况存在着一定的偏差

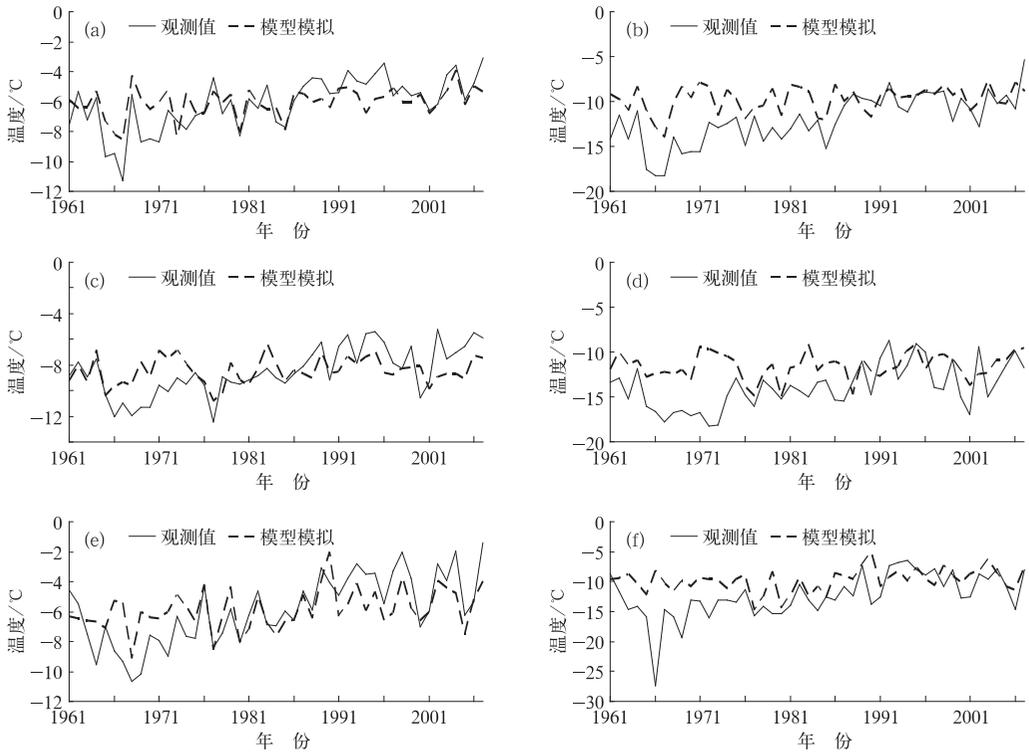


图 3 北京冬季各月平均最低气温(左)及月最低气温(右)值逐年(1961—2007)变化曲线  
(a,b) 12 月, (c,d) 1 月, (e,f) 2 月

Fig. 3 Mean monthly minimum temperature (left panel) and monthly minimum temperature (right panel) variations in Beijing in December (a, b), January (c, d) and February (e, f) during 1961—2007

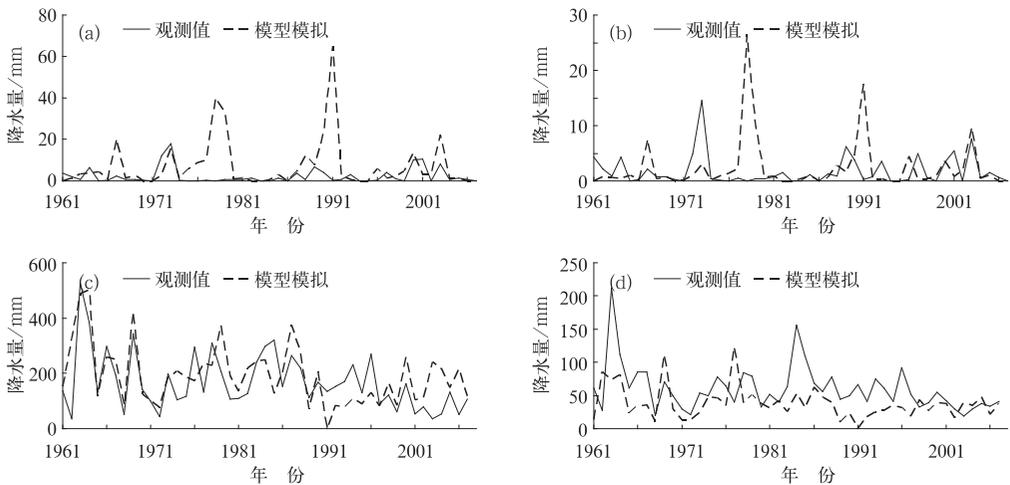


图 4 北京地区逐年(1961—2007 年)1 月和 8 月降水量(左)及日最大降水量(右)  
(a,b) 1 月, (c,d) 8 月

Fig. 4 Precipitation (left panel) and diurnal maximum (right panel) precipitation variations in Beijing in January (a, b) and August (c, d) during 1961—2007

(相关系数为 0.15,没有通过 0.05 的显著性水平检验)。模式模拟的逐年日最大降水量明显高于实际的日最大降水量(图 4b),存在着明显的系统误差。

图 4c 和 4d 为北京市 8 月降水量逐年变化曲线,模型模拟的结果与实测的结果变化趋势基本相近,两者的相关系数达到 0.60,通过了 0.05 的显著

性水平检验。从 8 月降水对极值的模拟结果来看,模型模拟的结果偏低,但相关系数也达到了 0.05 的显著性水平检验(0.28),在 20 世纪 80 年代后期模拟的效果相对好于 20 世纪 80 年代之前。

由上述分析发现 SDSM 具备模拟站点气温和降水等要素的能力。由评估的结果表明,SDSM 模型对气温模拟的效果整体上好于降水,对气温和降水月平均值的模拟能力要高于对气温和降水的极值模拟。其中对于夏季最高气温的模拟能力好于最低气温的模拟能力,而对于降水来说则是对 8 月北京降水模拟的能力好于 1 月降水的模拟能力,这一点与王冀等<sup>[26]</sup>的研究结果是一致的。

## 4 SDSM 实际预测效果检验

由于 SDSM 模型对于气温和降水具备模拟能力,因此我们利用该方法进行实际预测应用,在下文中选取了几次典型的服务个案,其中包括北京 2008 年奥运会期间的最高气温和降水预测、2009 年国庆的降水预测以及 2010 年 2 月最低气温预测。该预测模型所需大气环流背景由国家气候中心的月尺度动力延伸模式提供(该模式资料为每 5 天滚动预测未来 40 天环流资料),国家气候中心模式每候下发一次产品,预测未来 40 天的环流变化情况,经过多次预测试验发现每月 26 日的模式产品对未来 40 天环流变化预测与实况预测最为接近,SDSM 模型预

测的效果也是最好的。因此我们分别选了 2008 年 7 月 26 日、2009 年 8 月 26 日和 2010 年 1 月 26 日动力延伸资料依照前文中所选定的预测因子,将模式中的资料处理成 SDSM 模型中所规定的数据格式,并进行预测。

### 4.1 SDSM 模型对最高、最低气温的预测效果分析

2010 年冬季北京地区为异常的冷冬年,持续的低温给供暖、供电等部门带来了很大的压力,正确的预测未来 10~30 天的最低气温变化,有着很大的意义。图 5a 为北京 2010 年 2 月最低气温的预测情况,由图可见,模型预测在具体数值上与实况存在着一定偏差,即模型预测结果偏低于实测结果。从变化趋势方面来看,模型基本预测出了 2010 年 2 月的变化趋势,对于 2 月的月初和月末升温以及 2 月中期的两次的降温过程都能够正确的预测,只是对于 18 日的降温过程预测的降温幅度明显大于实测的幅度。

对北京 2008 年 8 月奥运期间最高气温预测的结果(图 5b),SDSM 模型预测的结果与实况相比较为平稳,对于最高气温的高值和低值预测的结果都不是很好,但是对于 8 月升温的过程预测的结果比较好,预测最高气温出现在 8 日比实况提前了一天。模型预测的最高气温为 31.7 °C 比实测低 2.6 °C(实测最高 34.3 °C)。

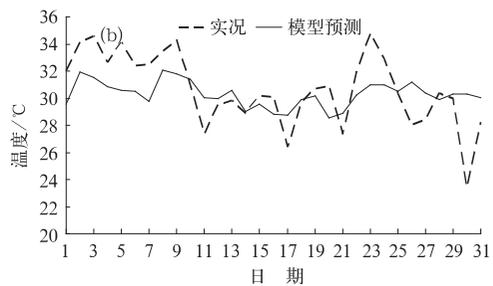
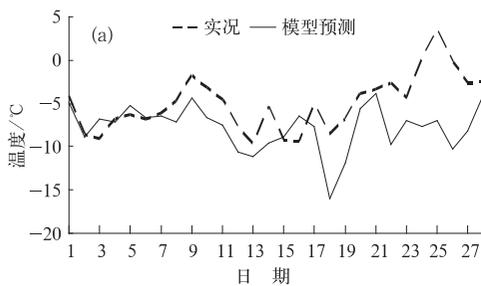


图 5 北京地区 2010 年 2 月(a)逐日最低和 2008 年 8 月(b)逐日(最高)气温实况和预测

Fig. 5 The observed (dashed) and predicted (solid) daily minimum temperatures in Beijing in February 2010 (a) and the daily maximum temperatures in August 2008 (b)

### 4.2 SDSM 模型对降水的预测效果分析

由图 6a 北京地区 2008 年 8 月降水预测和实况直方图上可见,预测的降水量整体上小于实际的降水量。实测结果在 11 日出现 45.6 mm,而预测最

大值是出现在 15 日的 20 mm。从降水过程方面,SDSM 方法基本预测出了 8 月的主要降水过程。

2009 年 9 月北京地区降水的预测和实况直方图(图 6b)表明,2009 年 9 月发生 5 次降水过程,其中 6 日的降水量最大为 7 mm。从模型预测的结果

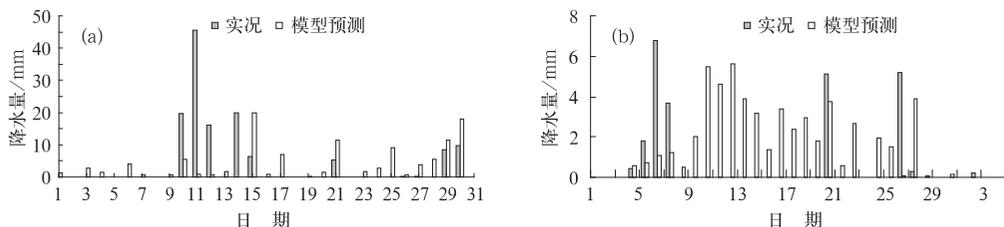


图6 北京地区2008年8月(a)和2009年9月(b)逐日降水实况和预测

Fig. 6 The observed (solid histogram) and predicted (hollow) daily precipitations in Beijing in August 2008 (a) and those in Beijing in September 2009 (b)

来看,在月初、月中、月末均有降水过程出现,因此基本预测出了5—7日、21日前后、27日降水过程。但降水量整体上小于实测值,尤其对于9月30—10月3日的无雨日预测的尤为成功。

由上述分析可以发现,SDSM模型在月尺度预报中具备一定的预报能力,对于高(低)气温的升(降)温过程均能很好的预测,对于气温极值预测结果虽然不准确,但是对于主要的降温过程具有预测能力。而对于降水的预测能力较气温预测能力较弱,仅能大致预测出主要的降水过程,而对降水量的预测则偏差较大,其中对于夏季降水预测的结果要好于冬季的降水。

## 5 结 论

本文采用SDSM统计降尺度方法对北京过去近47年的最低、最高气温和降水变化情况进行模拟和效果评估,并在此基础上对2008年8月北京奥运期间的最高气温、降水和2009年9月国庆期间的降水进行预测取得较好的预测结果,并得出如下结论:

(1) SDSM降尺度方法具备模拟气温和降水等要素的能力。从逐年变化模拟的情况上看,SDSM模型对气温模拟的效果好于降水,其中对于平均最低(最高)气温模拟的效果(相关系数分别为0.6和0.45均通过0.05的显著性水平检验)好于最低(最高)气温极值的模拟。模拟的逐年最高(最低)气温结果在整体上偏低,存在系统误差。SDSM对于北京地区逐年8月降水量的模拟效果较好,与实况的相关系数达到0.60。从降水量模拟角度来看,模拟的降水量整体上小于实测值,这一点在对降水极大值模拟上表现的更为明显。

(2) 实际预测应用结果表明,模型对日最高和最低气温的数值预测能力较差,基本偏低于实际值,但是对于升温 and 降温过程能够准确的预测。降水预

测的结果相对气温较差,基本能预测出降水发生的大致时间,但对于降水量预测能力很差,对于极端降水模拟效果更差。

综上所述,SDSM作为国际上流行的统计降尺度方法对于月尺度气候预测也具有一定的能力,并且在奥运会、国庆等大型气象服务中都取得了很好的效果,但该方法也存在着很大缺欠,主要是由于所选的动力模式所提供的资料有限、可选的预测因子有限,对于降水的预测尤其不利。因此,提高月尺度气候预测能力,在改进统计方法的同时,对于动力模式的改进也是非常必要的,精确的模式预测资料是月尺度气候预测的重要保证。

## 参考文献

- [1] 陈丽娟,李维京,刘绿柳,等. 中国区域月气候预测方法和预测能力评估[J]. 高原气象,2008,27(4):343-348.
- [2] 丑纪范,郜吉东. 长期数值天气预报[M]. 北京:气象出版社,1995:201-216.
- [3] Karl T R, Wang W C, Schlesinger M E, et al. A method of relating general circulation model simulated climate to the observed local climate. Part I: Seasonal statistics[J]. J Climate, 1990, 3(10):1053-1079.
- [4] Zorita E, Storch von H. The analog method as a simple statistical downscaling technique: Comparison with more complicated methods[J]. J Climate, 1999, 12(8):2474-2489.
- [5] Busuioc A, Deliang Chen, Hellström C. Performance of statistical downscaling models in GCM validation and regional climate change estimates: Application for Swedish precipitation[J]. International Journal of Climatology, 2001, 21(5): 557-578.
- [6] 李维京,陈丽娟. 动力延伸预报产品释用方法的研究[J]. 气象学报,1999,57(3):338-334.
- [7] 陈丽娟,李维京,张培群,等. 降尺度技术在月降水预报中的应用[J]. 应用气象学报,2003,14(6):648-655.
- [8] 陈丽娟,李维京. 月动力延伸预报产品的评估和解释应用[J]. 应用气象学报,1999,10(4):486-490.
- [9] 林纾,李维京,陈丽娟. 月动力延伸预报产品在甘肃省的实用

- 及评估[J]. 气象, 2004, 30(10):22-26.
- [10] 马振锋, 陈洪. T63 月延伸预报在西南区域短期气候预测中的应用研究[J]. 应用气象学报, 1999, 10(3):368-373.
- [11] 信飞, 肖子牛, 李泽椿. 1997 年华南汛期降水异常与大气低频振荡的关系[J]. 气象, 2007, 33(12):23-30.
- [12] 鲍媛媛, 金荣花, 赵瑞霞, 等. 2008 年东亚夏季风异常及其对江淮梅雨的影响[J]. 气象, 2009, 35(4):34-42.
- [13] 丁一汇, 梁萍. 基于 MJO 的延伸预报[J]. 气象, 2010, 36(7):112-122.
- [14] Palutikof J P, Winkler J A, Goodess C M, et al. The simulation of daily temperature time series from GCM output. Part I: Comparison of model data with observations[J]. J Climate, 1997, 10:2497-2513.
- [15] Wilby R L, Hassan H, Hanaki K. Statistical downscaling of hydrometeorological variables using general circulation model output[J]. J Hydro, 1998, 205:219.
- [16] Wilby R L, Dawson C W, Barrow E M. SDSM—A decision support tool for the assessment of regional climate change impacts[J]. Environ Model Soft, 2002, 17:147-159.
- [17] Winkler J A, Palutikof J P, Andresen J A, et al. The simulation of daily temperature time series from GCM output; Part II: Sensitivity analysis of an empirical transfer function methodology[J]. J Climate, 1997, 10:2514-2535.
- [18] Hay L E, Wilby R L, Leavesley G H. A comparison of delta change and downscaled GCM scenarios for three mountainous basins in the United States[J]. J Amer Water Resour Assoc, 2000, 36(2):387-397.
- [19] Kalnay E, Coauthors. The NCEP/NCAR 40 years reanalyses project[J]. Bull Amer Meteor Soc, 1996, 77(3):437-471.
- [20] 苏志侠, 吕世华, 罗四维. 美国 NCEP/NCAR 全球再分析资料及其初步分析[J]. 高原气象, 1999, 18(2):209-218.
- [21] 徐影, 丁一汇, 赵宗慈. 美国 NCEP/NCAR 近 50 年全球再分析资料在我国气候变化研究中可信度的初步分析[J]. 应用气象学报, 2001, 12(3):337-347.
- [22] 王向东, 李维京, 罗艳, 等. 月平均环流的动力集合预报研究[J]. 应用气象学报, 1997, 8(增刊):134-144.
- [23] 梁平德, 刘爱霞, 段丽瑶, 等. 亚洲中部春夏季大气环流持续性异常与我国东部夏季旱涝的关系[J]. 大气科学, 2008, 32(5):1174-1186.
- [24] Wakabayashi S, Kawamura R. Extraction of major teleconnection patterns possibly associated with anomalous summer climate in Japan[J]. J Meteor Soc Japan, 2004(82):1577-1588.
- [25] 卫捷, 杨辉, 孙淑清. 西太平洋副热带高压东西位置异常与华北夏季酷暑[J]. 气象学报, 2004(3):309-316.
- [26] 王冀. 中国地区极端气温变化的模拟评估及其未来情景预估[D]. 南京信息工程大学博士论文, 2008, 69-73.