

多因子和多尺度合成中国夏季降水预测模型及预报试验

彭京备^{1,2} 陈烈庭¹ 张庆云¹

1 中国科学院大气物理研究所大气科学和地球流体力学数值模拟国家重点实验室, 北京 100029

2 中国科学院研究生院, 北京 100049

摘要 根据青藏高原 60 个站平均的月积雪深度、热带太平洋 Niño 3 区月海温和中国 160 个站月降水量等资料, 用小波变换和相关分析, 分析了 1958~1998 年秋季青藏高原异常雪盖与 El Niño-南方涛动 (ENSO) 的关系、多时间尺度变化的特征及其与中国夏季降水的相关型式。并取青藏高原积雪和 Niño 3 区海温的年际变化、年代际变化和线性趋势三种不同时间尺度的小波分量作为预报因子, 对我国夏季降水距平作线性回归, 建立了相应的预测模型。最后, 利用 1999~2002 年的独立资料进行了预报试验, 并在 2003 年和 2004 年应用于实际预报。研究表明, 青藏高原雪盖与 ENSO 这两个物理因子彼此具有一定的独立性。它们都是多时间尺度现象, 并与中国夏季降水有较好的关系。在不同时间尺度上不仅有不同的相关型式, 而且相对贡献也有变化。回归预测模型的拟合情况和预报试验表明, 综合考虑前期秋冬季青藏高原雪盖和 ENSO 这两个物理因子的年际变化、年代际变化和线性趋势作为预报因子建立的预测我国夏季降水距平分布的模型, 有一定的预报能力。

关键词 青藏高原雪盖 ENSO 多时间尺度变化 夏季降水预测模型

文章编号 1006-9895(2006)04-0596-13 **中图分类号** P457 **文献标识码** A

The Statistic Prediction Model and Prediction Experiments of the Summer Rain over China by Multiple Factors and Multi-Scale Variations

PENG Jing-Bei^{1,2}, CHEN Lie-Ting¹, and ZHANG Qing-Yun¹

1 *State Key Laboratory of Numerical Modeling for Atmospheric Sciences and Geophysical Fluid Dynamics, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029*

2 *Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049*

Abstract The roles of snow cover over the Qinghai-Xizang Plateau (QXP) and the sea surface temperature anomaly (SSTA) in the central and eastern Pacific Ocean in seasonal prediction of summer rain over China have been acknowledged for decades. The multi-scale variations of the snow depth over the QXP and SSTA in the Niño 3 region in the precedent autumn and winter are exploited for developing a statistical model to predict the summer rain over China. Monthly snow depth averaged at 60 stations over the QXP, the monthly SSTA and monthly rainfall at 160 stations in China from 1958 to 2004 are used. The snow cover and SSTA are independent of each other, for their correlation coefficient is only 0.05.

Wavelet analysis is used to identify the interannual, interdecadal and linear trend components of the snow cover and SSTA. The summer precipitation over China has significant relationships with the multi-scale variations of snow cover and SSTA in precedent seasons with different correlation patterns and relative contributions at different time-scales. Taking the long-term variations of snow cover and SSTA into account can potentially contribute to additional

收稿日期 2005-02-25, 2005-11-29 收修定稿

资助项目 中国科学院知识创新工程重要方向项目 KZCX3-SW-221, 国家重点基础研究发展规划项目 2004CB418303, 中国科学院知识创新工程重要方向项目 ZKCX2-SW-210

作者简介 彭京备, 女, 1970 年出生, 博士生, 助理研究员, 主要从事海-陆-气相互作用及统计诊断。E-mail: jingbeipeng@hotmail.com

forecast skill in the summer rain over China.

The interannual, interdecadal and linear trend variations of snow cover and SSTA are taken as key predictors. The statistical model is established by using linear regression analysis. Three experiments are designed to select the best combination of predictors. The first set of predictors is the multi-scale variations of snow cover, the second is the multi-scale variations of the SSTA, and the third is the combination of the two sets. The data from 1958 to 1998 are used to assess the prediction skill of each model by the average probability of the same symbol (APSS) of the regressed and observed precipitation in each year. The mean APSSs in 31 years of the three experiments are 0.61, 0.59 and 0.64 respectively. Thus, the prediction model by multiple-factors and multi-scale variations is effective for predicting the distribution of summer rain anomalies over China.

The prediction experiments are carried out with the independent data from 1999 to 2002, and operational predictions in 2003 and 2004 are made by multiple factors and multi-scale variations. From 1999 to 2002, the predicted precipitation anomalies show that the statistical model predicts the spatial pattern of the observed anomalies reasonably well. In 2003, the model succeeded in predicting the precipitation in the Huaihe River valley, the Weihe River valley, Xinjiang Uygur Autonomous Region and the middle part of the Inner Mongolia Autonomous Region. The model also predicted the deficient rainfall in the eastern part of Northeast China and the northern part of North China, but missed the significant drought in the south of the Changjiang River valley. APSS in this year is 43.8%. In 2004, the main differences between the observation and the forecast are found in some areas of the Huanghe River-Huaihe River valley and in the south of Changjiang River valley. In spite of these differences, the distribution of predicted above- and below-normal rainfall agrees with the observation. APSS in 2004 is up to 57.5%, considerably better than that in 2003.

Overall, the results suggest that multi-scale variations of the snow cover over the QXP and the SSTA in the central and eastern Pacific make significant contribution to seasonal climate prediction. Other statistical methods, rather than the linear regression, may increase the forecast skill.

Key words snow cover over the Qinghai-Xizang Plateau, ENSO, multi-scale variations, prediction model of summer rain in China

1 引言

短期气候预测对我国国民经济和现代化建设有着非常重要的作用。近年来,随着人们对气候系统中海-陆-气相互作用的物理过程以及对气候影响的不断深入,经验与动力统计模型和数值模式方法预测气候的能力都有很大提高。然而,总的来说,各种方法的预报技巧还不是很高,仍存在预报的不确定性。这是为进一步提高预测的水平而需要研究解决的一个问题。气候变化是气候系统中各种海-陆-气相互作用和大气内部动力学过程等多种因子共同影响的结果,另外,气候变化又是个多时空尺度现象。不同时空尺度的变化,不仅其物理本质不同,而且其形成的物理原因也不完全一样。因此,深入研究各时空尺度气候变化发生的规律、成因及其可预报性,以及考虑各种物理因素对气候的共同作用,对提高预测水平是有重要意义的。

许多研究表明^[1~9],青藏高原异常雪盖和 EN-

SO 是影响我国夏季降水的重要物理因素。青藏高原冬春季大范围持久的雪盖异常不仅对当时高原及其邻近地区的温、压场有直接影响,而且对后期夏季东亚季风和我国降水也有明显的滞后效应^[10]。El Niño 事件不仅在当年发展阶段,而且在第二年衰减阶段对我国夏季降水都有重要影响^[11]。近年来,除年际变化外,人们对青藏高原雪盖和 ENSO 与中国夏季降水年代际变化的关系也进行了一些研究,发现它们及西太平洋副热带高压脊线位置在 20 世纪 70 年代后期都发生了一次年代际气候跃变现象,跃变前、后中国夏季降水有明显的差异^[12, 13]。然而,到目前为止,考虑这两个物理因素及其年际变化和年代际变化共同对中国夏季降水影响的研究还比较少。刘家铭等^[14]曾研究了全球平均海温的多时间尺度变化对中国夏季降水的影响,指出在不同时间尺度上其影响有不同的表现,各分量间可能存在相互作用。陈烈庭^[15]研究了青藏高原雪盖和 ENSO 对中国夏季降水年际和年代际变化的共同作

用,指出对应青藏高原多雪年与 ENSO 循环一些位相的不同组合情况下,中国夏季降水距平有不同的分布型式。这表明虽然同是多雪年或 El Niño 事件,但由于同时有其他因素的共同作用,每个多雪年或 El Niño 事件对中国降水影响的效果可能有所不同。

我们曾分析 1958~1998 年青藏高原雪盖和 Niño 3 区海温的多尺度变化特征,及其对中国夏季降水的可能影响^[16]。本文的目的,拟在该工作基础上用青藏高原雪盖和 Niño 3 区海温各时间尺度的分量作为预报因子,建立我国夏季降水趋势分布的预测模型。因此,我们首先分析这两个物理因子的相互独立性;其次,给出它们的年际变化、年代际变化和线性趋势三种不同时间尺度的分量与中国夏季降水的相关模型;第三,以这两组分量及其组合作为预报因子,以中国夏季降水距平作为预报量,用线性回归方法建立相应的预测模型,并讨论其与历史资料拟合的情况;第四,利用 1999~2002 年的独立资料进行预报实验,并用于 2003~2004 年做实际预报。

2 资料与分析方法

本文所使用的资料包括:(1)1958~1998 年青藏高原 60 个站平均的月雪深资料;(2)1949~2004 年 NOAA、NCEP/NCAR 月诊断地面雪深资料;(3)1950~2004 年热带太平洋 Niño 3 区月海面温度距平资料(Sea Surface Temperature Anomaly,简称 SSTA);(4)1951~2004 年中国 160 个站月降水量距平百分率资料。计算距平时,气候标准值都是取 1961~1990 年 30 年的平均。由于青藏高原雪盖平均于 9 月开始出现,次年年初达高峰时期,3 月开始消退,而 El Niño (La Niña) 高峰期一般都出现在当年年底。许多研究表明,无论是青藏高原雪盖或是热带太平洋海温,都是以其秋冬季的异常变化对后期中国夏季降水的关系较为密切。因此,这里我们取 9 月到次年 2 月累积的雪深距平序列作为雪盖指标,取 9 月至次年 2 月平均的海温距平序列为海温指标,分析其多时间尺度的特征,以及与紧跟其后的夏季中国降水的关系。这里夏季降水指的是 6~8 月总降水量的距平百分率。

分析方法主要是小波变化、相关分析和线性回归。在作小波变换时雪盖的累积距平值和海温的平

均距平值都经过了标准化处理。

3 青藏高原异常雪盖与 ENSO 的关系

在统计预报中,除要选取具有物理内容和气象意义的因子外,还要求各因子是相互独立的。这样预报效果才较稳定。那么,青藏高原异常雪盖和 ENSO 这两个物理因子的关系如何?图 1 是秋冬季青藏高原积雪标准化累积距平和 Niño 3 区海温标准化平均距平的时间序列,可以看出,它们除存在明显的年际变化外,还呈现出积雪增多和海温变暖的长期变化趋势。这两个序列的同时相关系数为 0.05,说明它们之间的相关非常弱。

为了进一步了解青藏高原极端积雪现象多雪年和少雪年与 El Niño 和 La Niña 事件之间的关系,我们定义积雪标准化累积距平(海温标准化平均距平)超过 0.5 标准差为多雪年(El Niño 事件),小于 -0.5 标准差为少雪年(La Niña 事件)。据此定义在 1958~1998 年期间属于多雪年的有 13 年

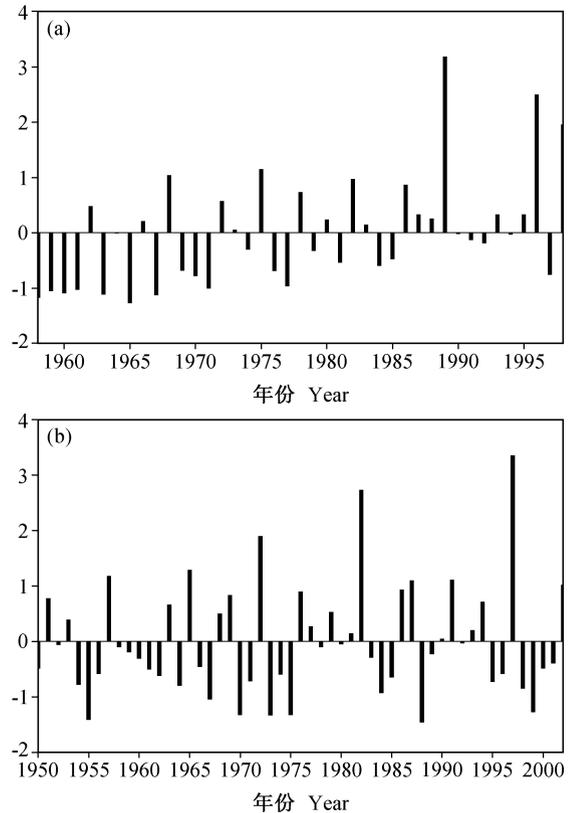


图 1 秋冬季青藏高原积雪标准化累积距平(a)和 Niño 3 区海温标准化平均距平(b)的时间序列

Fig. 1 Time series of the standardized (a) accumulated anomaly of the snow depth over the Qinghai-Xizang Plateau and (b) mean sea surface temperature anomaly (SSTA) in the Niño 3 region

(1961/1962、1967/1968、1971/1972、1974/1975、1977/1978、1981/1982、1985/1986、1986/1987、1988/1989、1992/1993、1994/1995、1995/1996、1997/1998), 少雪年有 14 年 (1957/1958、1958/1959、1959/1960、1960/1961、1962/1963、1964/1965、1966/1967、1968/1969、1969/1970、1970/1971、1975/1976、1976/1977、1983/1984、1996/1997)。El Niño 事件包括 1957、1963、1965、1969、1972、1976、1982、1986/1987、1991、1994、1997 年共 11 年, La Niña 事件包括 1962、1964、1967、1970/1971、1973/1974、1975、1984、1988、1995 年共 9 年。El Niño 和 La Niña 事件一般在春、夏季建立。表 1 统计了多雪年和少雪年发生在 ENSO 循环各个位相的频数, 可以看出, 多雪年个例中发生在 El Niño 建立前(后)的冬季有 3(3)次, 在 La Niña 建立前(后)的冬季有 3(3)次, 其他非 El Niño 和 La Niña 时期有 2 次。也就是说, 多雪年在 ENSO 循环的各个位相发生的机会几乎是均等的。少雪年个例中出现在 El Niño 建立前(后)冬季的有 5(3)次, 在 La Niña 建立前(后)冬季的有 4(3)次, 其他时期 3 次。显然, 少雪年在 ENSO 各个位相出现机会的差异也不大。表 1 中统计的多雪年和少雪年总次数比定义的略多, 这是由于个别多雪年或少雪年发生前、后均是冷暖事件之故。总之, 青藏高原异常雪盖与 ENSO 之间不仅线性相关较弱, 而且极端个例的分析也表明它们彼此具有一定的独立性。这说明青藏高原雪盖和 ENSO 这两个物理因素对我国气候变化将起着不同的作用。

表 1 1958~1998 年多雪年和少雪年发生在 ENSO 循环各个位相的频数分布

Table 1 Frequency of years with snow depth above and below average over the Qinghai-Xizang Plateau for ENSO episodes between 1958 and 1998

	El Niño		La Niña		其他 Other	总数 Sum
	建立前 Developing episode	建立后 Decaying episode	建立前 Developing episode	建立后 Decaying episode		
多雪年 snow depth above average	3	3	3	3	2	14
少雪年 snow depth below average	5	3	4	3	3	18

4 青藏高原雪盖和 Niño 3 区海温的多尺度变化及其与中国夏季降水的关系

我们曾用小波变换和相关分析, 揭示秋冬季青藏高原雪盖和 Niño 3 区海温的多时间尺度特征^[16], 指出雪盖存在准 2 年振荡(QBO)、准 6~7 年振荡、准 10~12 年振荡、准 22~24 年振荡和线性增加趋势的长期变化, 海温存在 QBO、准 3~4 年振荡(ENSO)、准 14~16 年振荡、准 34~35 年振荡和线性变暖趋势的长期变化。在本文中, 我们把它们的小波系数分成如图 2 所示的年际变化、年代际变化和线性趋势三个不同时间尺度的分量。图

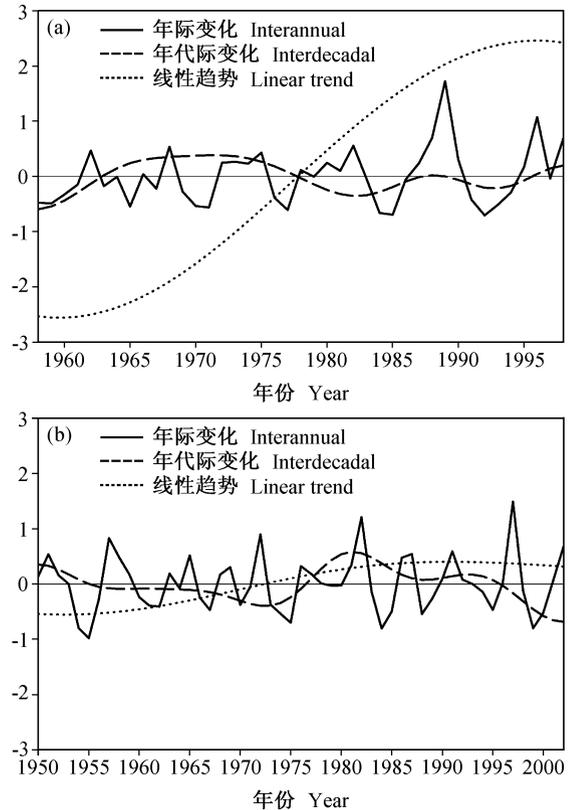


图 2 (a) 青藏高原积雪的年际变化(1~10 年变化)、年代际变化(10~40 年变化)、线性增加趋势(40~100 年变化); (b) 海温距平的年际变化(1~10 年变化)、年代际变化(10~45 年变化)、线性增加趋势(45~100 年变化)

Fig. 2 (a) The interannual (about 1 - 10 years), interdecadal (about 10 - 40 years) variations and linear trend (about 40 - 100 years) of the snow cover over the Qinghai-Xizang Plateau; (b) the interannual (about 1 - 10 years), interdecadal (about 10 - 45 years) variations and linear trend (about 45 - 100 years) of the SSTA in the Niño 3 region

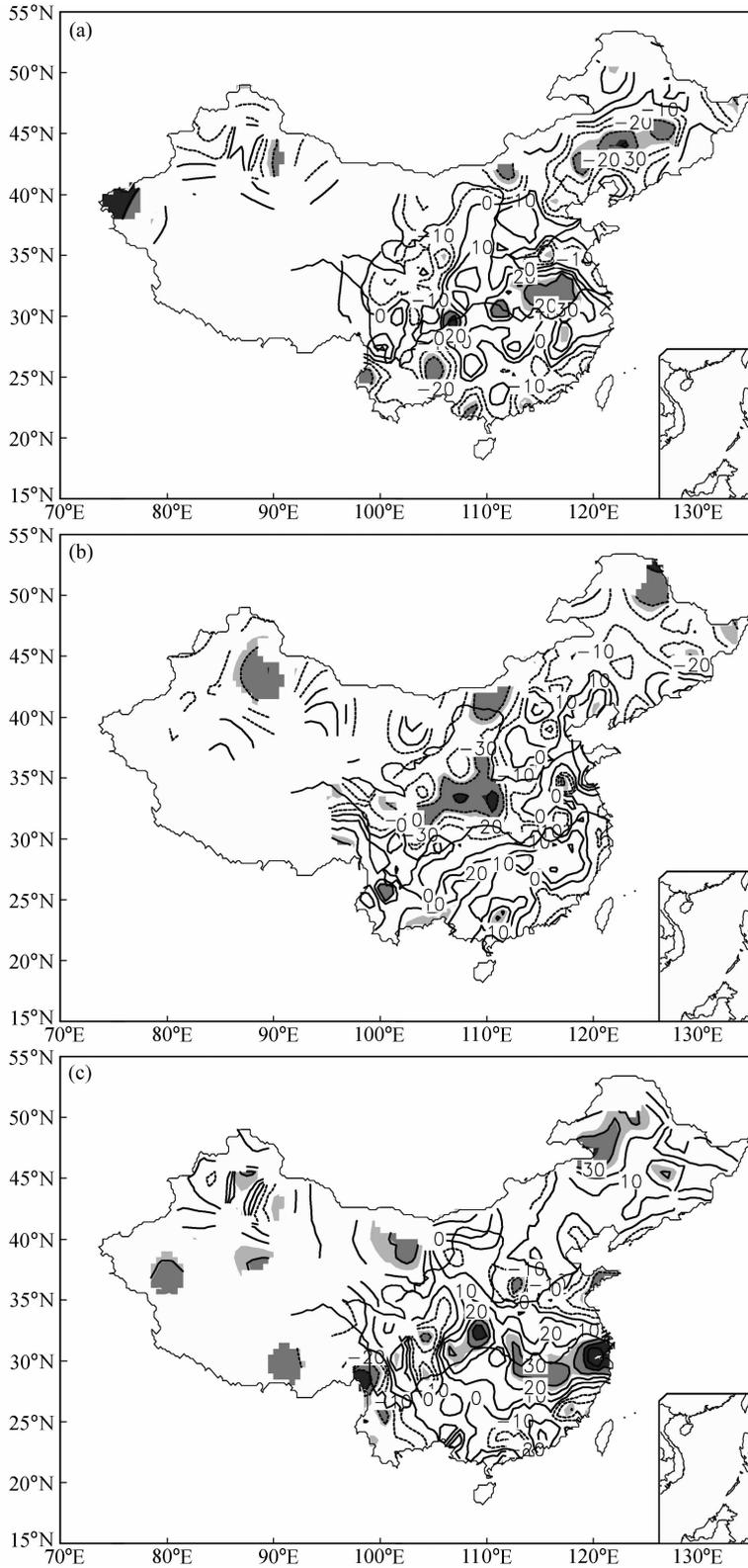


图3 青藏高原积雪的年际变化 (a)、年代际变化 (b)、线性增加趋势 (c) 与中国夏季降水的相关分布。实线为正相关, 虚线为负相关, 由浅到深的三种阴影区分别表示信度水平超过 90%、95% 和 99% 的区域

Fig. 3 The correlation between the summer rainfall in China and (a) interannual, (b) interdecadal variations, (c) linear trend of the snow cover over the Qinghai-Xizang Plateau. Solid lines are for positive correlation and dashed lines for negative correlation. The shaded areas indicate the confidence at 90% (light grey), 95% (grey) and 99% (dark grey) level, respectively

2a 中雪盖的年际变化综合了 QBO 和准 6~7 年振荡的变化, 其正、负极值基本上与多雪年、少雪年相对应, 年代际变化是准 10~12 年振荡和准 22~24 年振荡的综合结果, 线性增加趋势反映了青藏高原积雪在 20 世纪 70 年代末从少雪期转为多雪期的气候跃变现象。图 2b 中海温的年际变化综合了 QBO 和 ENSO 的变化, 其正、负极值基本上与 El Niño、La Niña 事件相对应, 年代际变化是准 14~16 年振荡和准 34~36 年振荡的综合结果, 线性变暖趋势反映了 Niño 3 区海温在 20 世纪 70 年代末从冷水期转为暖水期的气候跃变现象。

图 3 是图 2a 中各个分量与中国夏季降水的相关分布。它们基本上排除了其他时间尺度变化的作用, 是真正意义下的青藏高原雪盖的年际变化、年代际变化和线性增加趋势对中国降水影响的模型。从积雪的年际变化和降水的相关分布 (图 3a) 上可以看出, 东南沿海和西南地区以及从黄河河套经华北北部至东北南部一带为负相关区, 整个长江流域及其以北地区和内蒙古东北部为正相关区, 其中最显著的负相关出现在东北南部, 最显著的正相关出现在四川东部和江淮流域。因此, 在这个时间尺度上, 当前期秋冬季青藏高原积雪偏多时, 川东地区和江淮流域夏季降水偏多, 华北北部和东北南部地区降水偏少。年代际变化的相关分布 (图 3b) 表现出, 长江流域以南为大片正相关区, 但相关一般都较弱; 其他全国大部分地区为负相关区, 其中以四川和陕西以及新疆北部地区、黑龙江的负相关最为显著。因此, 在这个时间尺度上, 有利于这些地区降水减少。线性增加趋势分量的相关分布 (图 3c) 主要特点是最大的正相关出现在长江中下游的江南北部地区、四川东部和湖北地区以及内蒙古东北部地区, 湖南、江西至浙江一带大片地区相关系数的可信度超过 0.01; 最大负相关出现在黄淮平原, 山东半岛的相关系数也达到 0.01 的信度水平。同年代际变化和年代际变化的相关分布比较, 似乎不仅其相关贡献更大, 而且它们影响的主要地区也不尽一致。因此, 在作我国夏季降水预报时, 我们不能只考虑年际变化的影响, 还应重视长期变化背景的共同作用。

图 4 是图 2b 中各个分量与中国夏季降水的相关分布, 它给出了中国夏季降水对 Niño 3 区海温年际变化、年代际变化和线性变暖趋势的响应型

式。在年际变化的相关分布 (图 4a) 上, 江南北部为正相关区, 其中湖北北部相关系数的可信度达到 0.01; 长江与黄河之间为负相关区, 其中以黄淮地区的负相关最为显著, 超过了 0.01 信度水平; 另外, 新疆北部也存在一个显著的正相关区。这说明 ENSO 不仅对中国东部而且对北疆地区也有重要影响, 这些结果与过去的一些分析^[17]基本上是一致的, 即 El Niño 建立的次年夏季, 主要多雨区在长江流域及其以南地区和新疆北部地区, 黄淮地区降水偏少。年代际的相关分布 (图 4b) 表现为, 整个长江流域以南为负相关区, 最大负相关在云南、广西、广东和福建一线; 长江与黄河之间, 东部沿海为显著负相关区, 西部秦岭-大巴山为显著正相关区; 另外, 东北北部和甘肃西部也为正相关区。因此, 在这一时间尺度, Niño 3 区海温偏高时, 主要多雨区位于秦岭-大巴山区、东北北部和甘肃东部地区, 而黄淮地区和西南、华南至东南沿海一线为少雨区。线性变暖趋势分量的相关分布 (图 4c) 与图 3c 的型式非常相似, 即降水增加主要发生在长江中下游的江南北部、四川东部和内蒙古东北部地区, 但其相对贡献似乎比青藏高原雪盖的要小。

综上所述, 秋冬季青藏高原雪盖和 Niño 3 区海温各分量都与后期中国夏季降水存在一定的相关关系。不同因子和不同时间尺度之间不仅有不同的相关型式, 而且相对贡献也有差别。根据某一年这六个小波分量的符号和大小以及图 3~4 的相关模型, 我们可以大致估计出该年我国夏季受它们的影响所引起的降水距平分布。

5 建立我国夏季降水距平分布的预测模型

为建立多因子和多时间尺度共同影响的统计预测模型, 我们用秋冬季青藏高原雪盖的年际变化、年代际变化和线性增加趋势三个时间尺度的分量值作为第一组预报因子, Niño 3 区海温的年际变化、年代际变化和线性变暖趋势三个时间尺度的分量值为第二组预报因子, 分别对中国夏季降水距平作线性回归, 建立两个回归方程, 作为青藏高原雪盖和 Niño 3 区海温单一因子多时间尺度做出的预报估计。然后, 取雪盖和海温六个分量值为第三组预报因子, 再与中国夏季降水距平建立回归方程, 作为综合考虑青藏高原雪盖和 Niño 3 区海温两个因子

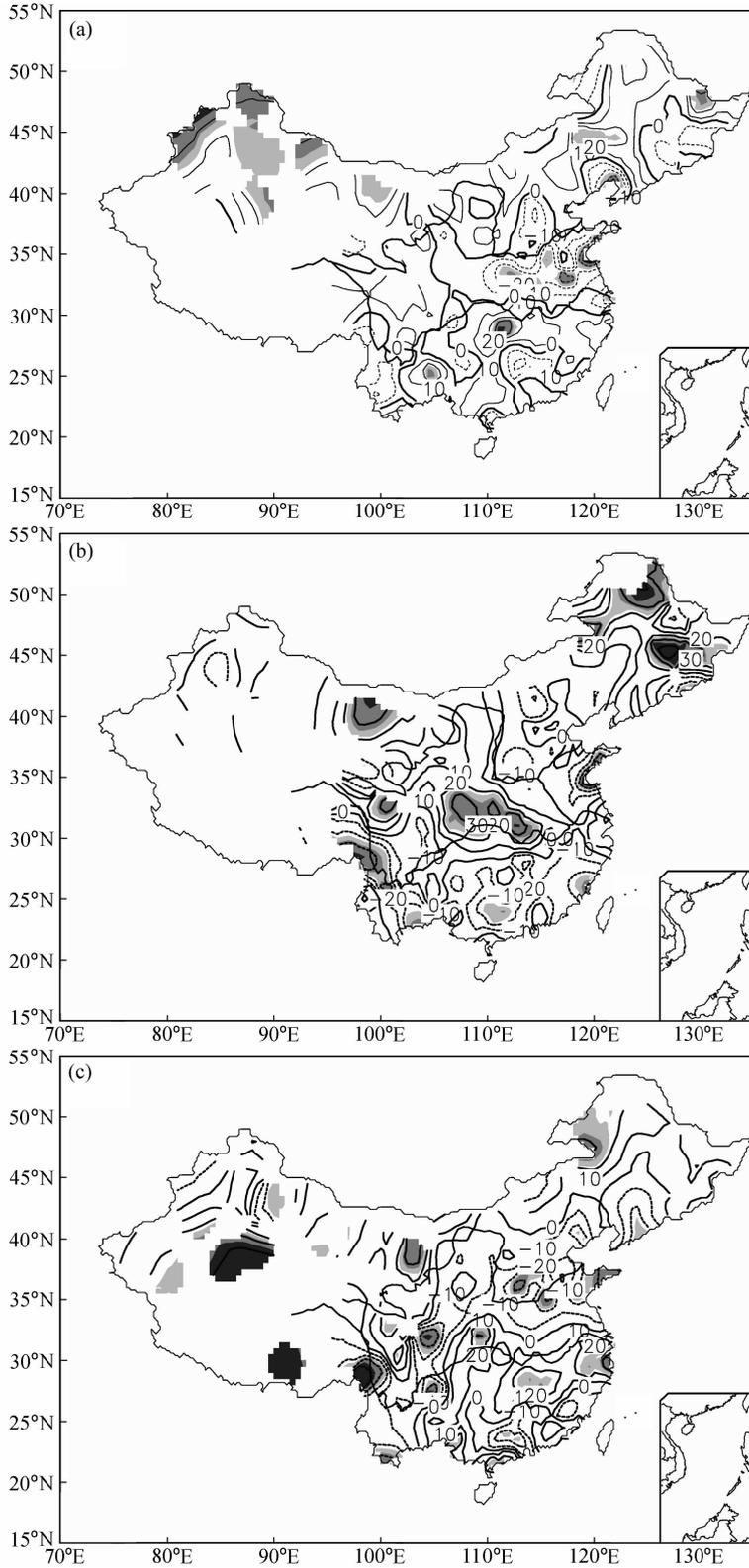


图 4 Niño 3 区海温距平的年际变化 (a)、年代际变化 (b)、线性增加趋势 (c) 与中国夏季降水的相关分布。其余同图 3
Fig. 4 The same as Fig. 3, but for the (a) interannual, (b) interdecadal variations, (c) linear trend of SSTA in the Niño 3 region

多时间尺度共同影响的预测模型。预测具体计算步骤如下:

(1) 用 9 月至次年 2 月的青藏高原月积雪深度和 Niño 3 区海温的实时资料, 计算其对 1961~1990 年多年平均的距平和 9 月至次年 2 月积雪的累积距平和海温的平均距平。

(2) 对包括实时资料的新的积雪距平序列和海温距平序列进行标准化处理。

(3) 作小波分析, 并根据小波系数算出积雪的年际变化、年代际变化和线性趋势三个小波分量值, 以及海温的年际变化、年代际变化和线性趋势三个小波分量值。

(4) 以积雪的三个分量为第一组预报因子, 海温的三个分量为第二组预报因子, 它们的组合为第三组预报因子, 分别对中国夏季降水距平作线性回归, 建立三个回归方程。

(5) 根据第 (3) 步骤得到的六个实时分量值和第 (4) 步骤建立的回归方程, 可最后得到中国夏季降水距平分布的预测结果。

为了比较青藏高原雪盖和 Niño 3 区海温及其组合的预测模型效果的差异, 图 5 给出 1958~1998 年逐年全国 160 站回归估计与实测降水距平为同号的百分率。平均而言, 雪盖的同号率为 0.61, 海温为 0.59, 而其组合的同号率为 0.64。41 年中雪盖的同号率 \geq 海温的有 30 年 (73%); 雪盖+海温的同号率 \geq 雪盖或海温的有 32 年 (78%)。这说明雪盖的预测效果比海温好些, 而综合考虑两个物理因子共同作用的效果又比单一因子的影响要好些。从每一年的拟合情况来看, 三个预测模型都有一定效果。但也有一些年份拟合较差, 同号率不到 50%。这可能是这些年青藏高原雪盖和 ENSO 的影响相对较小, 也可能是由于我们用的是线性回归, 不可能对每年都适用。另外, 各预测模型同号率的地理分布显示 (图略), 高同号率区一般都出现在雪盖和海温各分量与我国夏季降水相关较显著的地区 (图 3、4), 尤其是多个分量都有贡献的区域。

6 预报试验

我们利用 1999~2002 年的独立资料进行预报试验, 并在 2003 年和 2004 年应用于实际预报, 参加中国科学院大气物理研究所的短期气候预测会商。由于没有 1998 年以后观测的青藏高原 60 站的

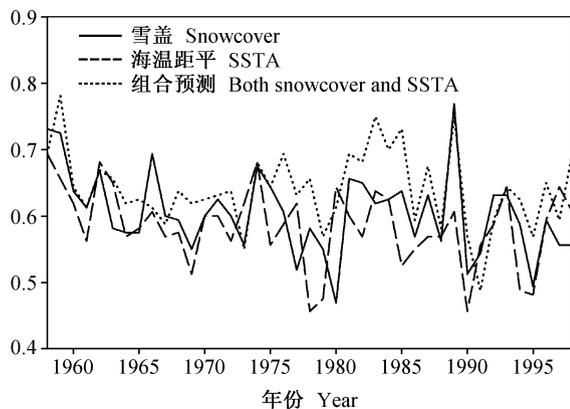


图 5 1958~1998 年用青藏高原雪盖、Niño 3 区海温距平和组合预测模型得到的全国 160 站降水距平回归估计与实测降水距平的逐年同号率

Fig. 5 The time series of average probability of the same symbol between the regressed precipitation by only the snow cover over the Qinghai-Xizang Plateau, only the SSTA in the Niño 3 region, both snow cover and SSTA and observed precipitation form 1958 to 1998

雪深资料, 而且每年作预报时也没能及时取得实时资料, 所以这里我们改用 NOAA 和 NCEP/NCAR 的 CDAS-1 月诊断地面雪深资料来作预报实验。首先, 利用回归方法分析青藏高原上诊断的雪深序列与观测的雪深序列之间的相互关系, 建立它们之间统计关系的方程式; 然后, 根据诊断的雪深值做出观测雪深值的估计。根据上述预测具体计算步骤可得到中国夏季降水距平分布的预测结果。

图 6 给出 1999~2002 年预测的降水距平和观测的降水距平分布 (由于篇幅关系, 这里只给出受雪盖和海温六个分量共同影响的合成结果)。首先, 我们来看这四年夏季降水的实况 (图 6b)。这四年的降水分布类型都不一样: 1999 年主要雨带在江南北部地区; 2000 年在淮河流域; 2001 年在我国东部和东南沿海一带; 2002 年在黄河河套和江南地区。对比这四年的预测 (图 6a) 可以看到, 我们的预测与实况基本相符。此外, 还可看到, 各年其他多雨区和少雨区的分布与实况也比较一致。例如, 1999 年, 除长江与黄河之间区域的预测与实况相差较大外, 长江上游、黄河上游和新疆地区的多雨区, 以及从甘肃西部经河套、华北至东北的几个少雨区预测与实况都对应较好。其他年份情况也大致如此, 这里不再一一叙述。总的来说, 这四年的预报试验效果还比较好, 它们的同号率分别为:

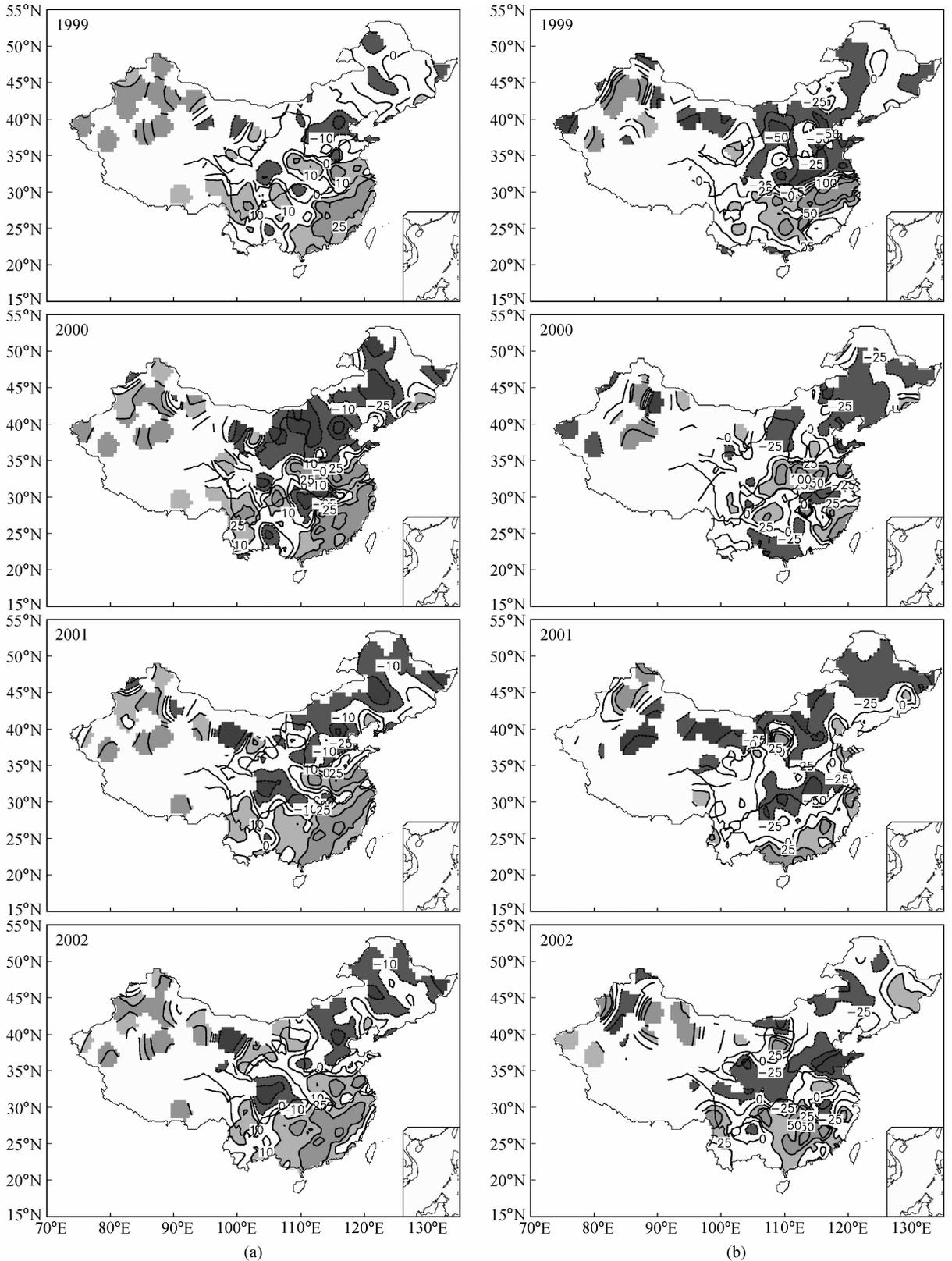


图 6 1999~2002 年根据前期秋冬季青藏高原雪盖和 Niño 3 区海温距平的六个时间尺度分量预测 (a) 和观测 (b) 的夏季降水距平百分率分布
Fig. 6 Percentage of the summer precipitation anomaly in China from 1999 to 2002; (a) Predicted by the interannual, interdecadal variations and linear trend of the snow cover over the Qinghai-Xizang Plateau and SSTa in the Niño 3 region; (b) observation

0.725、0.669、0.475 和 0.569。这说明我们的统计预测模型有一定的预测能力。

图 7 是 2003 年预测的降水距平和观测的降水距平分布。根据图 7a，我们预计 2003 年夏季我国主要雨带位于长江流域及其以南地区，另外新疆、内蒙古中部至东北南部降水也可能偏多；长江中上游以北及河套地区降水偏少。从实况（图 7b）来看，2003 年夏季是我国气候非常异常的一年，主要雨带发生在江淮流域一带地区，淮河流域和渭河流域降水异常偏多，造成两流域严重洪涝灾害；而长江以南大片地区出现了罕见的持续高温干旱天气，华北和东北大部降水也偏少。比较图 7a 和 b 可以看到，我们 2003 年的预测效果不是很好，虽然对淮河流域、渭河流域、新疆和内蒙古中部的多雨，

以及东北东部和华北北部的少雨有一定程度的反映，但我们预计的主要雨带所在的江南地区出现了罕见的持续高温干旱天气，预测与实况有很大差异。这一年的预测和实况同号率只有 43.8%，主要是由于长江以南大片地区符号相反所致。

图 8 是 2004 年预测和观测的降水距平分布。根据图 8a，我们预计 2004 年长江及其以南地区降水偏多，主要降水偏多中心出现在长江中上游地区，北方大部地区降水偏少。从实况（图 8b）来看，由于 2004 年夏季的降水主要是过程性或局地雷阵雨性质的强降水，雨带的特征不是很明显。降水偏多的地区主要在长江中游、江南西部、黄淮地区、新疆西北部及黄河河套至内蒙古中部一线；降水偏少的地区主要在华北北部、东北大部、内蒙古

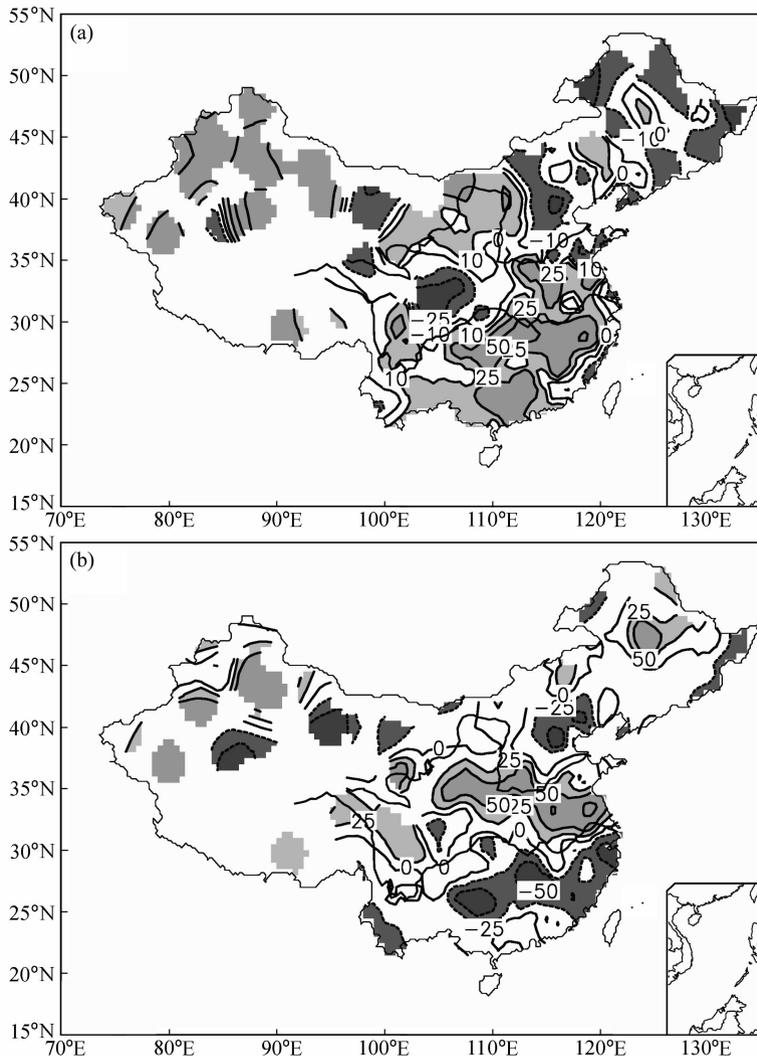


图 7 同图 6，但为 2003 年预测 (a) 和观测 (b) 的降水距平百分率分布

Fig. 7 The same as Fig. 6, but for 2003

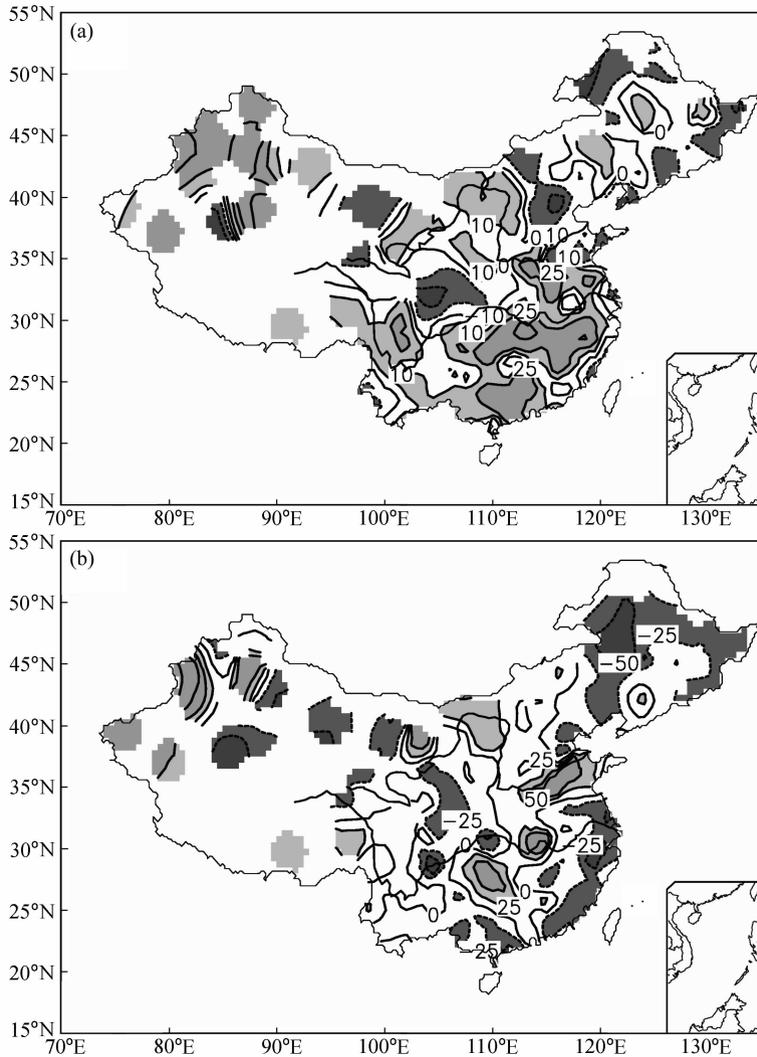


图8 同图7, 但为2004年

Fig. 8 The same as Fig. 7, but for 2004

东北部、西北大部及东南沿海一带。比较图 8a 和 b 可以看到, 我们 2004 年夏季降水预测的效果比 2003 年的要好, 除黄淮部分地区和长江中下游的江南地区差异较大外, 其他主要多雨区和少雨区的分布大体上预测与实况比较接近。2004 年的预测与实况的距平同号率要比 2003 年的提高, 为 57.5%。

7 小结

通过以上分析, 我们可以得到以下几点结论:

(1) 秋冬季青藏高原雪盖和 Niño 3 区海温不仅物理意义清楚, 而且彼此具有一定独立性, 说明它们对我国气候变化可能起不同的作用, 是比较理

想的两个预报因子。

(2) 青藏高原雪盖和 Niño 3 区海温都是多时间尺度现象。为了提高短期气候预测水平, 不仅要考虑它们年际变化强信号的作用, 而且还要重视它们年代际变化背景的共同影响。

(3) 秋冬季青藏高原雪盖和 Niño 3 区海温各时间分量都与我国夏季降水存在一定的相关关系。不同因子和不同时间尺度之间不仅有不同的相关型式, 而且相对贡献也有差异。根据图 2 某一年时间尺度分量的符号和大小, 以及图 3、4 的相关模型, 我们可以大致估计出我国该年夏季受它们影响的降水距平分布。

(4) 综合考虑前期秋冬季青藏高原雪盖和 Niño 3

区海温及其各种时间尺度的共同影响, 建立三种预测我国夏季降水距平分布的回归模型。拟合和预测实验表明其有一定的预测能力, 但也有一些年份预测效果不是很好。平均而言, 雪盖的预测效果比海温好些, 而雪盖和海温两个因子共同作用的效果又比单一因子要好些。

现在, 人们还无法确切知道来年在众多的因子中到底哪些因子将起主导作用, 因而往往导致预报失误。气候预测是一个相当复杂和困难的问题, 我们这里所建立的统计预测模型只是初步的。在影响因子方面, 我们只是考虑了青藏高原雪盖和 ENSO 这两个因素, 其他因素还有待通过预报试验不断加以补充。另外, 我们的预测模型用的是线性回归, 也有待进一步改进。

参考文献 (References)

[1] 陈烈庭. 东太平洋赤道地区海水温度异常对热带大气环流及我国汛期降水的影响. 大气科学, 1977, **1**: 1~12
Chen Lieting. Influence of equatorial eastern Pacific SSTA on tropical atmospheric circulation and summer rainfall. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (Scientia Atmospherica Sinica)* (in Chinese), 1977, **1**: 1~12

[2] 陈烈庭, 阎志新. 青藏高原冬春季积雪对大气环流和我国南方汛期降水的影响. 中长期水文气象预报文集 (第一集). 北京: 水利电力出版社, 1979. 185~194
Chen Lieting, Yan Zhixin. The influence of snow cover over the Qinghai-Xizang Plateau in winter and spring on atmospheric circulation and South China flood season precipitation. *Proceedings (First) of Medium and Long-term Hydrology and Weather Forecast Forum* (in Chinese). Beijing: China Water Power Press, 1979. 185~194

[3] 徐国昌, 李珊, 洪波. 青藏高原雪盖异常对我国环流和降水的影响. 应用气象学报, 1994, **5** (1): 62~67
Xu Guochang, Li Shan, Hong Bo. The influence of the abnormal snow cover over the Qinghai-Tibet Plateau on precipitation. *Quarterly Journal of Applied Meteorology* (in Chinese), 1994, **5** (1): 62~67

[4] 赵振国. 厄尔尼诺现象对北半球大气环流和中国降水的影响. 大气科学, 1996, **20** (4): 422~428
Zhao Zhenguo. Impact of El Niño events on atmospheric circulations in the Northern Hemisphere and precipitation in China. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (Scientia Atmospherica Sinica)* (in Chinese), 1996, **20** (4): 422~428

[5] 韦志刚, 罗四维, 董文杰, 等. 青藏高原积雪资料分析及其与我国夏季降水的关系. 应用气象学报, 1998, **9** (增刊): 39~46
Wei Zhigang, Luo Siwei, Dong Wenjie, et al. Snow cover da-

ta on Qinghai-Xizang Plateau and its correlation with summer rainfall in China. *Quarterly Journal of Applied Meteorology* (in Chinese), 1998, **9** (Supplement): 39~46

[6] 金祖辉, 陶诗言. ENSO 循环与中国东部地区夏季和冬季降水关系的研究. 大气科学, 1999, **23** (6): 663~671
Jin Zuhui, Tao Shiyan. A study on the relationships between ENSO cycle and rainfalls during summer and winter in eastern China. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 1999, **23** (6): 663~671

[7] 吴统文, 钱正安. 青藏高原冬春积雪异常与中国东部地区夏季降水关系的进一步分析. 气象学报, 2000, **58** (5): 570~581
Wu Tongwen, Qian Zhengang. Further analyses of the linkage between winter and spring snow depth anomaly over Qinghai-Xizang Plateau and summer rainfall of eastern China. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 2000, **58** (5): 570~581

[8] 陈乾金, 高波, 李维京, 等. 青藏高原冬季积雪异常和长江中下游主汛期旱涝及其与环流关系的研究. 气象学报, 2000, **58** (5): 582~595
Chen Qianjin, Gao Bo, Li Weijing, et al. Studies on relationships among snow cover winter over the Tibetan Plateau and droughts/ floods during Meiyu season in the middle and lower reaches of the Yangtze River as well as atmosphere/ocean. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 2000, **58** (5): 582~595

[9] 陈烈庭. 青藏高原异常雪盖和 ENSO 在 1998 年长江流域洪涝中的作用. 大气科学, 2001, **25** (2): 184~192
Chen Lieting. The Role of the anomalous snow cover over the Qinghai-Xizang Plateau and ENSO in the great floods of 1998 in the Changjiang River valley. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2001, **25** (2): 184~192

[10] 陈烈庭, 阎志新. 青藏高原冬春季异常雪盖影响初夏季风的统计分析. 1977~1978 年青藏高原气象会议论文集. 北京: 科学出版社, 1981. 151~161
Chen Lieting, Yan Zhixin. The statistical analysis of the affect of the snow cover anomaly over the Tibetan Plateau in winter and spring to the monsoon in the early summer. *Papers from the Workshop on the Meteorology in the Tibetan Plateau from 1977 to 1978* (in Chinese). Beijing: Science Press, 1981. 151~161

[11] Huang Ronghui, Wu Yifang. The influence of ENSO on the summer climate change in China and its mechanism. *Adv. Atmos. Sci.*, 1989, **6** (1): 21~32

[12] 林学椿. 70 年代末、80 年代初气候跃变及其影响. 东亚季风和我国暴雨. 北京: 气象出版社, 1998. 240~249
Lin Xuechun. Climatic jump in late 1970s through early 1980s and its effect. *East Asian Monsoon and Torrential Rain in China* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 1998. 240~249

[13] Chen Lieting, Wu Renguang. Interannual and decadal variations of snow cover over Qinghai-Xizang Plateau and their re-

relationships to summer monsoon rainfall in China. *Adv. Atmos. Sci.*, 2000, **17** (1): 18~30

[14] 刘家铭, 翁衡毅. 全球海温的多尺度变化及其与中国夏季降水的关系. 东亚季风和中国暴雨. 北京: 气象出版社, 1998. 301~313

Lau K-M, Weng H-Y. Relationship between multi-scale variability of global sea surface temperature and summer rainfall in China. *East Asian Monsoon and Torrential Rain in China* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 1998. 301~313

[15] Chen Lieting. The joint effects of snow cover over Qinghai-Xizang Plateau and ENSO on the interannual and interdecadal variations of summer rainfall in China. *Dynamics of Atmospheric and Oceanic Circulations and Climate—Celebration of the 80th Birthday of Prof. Zhu Baozhen*. Beijing: China Meteorological Press, 2001. 371~384

[16] 彭京备, 陈烈庭, 张庆云. 青藏高原异常雪盖和 ENSO 的多尺度变化及其与中国夏季降水的关系. 高原气象, 2005, **24** (3): 366~377

Peng Jingbei, Chen Lieting, Zhang Qingyun. The multi-scale variations of snowcover over the Tibetan Plateau and tropical Pacific SST and their influences on the summer rainfall in China. *Plateau Meteorology* (in Chinese), 2005, **24**(3): 366~377

[17] 陈菊英, 王玉红, 王文. 近 50 年来 ENSO 和冷暖事件评定及其对夏季雨量的滞后效应. 汛期旱涝预测方法研究. 北京: 气象出版社, 2000. 109~113

Chen Juying, Wang Yuhong, Wang Wen. The assess of the cool and warm affairs of ENSO and its lag domino effect on the summer rain. *Studies on the Prediction Method of the Precipitation During Raining Season* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 2000. 109~113

更正声明

《大气科学》30 卷第 3 期中发表的论文“一种基于 SVD 的迭代方法及其用于气候资料场的插补试验”由于作者本人的疏忽, 将署名单位顺序和资助项目弄错。现应作者要求更正如下:

一种基于 SVD 的迭代方法及其用于气候资料场的插补试验

张永领^{1,2} 丁裕国¹ 高全洲² 王兆礼²

1 南京信息工程大学江苏省气象灾害重点实验室, 南京 210044

2 中山大学地理科学与规划学院, 广州 510275

The Method Based on SVD Iteration and Its Application to Interpolation of Climate Data

ZHANG Yong-Ling^{1,2}, DING Yu-Guo¹, GAO Quan-Zhou², and WANG Zhao-Li²

1 Jiangsu Key Laboratory of Meteorological Disaster, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044

2 School of Geography and Planning, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510275

资助项目: 江苏省气象灾害重点实验室项目 KLME050209