

春季欧亚大陆地表气温变化特征的气候意义

沈学顺¹ 木本昌秀²

1 中国气象科学研究院灾害天气国家重点实验室, 北京 100081

2 日本东京大学气候系统研究中心

摘 要 研究了春季欧亚大陆地表气温的年际变化及其相联系的环流场特征, 发现春季欧亚大陆地表气温年际变化呈现为大陆尺度的南北跷跷板式的空间分布特征, 即当中高纬度地表气温为正距平时, 副热带地区则为负距平, 反之亦然。这种空间分布型代表了欧亚大陆中高纬度地表气温年际变化的主要特征。进一步的研究表明, 这种变化与前期冬季北大西洋涛动 (NAO) 有着显著的正相关, 而与同期的 NAO 无关。同时, 欧亚大陆地表气温异常存在着明显的从冬到夏的持续性。与东亚初夏气候变化关系的研究表明, 春季欧亚大陆地表气温的变化通过影响鄂霍次克高压的变化进一步影响初夏梅雨的变化。当春季欧亚大陆中高纬度地表气温为正距平时, 鄂霍次克高压偏强, 初夏梅雨较活跃, 反之亦然。

关键词 欧亚大陆 地表气温 北大西洋涛动 鄂霍次克高压 梅雨

文章编号 1006-9895 (2007) 01-0019-09

中图分类号 P423

文献标识码 A

Studies of the Interannual Variability of Springtime Eurasian Surface Air Temperature

SHEN Xue-Shun¹ and Masahide Kimoto²

1 State Key Laboratory for Sever Weather, Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081

2 Center for Climate System Research, University of Tokyo, Japan

Abstract The motivation of this study is to understand the interannual variability of Eurasian thermal condition prior to the summer monsoon season. By using the observation-based surface air temperature data, interannual variability of Eurasian surface air temperature in springtime and related circulation features are investigated. The main analysis methods in this study include principal component analysis, linear regression and composite analysis. It is found that year-to-year variations of springtime Eurasian surface air temperature exhibit as the north-south seesaw spatial pattern on continental scale; Positive anomalies of surface air temperature at mid-high latitudes of Eurasia are accompanied by the negative anomalies over the subtropics of Eurasia, and vice versa. Such spatial pattern represents the main feature of interannual variability in surface air temperature at mid-high latitudes of Eurasia. Further analysis demonstrates that such variations bear significant positive correlations with the preceding wintertime North Atlantic oscillation (NAO), while there exists no relationship with the contemporary NAO. Much interesting is that Eurasian surface air temperature has obvious persistence from winter to early summer.

Studies of the relationship with the early summer climate in East Asia indicate that variability in springtime Eurasian surface air temperature puts impacts on the early summer Meiyu rainfall through modulating the activities of the Okhotsk high. When the mid-high latitudes of Eurasia are warmer, the Okhotsk high tends to be stronger and the early summer Meiyu tends to be more active, and vice versa.

Key words Eurasian springtime surface air temperature, interannual variability, the North Atlantic oscillation, the Okhotsk high, Meiyu

1 引言

欧亚大陆的地表状况对于亚洲季风系统是非常重要的,这已被许多观测事实和模式研究所证实^[1~4]。冬春的雪盖、春季积雪融化及其相伴随的土壤水分变化对欧亚大陆地表热状况的影响是这些研究的主要内容,而直接研究有着长期观测资料的地表气温却很少。同时,地表气温的资料与雪盖及土壤水分的观测资料相比其可信程度要高得多。近年来,对于全球变暖研究的关注及再分析资料的出现为我们提供了可信赖的地表气温和长时间序列的大气环流资料。本文通过研究春季欧亚大陆地表气温的年际变化,并探讨它对东亚初夏气候的可能影响,揭示春季欧亚大陆地表气温变化特征的气候意义。

以往有关欧亚大陆地表气温(surface air temperature, 简称 SAT)的研究,大多集中在过去几十年地表气温的年代际尺度的时空变化,研究的主要目的是试图理解和分离全球变暖中气候自然变率和人类活动影响的不同效应。有研究^[5, 6]指出,近年来北半球气温的变化趋势其大部分变率可以由北半球中高纬度环流的变化来解释。这些工作进一步研究了全球变暖和热带外环流变化(北极涛动 AO 或北大西洋涛动 NAO)对于北半球中高纬度冬季年代际气候变化的影响,尤其是研究了欧亚大陆中高纬地区和北美大部分地区的冬季年代际气候变化。但是,这些研究主要强调在年代际或更长尺度上欧亚大陆地表气温、降水的变化与 AO/NAO 的关系,而且集中在 AO/NAO 最为活跃的季节——冬季。

近年来,有关 NAO 或 AO 对于欧亚大陆气候年际变化的影响日益引起人们的关注。Gong 等^[7]研究了冬季 AO 和东亚夏季风的关系。Qian 等^[8]研究了夏季英国气温和前期欧亚大陆雪盖、北大西洋海温以及 NAO 的关系。Ogi 等^[9]发现了冬季 NAO 对于夏季大气环流变化的影响。Ding 等^[10]指出中国西部地区的春季沙尘暴发生频率与前期冬季 AO/NAO 关系密切。这些工作主要研究了 NAO 或 AO 与局地气候现象的滞后相关关系。这些统计

关系背后所隐含的物理过程是基于如下猜想:受冬季 NAO 或 AO 影响的气候系统中的一些参量或分量可能具有较长的记忆以及反馈效应,使之能够影响到夏季的气候变化。但是,这些猜想仍然需要大量的研究去证实。

欧亚大陆的地表热状况由于其对海陆热较差的影响在季风系统中起着重要的作用。研究指出,这种地表热状况的变化在中高纬度的远东地区通过改变海陆热力差异影响并导致初夏中高纬度的环流异常,如对鄂霍次克高压变异的影响^[11, 12]。另一方面,夏季中高纬度环流的异常也能够在前期的欧亚大陆上找到信号,如 Kodera 和 Chiba^[13]就发现 6 月份鄂霍次克高压的异常与前期 4 月份中亚的积雪异常有很好的负相关关系。因此,研究春季欧亚大陆地表热状况的年际变化对于理解北半球夏季大气环流的变化、东亚夏季风的年际变异有着重要的意义。

本文通过分析 50 年(1950~1999)春季欧亚大陆地表气温的资料,从年际变化的角度理解地表气温的时空变化及其相伴随的北半球大气环流的变化,理解从冬到夏地表气温异常的持续性及其对初夏东亚夏季风的影响。

2 资料和分析方法

本文所用资料是美国 NOAA-CIRES (National Oceanic & Atmospheric Administration-Cooperative Institute for Research in Environmental Sciences) 气候诊断中心提供的基于站点观测资料的由 Delaware 大学所整理制作的月平均地表气温^[14],资料的可用期间从 1950 年到 1999 年,共 50 年。资料的空间分辨率为 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ 。所用的环流资料是 NCEP/NCAR (National Centers for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research) 的再分析资料^[15]。同时,CMAP (CPC Merged Analysis of Precipitation)^[16]降水资料与中国 160 个站的月平均气温和降水资料被用来研究东亚夏季风的异常。

欧亚大陆地表气温受全球变暖的影响,其变化的时间尺度主要表现为年代际或更长的逐渐变暖趋势。因此,为了集中研究年际变化,本研究所用的

资料其线性趋势全部被除去以使资料中不再包含由于全球变暖造成的影响。具体剔除线性趋势的方法是求出 50 年资料序列中逐月的线性趋势并在原始资料序列中减去求出的线性趋势。另外，也对采用高通滤波的办法将 20 年以上的长周期变化去除后的资料作了同样的分析，得到的结果与前述剔除线性趋势的资料的分析结果没有大的差异。本文只给出采用剔除线性趋势后的 50 年资料序列分析结果。

本文所采用的分析方法主要包括经验正交函数分解和线性回归分析，目的是为了更加清晰地理解欧亚大陆地表气温距平的时、空分布及其相关联的环流变化。文中出现的冬季、春季和夏季平均分别定义为 12、1、2 月 (DJF)，3、4、5 月 (MAM) 和 6、7、8 月 (JJA) 的平均。但是，全印度夏季风降水指数是指 6、7、8、9 月四个月的平均 (简称 JJAS)。

3 春季欧亚大陆地表气温年际变化的主要空间型及其相关联的环流场

图 1 给出了春季 SAT 的标准偏差分布。从 SAT 的标准偏差可以清楚地看到，欧亚大陆上地表气温的变化其振幅在中高纬度相对较大，空间分布表现为大陆尺度，范围从欧洲西部一直延伸到远东地区。有必要指出，图 1 给出的分布并不依赖于资料的选取，用其他观测资料也可同样得到。

为了更清楚地认识春季 SAT 的主要时空变化，图 2b 给出欧亚大陆春季平均 SAT 的 EOF 第一模态 (以下简称 EOF1) 对应的 SAT 空间分布。图 2b 给出的是 EOF 第一模态对应的时间序列与月平均

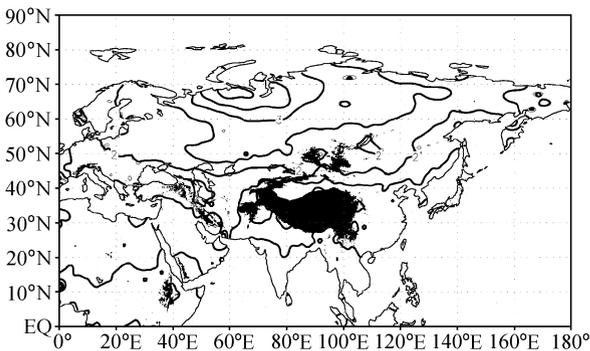


图 1 春季平均地表气温的标准偏差 (单位: $^{\circ}\text{C}$)。阴影表示超过 1500 m 的高原地形
Fig. 1 Standard deviation of the springtime-mean surface air temperature ($^{\circ}\text{C}$). Shading represents the topography with the elevation exceeding 1500 m

距平场的回归分析。与图 1 所示的标准偏差分布一致，春季 SAT EOF 第一模态表现为横跨欧亚大陆尺度、南北跷跷板式的空间分布。当 40°N 以北的中高纬度偏暖的时候，副热带欧亚大陆则表现为低温偏差，反之也是如此。从中高纬度 SAT 变化的振幅及图 1 所示的标准偏差来看，该 SAT EOF 第一模态主要反映了中高纬度地表气温的年际变化。如果计算欧亚大陆中高纬地区 ($40^{\circ}\text{N}\sim 70^{\circ}\text{N}$, $0^{\circ}\sim 180^{\circ}$) 平均地表气温变化的时间序列与 EOF 第一模态时间系数的相关，可以发现二者的相关达到 0.99，超过了 99% 的置信度水平 (见图 2a)。

对于其他的 EOF 模态，本文不做详细分析。需要指出的是，EOF 第一模态占总方差的 38.9%，与第二模态的 14% 相比，根据 North 的判据^[17]，可以说第一模态从其他模态中显著地分离出来。第

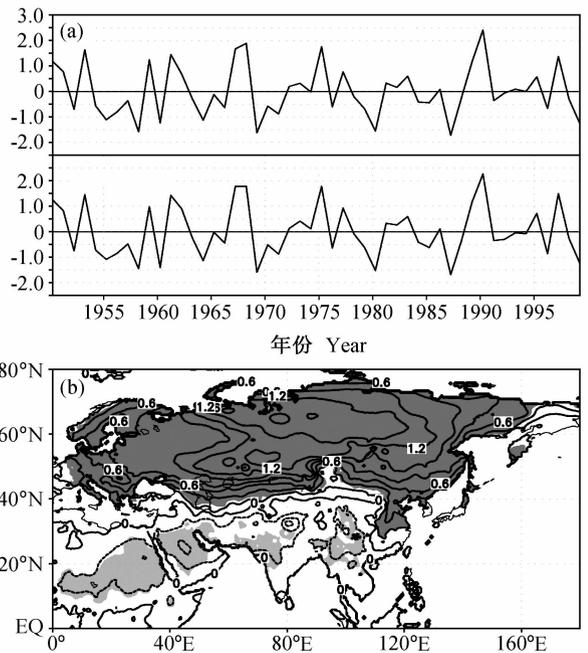


图 2 (a) 春季欧亚大陆平均气温年际变化第一模态对应的时间序列 (上图) 和区域平均 ($40^{\circ}\text{N}\sim 70^{\circ}\text{N}$, $0^{\circ}\sim 140^{\circ}\text{E}$) 标准化的地表气温距平演变曲线 (下图); (b) 第一模态的时间序列与春季平均地表气温的线性回归系数分布，阴影代表相关系数超过 95% 信度检验

Fig. 2 (a) Time series (EOF-PC1) of expansion coefficient of the leading EOF of springtime Eurasian surface air temperature (upper panel) and the area-averaged ($40^{\circ}\text{N}\sim 70^{\circ}\text{N}$, $0^{\circ}\sim 140^{\circ}\text{E}$) normalized surface air temperature (SAT) anomalies (lower panel); (b) regression map for springtime SAT based on time series shown in the upper panel of (a). Shading represents those whose correlations exceed 95% significance level

二模态以后的模态则不能够显著地分离开来。

为了进一步揭示与春季欧亚大陆地表气温年际变化的主要模态 EOF1 相对应的大气环流场的变化,用主要模态对应的时间系数(以下称 EOF-PC1)和其他气象要素场进行了线性回归分析。为方便起见,以下定义 EOF-PC1 为春季欧亚大陆地表气温指数(简称 EUSATI)。图 3 给出 EUSATI 与 500 hPa 高度场的回归分析场。由于计算回归系数时采用了标准化的 EUSATI,因此图 3 中等值线的值实际上代表了 500 hPa 高度场变化的振幅。总体上,对应的 500 hPa 高度距平场呈现出围绕极地的环状分布。当欧亚大陆中高纬度地表气温为正距平时,其上空的天气为正的距平,而在极区为负的高度距平,反之亦然。

图 4 给出了春季平均的气温、位势高度和纬向风的纬向-高度剖面。与图 3 一样,图 4 所示的回归系数是指春季平均的欧亚大陆地表气温年际变化第一模态对应的时间序列与春季平均大气环流各量的线性回归,且各量为沿欧亚大陆的纬向平均(0~140°E)。与 EOF1 对应的上空对流层的热力结构表现为经向“偶极子”式的分布,也就是说,春季欧亚大陆地表气温南北跷跷板式的年际变化模态不仅

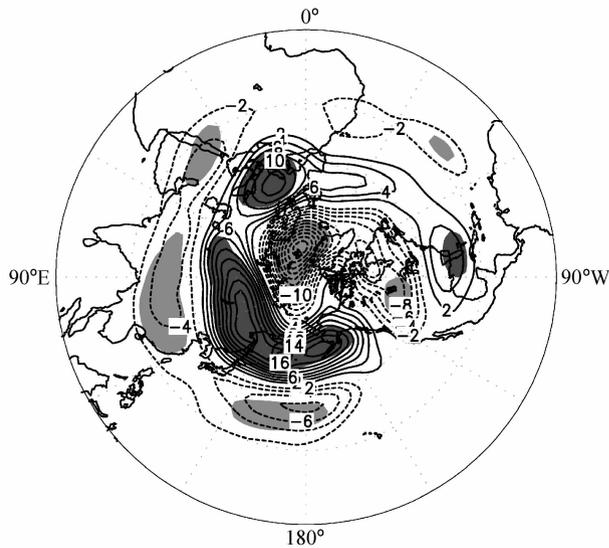


图 3 春季欧亚大陆平均气温年际变化第一模态对应的时间序列与春季平均 500 hPa 高度场的线性回归系数分布。阴影代表相关系数超过 95% 信度检验

Fig. 3 Regression map for springtime 500 hPa geopotential height based on EOF-PC1. Shading represents those whose correlations exceed 95% significance level

仅局限于地表,而且在整个对流层都有着明显的反映。对流层的温度变化其最大振幅在靠近地面的低层,随高度的增加而减小。另外,在高纬极区的平流层也可发现明显的信号。从图 4b 看到,与相对较暖(冷)的中高纬欧亚大陆相联系,在温暖(冷)地表的上空对流层内存在正(负)的位势高度距平,但靠近地面的低层除外为负(正)的距平(图 4b);在副热带和高纬极区上空则为负(正)的距平。位势高度场距平的南北剖面与对应的热力结构类似,呈现出三极的结构。与前述温度和高度场距平的结构相匹配,沿欧亚大陆纬向平均的纬向风距平剖面也呈现为三极的结构(图 4c),距平中心位于高度场距平梯度最大的地方。

与图 4 类似,图 5 给出的是经向-高度剖面图,图中各量是沿经向方向的平均(40°N~70°N)。从

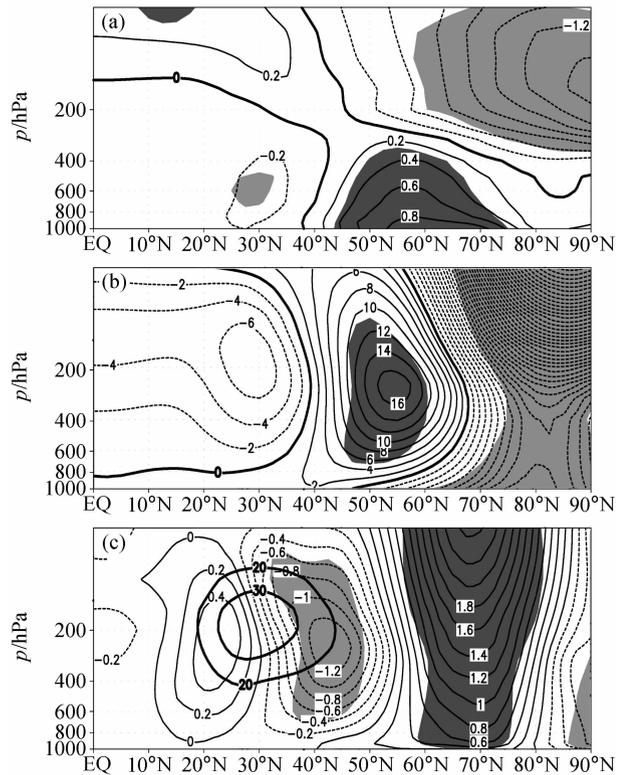


图 4 沿欧亚大陆纬向平均(0°~140°E)的线性回归系数纬向-高度剖面图:(a)春季平均温度;(b)春季平均位势高度;(c)纬向风。粗实线表示气候平均的副热带急流,阴影代表相关系数超过 95% 信度检验

Fig. 4 North-south and vertical cross section of regression coefficients zonally averaged from 0° to 140°E in spring based on the EOF-PC1 for (a) temperature, (b) geopotential height, (c) zonal wind. Thick solid line shows the climatological subtropical jet. Shadings represent the 95% significance level

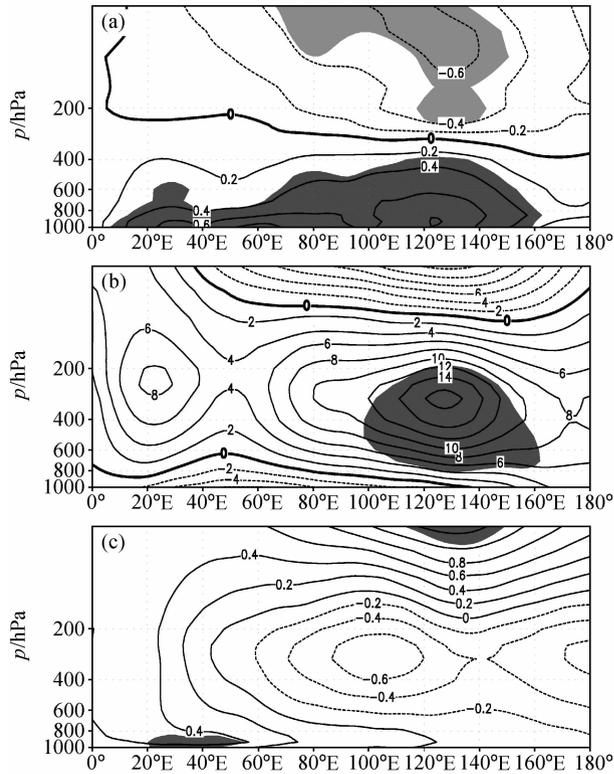


图 5 沿欧亚大陆中高纬度经向平均 ($40^{\circ}\text{N}\sim 70^{\circ}\text{N}$) 的线性回归系数的东西高度剖面图, 其余同图 4

Fig. 5 Similar to Fig. 4, but for east-west and vertical cross section of regression coefficients meridionally averaged from 40° to 70°N

温度距平的经向高度剖面图 (图 5a) 来看, 与地表气温的主要模态 EOF1 对应, 其上空对流层大气与地表有相同的距平符号, 而且同样呈现为自西向东的横跨欧亚的大陆尺度。也就是说, 春季欧亚大陆中高纬度地表的气温变化与其上空对流层大气紧密相连, 具有很好的一致性。相应的高度距平则表现为与温度距平相适应的分布, 即中高纬地表为正温度距平的时候, 除近地层以外, 其上空为正位势高度距平, 反之亦然。近地层的高度距平则是大气对地表热状况响应的直接反映。与温度、位势高度距平的分布不同, 南北平均的纬向风距平其在东西方向的变化相对比较小, 这主要因为纬向风距平在南北方向上的三极结构使得求南北平均时存在的正负中心的相互抵消所致。

4 欧亚大陆春季地表气温的异常与前期冬季大气环流异常的关系

影响欧亚大陆气候年际变化的因素很多, 典型

表 1 欧亚大陆春季地表气温的年际变化指数与典型气候指数的相关关系 (黑体数字表示相关系数超过 95% 置信度检验)

Table 1 Correlation coefficients of EUSATI (Eurasia surface air temperature index) and widely-utilized climate indices (bold values; more than 95% significance level)

气候指数 Climate index	EUSATI	
	DJF	MAM
DJF NAOI	0.608	0.37
MAM NAOI	0.027	0.067
JJAS AIMRI	0.0114	0.177
JJA MCI	-0.034	-0.0046
DJF SOI	-0.136	0.0597
MAM SOI	0.0187	0.243
DJF EUSATI	1	0.28

DJF: Dec, Jan, Feb; MAM: Mar, Apr, May; JJAS: Jun, Jul, Aug, Sep; JJA: Jun, Jul, Aug

的如厄尔尼诺、北大西洋涛动 (NAO) 等^[5, 6]。为了研究欧亚大陆春季地表气温的年际变化与其他气候因素的关系, 计算了 EUSATI 与 NAO 指数 (NAOI, North Atlantic oscillation index)、南方涛动指数 (SOI, southern oscillation index)、全印度季风降水指数 (All Indian Monsoon Rainfall Index, 简记 AIMRI) 和季风环流指数 (Monsoon Circulation Index, 简记 MCI) 指数之间的相关关系, 包括滞后相关。得到的相关系数列于表 1 中。非常有意思的是, 春季欧亚大陆地表气温的变化除了与前期冬季 NAO 有显著的正相关关系, 以及与前期冬季欧亚大陆地表气温有一定的相关以外, 与其他研究中常用的这些指标并无显著的相关。从表 1 也可以看出, 冬季 NAO 与冬季欧亚地表气温的变化有着非常显著的相关, 这与以前的研究结果吻合^[6, 18]。表 1 中给出的结果表明春季欧亚大陆地表气温的变化与前期冬季活跃的 NAO 有很大关系。

为进一步说明这个问题, 图 6 给出了 EUSATI 与前期冬季 500 hPa 高度场的滞后线性回归系数分布, 图中阴影代表 EUSATI 与 500 hPa 高度场的相关系数超过 95% 置信度检验。该回归分析场呈现出与前期冬季 NAO 非常相似分布特征^[19], 表现为极区大气和北大西洋大气之间的跷跷板式变化特征。综合这些统计关系说明, 当前期冬季 NAO 为高指数位相时 (High index phase), 春季欧亚大陆

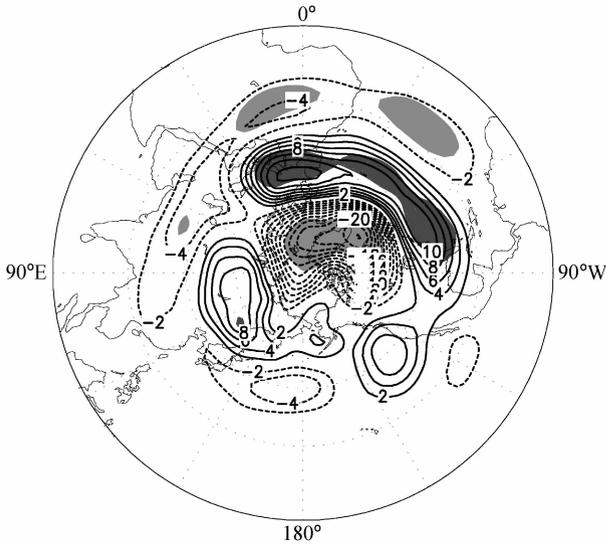


图6 春季欧亚大陆平均气温年际变化第一模态对应的时间序列与前期冬季平均 500 hPa 高度场的滞后线性回归系数分布。阴影代表相关系数超过 95% 信度检验

Fig. 6 Lagged regression map for prior winter 500 hPa geopotential height based on EOF-PC1. Shading represents those whose correlations exceed 95% significant level

中高纬度地区地表气温偏暖，反之亦然，而且这种统计关系在 50 年的资料序列中是显著的。这进一步说明了前期冬季 NAO 与春季欧亚大陆地表气温年际变化之间的密切联系。

图 7 是合成的欧亚大陆地表气温从前期冬季到夏初的演变情况。合成分析是根据标准化的 EU-SATI 其绝对值大于 1 个标准偏差来选取的个例，所选取的正位相为 1953、1959、1961、1967、1968、1975、1989、1990、1997 年，负位相为 1955、1958、1960、1964、1969、1980、1987、1989 年。从图 7 可以发现，对应于春季欧亚大陆地表气温年际变化主要模态的正位相，地表气温距平首先出现在前期末秋在欧洲西部及北部，然后随着季节的推移逐渐向东向北扩展，到春季演变为覆盖整个欧亚大陆中高纬度，到夏初仍然可以在欧洲北部及远东地区看到显著的距平存在。这与表 1 及图 6 相结合，在一定程度上说明了前期冬季 NAO 在形成春季欧亚大陆地表气温年际变化主要模态中可能有重要的激发作用。

地表气温距平在前期冬季被激发以后，如何维持从春季到夏初的持续性是一个重要的科学问题。我们知道，春季由于积雪的逐渐融化及相关联的水

文学过程，与其他季节相比，地表热状况年际变化相对较大，而且通过积雪融化及随后的土壤湿度的变化，使得地表热状况的异常有可能存在较长的记忆^[3]。图 7 中显示的从冬到夏的地表气温距平演变可能与积雪的自南向北的逐渐融化和相关联的水文学过程有关。但是，也应该注意到，与地表气温距平相伴随的环流距平场在对流层有着深厚的结构，环流场的异常在这种 NAO 激发的地表气温距平持续性的维持中起到什么样的作用，是一个值得深入研究的问题（将在另文中作进一步的论证和阐述）。本文只给出欧亚大陆地表气温距平存在从冬季到夏初的持续性这一重要事实。为了进一步说明这一持续性，图 8 给出了欧亚大陆中高纬度地表气温的自相关系数。非常明显，中高纬度欧亚大陆地表气温自冬到春与后滞 2~3 个月的地表气温有着明显的正相关，而从春到夏初的地表气温又与前期 2~3 个月的地表气温存在明显的正相关，这清楚地表明欧亚大陆地表气温存在从冬到夏初的明显的持续性。我们从图 8 也注意到欧亚大陆地表气温存在从夏到秋明显的持续性，这将是另外一个非常重要的科学问题（由于与本文主题关联不大，这里不做讨论）。

5 欧亚大陆春季地表气温的变化与初夏东亚大气环流及梅雨的关系

东亚初夏的天气气候以梅雨锋为主要特征。梅雨锋的活动不仅受来自热带的影响，同时也有来自中高纬度的影响^[20]，来自中高纬度的干冷空气通过增加大气的不稳定性进一步影响梅雨锋的活动。梅雨锋期间，在东西伯利亚及鄂霍次克海周围，经常可以观测到阻塞高压或者高压脊的活动。由于这些系统对东亚初夏的天气有着重要的影响，东亚的气象学者常称之为鄂霍次克高压。迄今为止的研究指出，欧亚大陆陆表热状况的变化可能造成鄂霍次克高压的变动^[11, 12, 21]，而且有关春季积雪与鄂霍次克高压的关系的观测研究也佐证了这一点^[13]。但是，所有这些研究都缺乏系统性。

图 9 是 EUSATI 和 6 月份 500 hPa 高度场的回归分析系数，阴影表示超过 95% 置信度检验。可以看到，6 月份 500 hPa 高度场和前期春季欧亚大陆中高纬度陆表热状况的关系表现为极区的负相关和环绕极区的正相关，尤其是在从远东到北太平洋

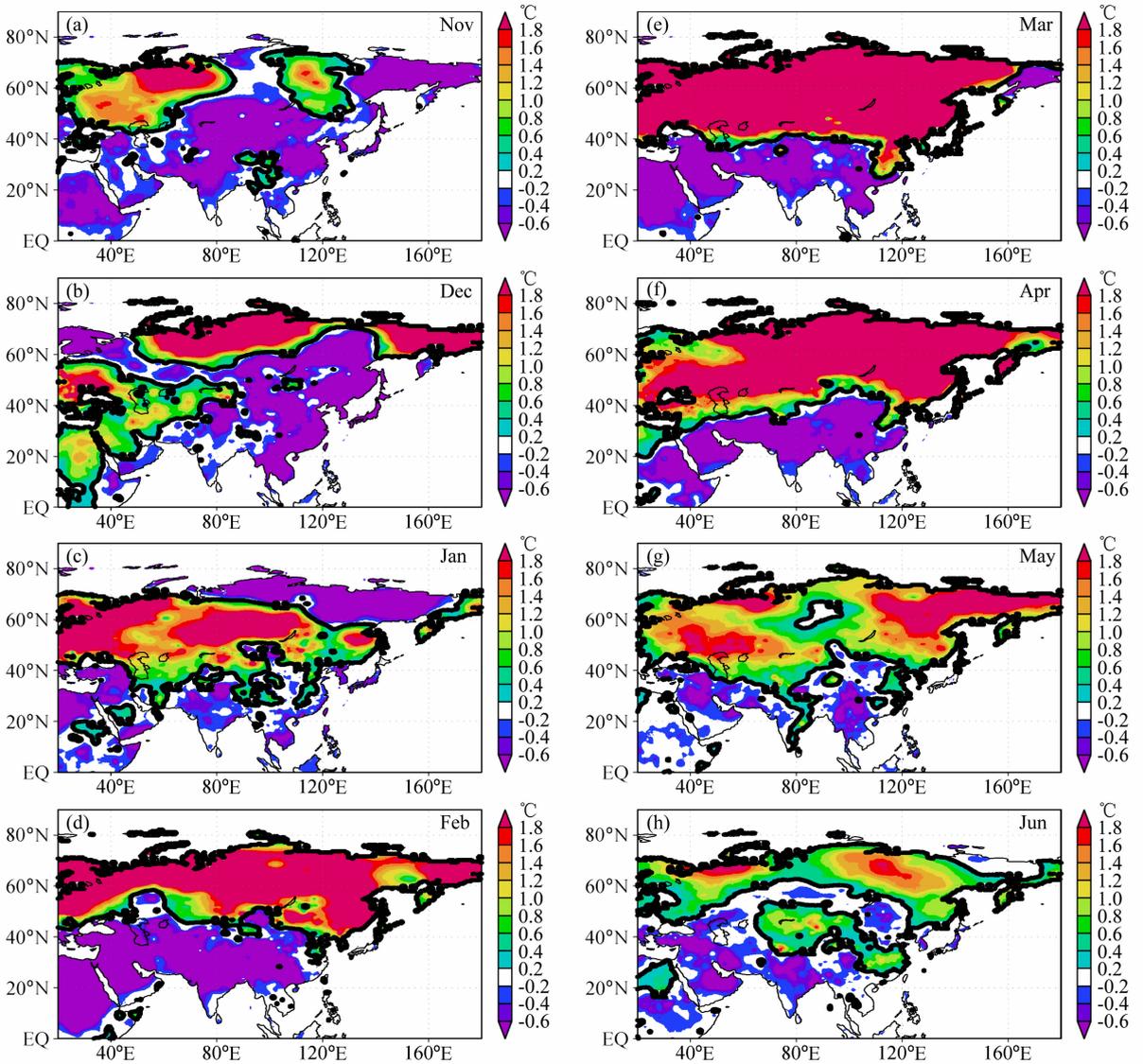


图7 合成的春季平均欧亚大陆地表气温年际变化主要模态正负位相之间地表气温的差异：(a) ~ (h) 分别对应于前期秋季 11 月~同年 6 月
 Fig.7 Composite differences of SAT between the pronounced positive and negative cases in EOF-PC1. The pronounced negative and positive cases are selected according to the amplitudes of EOF-PC1 larger than one standard deviation. (a) - (h) correspond to the prior Nov to the contemporary Jun

一带有显著的正相关，而在其南方则为显著的负相关。这样的 500 hPa 高度距平场的分布清楚地表明，当春季欧亚大陆中高纬度偏暖的时候，后期初夏鄂霍次克高压趋于活跃或者增强，反之亦是如此。如果定义区域 (55°N~65°N, 115°E~155°E) 平均的 500 hPa 高度场距平作为该高压的变动指数，计算其与 EUSATI 的相关系数，相关达到 0.32，超过 95% 的置信度检验。同时，用该指数计算其与前期春季欧亚大陆地表气温的相关，得到的相关场与春季欧亚大陆地表气温变化的主要模态非

常相似。这些结果确认了初夏鄂霍次克高压的变动与前期春季欧亚大陆地表热状况的正相关关系，从短期气候预测的角度来讲，对于认识和理解东亚初夏的天气气候变化具有重要的参考意义。

春季欧亚大陆陆表热状况的变化影响后期初夏鄂霍次克高压的变动。如前所述，这将进一步影响梅雨锋的活动。图 10 给出了 EUSATI 与 6 月份降水的滞后回归分析系数，降水资料取自 CMAP (但用其他降水资料所作的分析也是同样的结果)。图 10 清楚地表明，当春季欧亚大陆偏暖的时候，可以

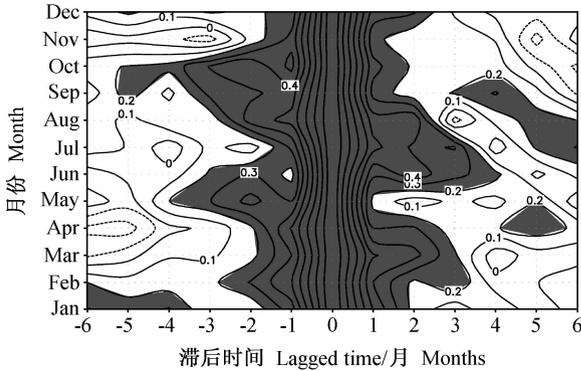


图8 欧亚大陆中高纬度地区(40°N~70°N, 0~140°E)地表气温的滞后自相关系数

Fig. 8 Auto-correlation of area-averaged SAT over mid-high latitudes of Eurasia (40°N - 70°N, 0° - 140°E)

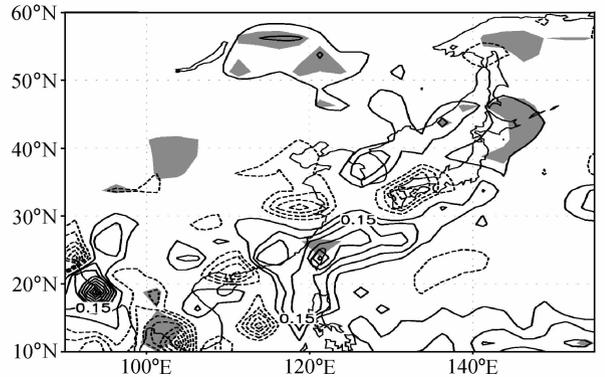


图10 6月份降水距平与前期春季平均欧亚大陆地表气温年际变化主要模态的时间系数之间的线性回归系数。阴影表示相关系数超过90%置信度检验

Fig. 10 Lagged regression map for precipitation in the subsequent Jun based on EOF-PC1. Shading represents those whose correlations exceed 90% significance level

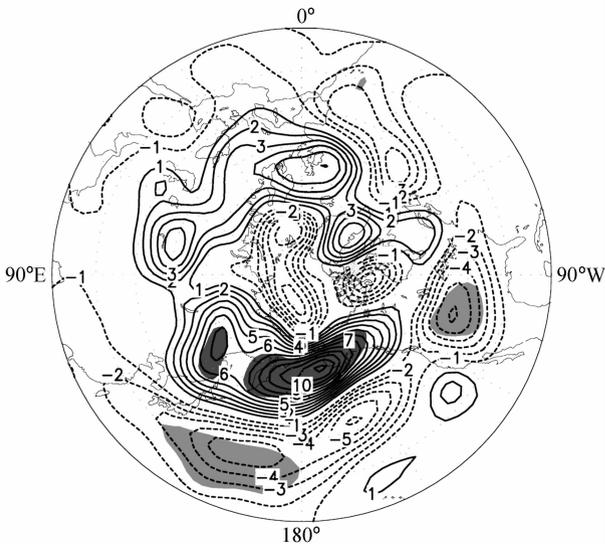


图9 春季平均欧亚大陆气温年际变化第一模态对应的时间序列与6月份月平均500 hPa高度场的滞后线性回归系数分布。阴影代表相关系数超过95%信度检验

Fig. 9 Lagged regression map for 500 hPa geopotential height in the subsequent Jun based on EOF-PC1. Shading represents those whose correlations exceed 95% significance level

发现从华南一直延伸到日本南部的东北西南走向的正距平降水带, 这表明华南前汛期和初夏梅雨锋比较活跃。这与前述陆表热状况与鄂霍次克高压的关系相一致。

6 结论

本文利用1950~1999年50年的地表气温资料详细研究了春季欧亚大陆地表气温的年际变化及其相联系的环流场特征。研究发现, 春季欧亚大陆地

表气温年际变化呈现为欧亚大陆尺度的南北跷跷板式的空间分布特征, 即当中高纬度地表气温为正距平时, 副热带地区则为负距平; 反之亦然。通过与这种变化的主要空间模态对应的时间序列分析, 表明这种空间分布型代表了春季欧亚大陆中高纬度地表气温年际变化的主要特征。

春季欧亚大陆地表气温年际变化的主要空间模态不仅仅局限于地表, 通过其对应的时间序列与其他环流场的相关分析表明, 这种空间模态及其变化是整个对流层的现象, 除近地表层外在对流层内表现为类似相当正压的结构, 近地表层的大气结构则表现为对地表热状况的热力响应。

与东亚气候变异密切相关的各种气候变化指数的相关分析表明, 前述主要空间模态与前期冬季北大西洋涛动(NAO)有着显著的正相关, 而与同期的NAO无关。同时, 欧亚大陆地表气温存在明显的从冬到夏的持续性。春季欧亚大陆地表气温的主要空间模态可以在前期冬季找到类似的分佈, 且两者有着显著的相关。这种从冬到春的跨季节的持续性对于理解欧亚大陆尺度的气候变化和东亚短期气候预测有着重要的意义, 值得进一步研究。

与东亚初夏气候变化关系的研究表明, 春季欧亚大陆地表气温的变化通过影响鄂霍次克高压的变化进一步影响华南前汛期和初夏梅雨的变化。当春季欧亚大陆中高纬度地表气温为正距平时, 鄂霍次克高压偏强, 初夏梅雨较活跃; 反之亦然。该统

计关系对于理解梅雨的年际变异具有重要的意义。

参考文献 (References)

- [1] Hahn D G, Shukla J. An apparent relationship between Eurasian snow cover and Indian monsoon rainfall. *J. Atmos. Sci.*, 1976, **33**: 2461~2462
- [2] 陶诗言, 朱文妹, 赵伟. 论梅雨的年际变异. 大气科学, 1988, 特刊: 13~21
Tao Shiyang, Zhu Wenmei, Zhao Wei. On the interannual variability of Meiyu. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (Scientia Atmospherica Sinica)* (in Chinese), 1988, Special issue: 13~21
- [3] Yasunari T, Kitoh A, Tokioka T. Local and remote response to excessive snow mass over Eurasia appearing in the northern spring and summer climate—A study of the MRI GCM. *J. Meteor. Soc. Japan*, 1991, **69**: 473~487
- [4] Shen X, Kimoto M, Sumi A. Role of land surface processes associated with interannual variability of broad-scale Asian summer monsoon as simulated by the CCSR/NIES AGCM. *J. Meteor. Soc. Japan*, 1998, **76**: 217~236
- [5] Hurrell J W, van Loon H. Decadal variations associated with the North Atlantic oscillation. *Climatic Change*, 1997, **36**: 301~326
- [6] Thompson D W J, Wallace J M. Annual modes in the extratropical circulation. Part I: Month-to-month variability. *J. Climate*, 2000, **13**: 1000~1016
- [7] Gong D-Y, Ho C-H. Arctic oscillation signal in the East Asian summer monsoon. *J. Geophys. Res.*, 2002, **108** (D2): 4066, doi:10.1029/2002JD002193
- [8] Qian B, Saunders M A, Summer U. K. Temperature and its links to preceding Eurasian snow cover, North Atlantic SSTs, and the NAO. *J. Climate*, 2003, **16**: 4108~4120
- [9] Ogi M, Tachibana Y, Yamazaki K. Impact of the wintertime North Atlantic Oscillation (NAO) on the summertime atmospheric circulation. *Geophys. Res. Lett.*, 2003, **30** (13): 1704, doi:10.1029/2003GL017280
- [10] Ding R, Li J, Wang S, et al. Decadal change of the spring dust storm in northwest China and the associated atmospheric circulation. *Geophys. Res. Lett.*, 2005, **32**: L02808, doi:10.1029/2004GL021561
- [11] Okawa T. Growth mechanism of the Okhotsk high (in Japanese). *Research Letter*, 1973, **25**: 65~77
- [12] Kato K. Synoptic characteristics of Okhotsk high related to the Yamase (in Japanese). *Meteorology Research Note*, 1995, **183**: 67~90
- [13] Kodera K, Chiba M. West Siberian spring snow cover and East Asian June 500mb height. *Papers in Meteorology and Geophysics*, 1989, **40**: 51~54
- [14] Willmott C J, Robeson S M. Climatologically aided interpolation (CAI) of terrestrial air temperature. *Int. J. Climatol.*, 1995, **15**: 221~229
- [15] Kalnay E M, Kanamitsu M, Kistler R, et al. The NCEP/NCAR reanalysis project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 1996, **77**: 437~471
- [16] Xie P, Arkin P A. Global precipitation: A 17-year monthly analysis based on gauge observations, satellite estimates, and numerical model outputs. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 1997, **78**: 2539~2558
- [17] North G R, Moeng F J, Bell T J, et al. Sampling errors in the estimation of empirical orthogonal functions. *Mon. Wea. Rev.*, 1982, **110**: 699~706
- [18] Li J, Wang J. A new North Atlantic Oscillation index and its variability. *Adv. Atmos. Sci.*, 2003, **20** (5): 661~676
- [19] Hurrell J W. Decadal trends in the North Atlantic Oscillation region temperatures and precipitation. *Science*, 1995, **269**: 676~67
- [20] Ding Y H. *Monsoons over China*. Kluwer Academic Publishers, 1994. 432pp
- [21] Kato K. Okhotsk high and the East Asian large-scale contrast. *Monthly Oceanography*, 1990, **22**: 422~426