

常蕊, 张庆云, 李荣凤. 2010. 夏季副热带西部模态水异常与我国秋、冬季气温年际变化的关系 [J]. 气候与环境研究, 15 (3): 303 - 310. Chang Rui, Zhang Qingyun, Li Rongfeng. 2010. Relationship between the North Pacific subtropical mode water anomaly in summer and the interannual change of autumn - winter air temperature over China [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 15 (3): 303 - 310.

夏季副热带西部模态水异常与我国 秋、冬季气温年际变化的关系

常蕊^{1,2} 张庆云¹ 李荣凤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 中国气象局公共气象服务中心, 北京 100081

摘 要 利用合成、回归等方法分析了夏季副热带西部模态水 (简称 STMW) 异常与我国秋、冬季气温年际变化的联系, 发现: 1) 秋、冬季东亚—太平洋地区的大气环流异常对我国的气温变化起了重要作用, 夏季 STMW 异常通过东亚—太平洋地区的大气环流异常进而与我国秋、冬季的气温变化联系在一起。2) 夏季 STMW 正 (负) 异常时, 同年秋季我国西北、东北和江淮地区的气温异常偏低 (偏高); 冬季时, 东北、西北地区气温偏高 (低)。3) 这种联系主要是通过东亚—太平洋地区大气环流的典型分布实现的: 夏季 STMW 异常偏强 (弱) 时, 同年秋季与黑潮附近的冷 (暖) 海温相对应, 西北太平洋上空大气环流出现负 (正) 的高度距平, 气旋性 (反气旋性) 环流西侧的偏北 (南) 气流引导 (阻碍) 东亚大陆中高纬冷空气南下, 同时东欧地区的高压 (低压) 向东南方向伸展, 对我国西北地区秋季冷空气的活动起到了增幅 (削弱) 作用, 我国东北、西北和江淮大部分地区的冷空气活动偏强, 气温普遍偏低 (高)。黑潮区附近的冷 (暖) 海温持续热力作用下, 海洋不断得到 (失去) 热量, 积累到冬季, 促使黑潮区域的海表面温度 (SST) 逐渐向正 (负) 异常转变。冬季的大气环流场也对应发生调整: 西北太平洋上空出现显著的高压 (低压) 异常, 反气旋 (气旋) 西侧的偏南 (北) 气流减弱 (加强) 了我国东北地区的冷空气强度, 气温偏高 (低); 亚洲中纬度地区受低压 (高压) 距平控制, 我国西北地区的冷空气活动较弱 (强), 气温偏高。

关键词 副热带西部模态水 秋、冬季气温 黑潮附近海表面温度 亚洲大气环流

文章编号 1006-9585 (2010) 03-0303-08 **中图分类号** P461 **文献标识码** A

Relationship between the North Pacific Subtropical Mode Water Anomaly in Summer and the Interannual Change of Autumn - Winter Air Temperature over China

CHANG Rui^{1,2}, ZHANG Qingyun¹, and LI Rongfeng¹

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 Public Weather Service Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081

收稿日期 2009-03-03 收到, 2010-04-10 收到修定稿

资助项目 国家科技支撑计划课题 2009BAC51B02、中国科学院知识创新工程重要方向项目 KZCX2-YW-218 和国家自然科学基金项目 40975022、40776011

作者简介 常蕊, 女, 1982 年出生, 博士, 主要从事区域海洋对大气环流的影响研究。E-mail: changrui2001@163.com

Abstract Based on the NCAR/NCEP reanalysis and ERA-40 datasets, the relationship between the North Pacific subtropical mode water (STMW) and the interannual change of autumn – winter air temperature over China was revealed by using composite and correlation (regression) analysis. It was found that the relationship between the autumn – winter air temperature over China and the summer STMW intensity was linked by the anomalous patterns of the Asian – Pacific atmospheric circulation and the sea surface temperature (SST) anomalies over the collocated reemergence area of STMW ($20^{\circ}\text{N} - 27^{\circ}\text{N}$, $125^{\circ}\text{E} - 150^{\circ}\text{E}$), that is the Kuroshio area. The main conclusions are: 1) The strong summer STMW is usually accompanied by the low air temperature over the northwestern and northeastern parts of China and the Changjiang – Huaihe valley during autumn; and the high air temperature over the northwestern and northeastern parts of China during winter, and vice versa. 2) A possible process that links the summer STMW with the autumn – winter air temperature is also revealed. First of all, the authors pointed out that the summer STMW anomaly can impose an effect on the thermocline depth and the SST anomaly over the Kuroshio area during autumn. The strong summer STMW is usually accompanied by the shallow thermocline depth and negative SST anomalies over the Kuroshio area during autumn and positive SST anomalies during winter, and vice versa. 3) In the strong summer STMW cases, the anomalous northerly to the western flank of the anomalous cyclone, which is corresponding to the autumn cold SST over the collocated reemergence area, guides the cold air to China, meanwhile, the anomalous cold high pressure over eastern Europe extends southeastward, leading to the low air temperature over the northwestern and northeastern parts of China and the Changjiang-Huaihe valley during autumn. Affected by the continuous accumulation of the endothermic process over the cold SST area in autumn, the positive SST anomaly emerges over the Kuroshio area during winter. Then the anomalous southerly to the western flank of the anomalous anticyclone, which is accompanied by the warm SST anomaly, weakens the winter monsoon intensity over the northeastern part of China, and leads to the high air temperature there. Meanwhile, the weak cold air over eastern Europe is blocked by the downstream cyclonic circulation, causing the warm air temperature over the northwestern part of China during winter. The situation in the weak STMW cases contains the opposite features to the aforementioned strong STMW cases.

Key words subtropical mode water, air temperature during autumn – winter, sea surface temperature over the Kuroshio area, Asia-Pacific atmospheric circulation

1 引言

海气界面的热量交换及海气系统耦合作用对全球气候异常变化有重要影响。黑潮区靠近中国沿海,有关黑潮区海表面温度(SST)与中国气候、特别是夏季降水关系的研究,20世纪70年代就受到中国科学家们的关注,并取得了一系列有意义的研究结果(叶笃正和黄荣辉,1996;黄荣辉等,1997;陈烈庭和吴仁广,1998)。同时,黑潮区SST与我国气温变化之间的关系也受到了一定的关注。陈佩燕等(2001)对全球不同海区冬季SST与我国东部气温异常关系进行了分析,指出黑潮区冬季海温与我国东部地区冬季气温异常存在密切的关系,两者的相关系数达到0.755。潘华盛和魏松林(1981)也指出,黑潮海域冬季与春季的连续加热,对东北地区夏季气温影响很大。严厉等(2008)研究指出,在年际尺度上,冬季

北太平洋SST与同期中国气温及东亚—太平洋冬季风有较好的相关关系,其影响的途径可能是海温异常引起东亚—太平洋冬季风异常、继而引起我国冬季气温异常。吴志彦等(2008)分析了1951~2004年地面气温变化,指出东海黑潮上层海温和我国东部地面气温的关系在冬季十分密切,呈现出大范围显著的正相关,与冬季南下冷空气的整体降温作用有关。

以往的研究虽然表明,我国天气气候的异常与黑潮区SST异常密切相关,然而黑潮区SST异常的成因及东亚—太平洋大气环流响应过程并不十分清楚。直至Masuzawa(1969)发现西北太平洋海域次表层温盐属性均匀的特殊水体,即副热带西部模态水(SubTropical Mode Water,简称STMW)后,大量的研究指出STMW的体积异常,通过局地重现、海洋波动等物理过程对黑潮附近海域($20^{\circ}\text{N} \sim 30^{\circ}\text{N}$, $125^{\circ}\text{E} \sim 150^{\circ}\text{E}$)的SST异常有显著的影响(Sugimoto and Hanawa, 2005,

2007; Chang et al., 2009), 进而使东亚—太平洋地区短期气候异常的研究有了更进一步的可能突破口。因此本文重点探讨年际尺度上, 夏季 STMW 异常通过秋、冬季黑潮区海温异常, 与东亚—太平洋大气环流及我国气温联系的可能过程。

2 资料与方法

本文使用了以下几种资料: 1) NCAR/NECP 再分析的 1958~2001 年月平均风场、高度场和气温场资料, 水平分辨率为 2.5° (纬度) $\times 2.5^\circ$ (经度) (Kalnay et al., 1996)。2) 海表净热通量资料取自 ERA-40 数据, 它是全球范围的水平分辨率为 2.5° (纬度) $\times 2.5^\circ$ (经度) 的月平均的资料, 时间跨度从 1958 年 1 月至 2001 年 12 月 (Uppala et al., 2005)。3) STMW 指数序列是通过计算位涡小于等于 $2.0 \times 10^{-10} \text{ m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 的水体体积而得出的。选择对夏季 STMW 指数的年际变化的标准化序列

中大于 0.6 个方差的 1968、1971、1972、1975、1982、1986、1993 和 1996 年定义为 STMW 强年; 小于 -0.6 个方差的 1970、1973、1974、1979、1983、1984、1988、1995 和 1997 年定义为 STMW 弱年, 具体参见 Chang et al. (2009)。

本文使用的方法主要有相关分析、合成分析、线性回归等。文中所用海表净热通量是通过计算海面的感热、潜热、长波和短波辐射之和, 得到的一个综合的热力指标。

3 夏季 STMW 异常后期环流演变特征

3.1 STMW 异常年海温异常的演变特征

为了简单了解夏季 STMW 异常年北太平洋地区 SST 的典型分布特征, 首先给出年际尺度上, 夏季 STMW 异常强、弱年合成的 SST 距平 (SSTA)、海表净热通量距平的分布 (图 1 和图 2)。

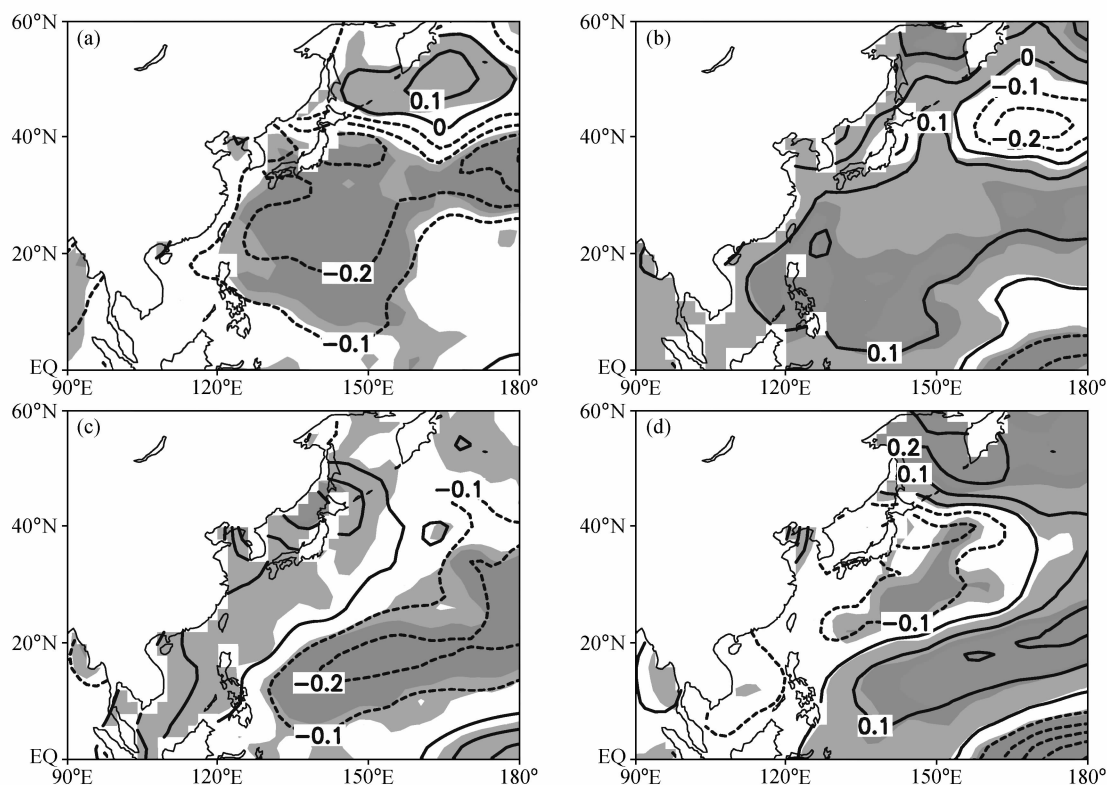


图1 夏季STMW (a、c) 强、(b、d) 弱年 (a、b) 秋季和 (c、d) 冬季合成的SSTA场 (单位: $^\circ\text{C}$)。实线为正异常, 虚线为负异常, 浅色和深色阴影分别表示信度水平超过 90% 和 95%

Fig. 1 Composite (a, b) autumn and (c, d) winter sea surface temperature anomaly (SSTA) ($^\circ\text{C}$) in (a, c) strong and (b, d) weak subtropical mode water (STMW) cases in summer. Solid and dashed lines indicate the positive and negative anomalies, respectively; light and dark shadings are above 90% and 95% confidence levels, respectively

从图 1 可见, 夏季 STMW 异常偏强时, 通过海洋波动和 STMW 的深对流重现过程, 引起秋季 (8~10 月) 黑潮附近 ($20^{\circ}\text{N}\sim 30^{\circ}\text{N}$, $125^{\circ}\text{E}\sim 150^{\circ}\text{E}$) 的 SST 出现显著的负异常 (Sugimoto and Hanawa, 2005, 2007; Chang et al. 2009) (图 1a)。受其影响, 黑潮区附近海洋不断得到热量, 这种吸热效果累积到冬季 (11 月至次年 1 月), 黑潮海域的海表净热通量出现显著正异常 (图 2a)。热力调整作用下, 黑潮区附近出现显著的正变温中心 (图 2c)。计算年际尺度上, 关键区 ($20^{\circ}\text{N}\sim 30^{\circ}\text{N}$, $125^{\circ}\text{E}\sim 150^{\circ}\text{E}$) 平均的海表热通量与黑潮区滞后一个月的 SST 相关超过 0.4 (显著超过 99% 的信度检验), 说明海表强烈的热力效果对这一区域正变温的形成具有重要作用。因此, 冬季黑潮区合成的 SSTA 逐渐从秋季显著的负异常向正常偏暖转变 (图 1c)。夏季 STMW 体积偏弱时, SST 和热通量的演变特征基本与强年反位相: 与 STMW

偏弱相关的次表层海洋信号随波动和混合上翻过程重现海表, 引起秋季黑潮附近 ($20^{\circ}\text{N}\sim 30^{\circ}\text{N}$, $125^{\circ}\text{E}\sim 150^{\circ}\text{E}$) 的 SST 出现显著的正异常 (图 1b)。此时, 海洋热力过程表现为加热大气, 不断向大气输送热量。海洋的失热效果累积到冬季, 黑潮海域的海表净热通量出现显著负异常 (图 2b), 对应着黑潮区显著的负变温中心 (图 2d)。因此, 冬季黑潮区合成的 SSTA 逐渐从秋季的正异常向正常偏冷转变 (图 1d)。

3.2 亚太地区大气环流调整与海温异常的关系

上节分析已指出, 夏季 STMW 强、弱异常年, 通过次表层海洋波动和海水深对流等过程引起秋、冬季黑潮附近海域 ($20^{\circ}\text{N}\sim 30^{\circ}\text{N}$, $125^{\circ}\text{E}\sim 150^{\circ}\text{E}$) 的 SST 出现显著的异常信号。为了进一步讨论与上述夏季 STMW 异常相联系的 SSTA 大气环流的分布特征, 图 3 给出了利用夏季 STMW 指数回归的 850 hPa 环流场 (高度场和风场)

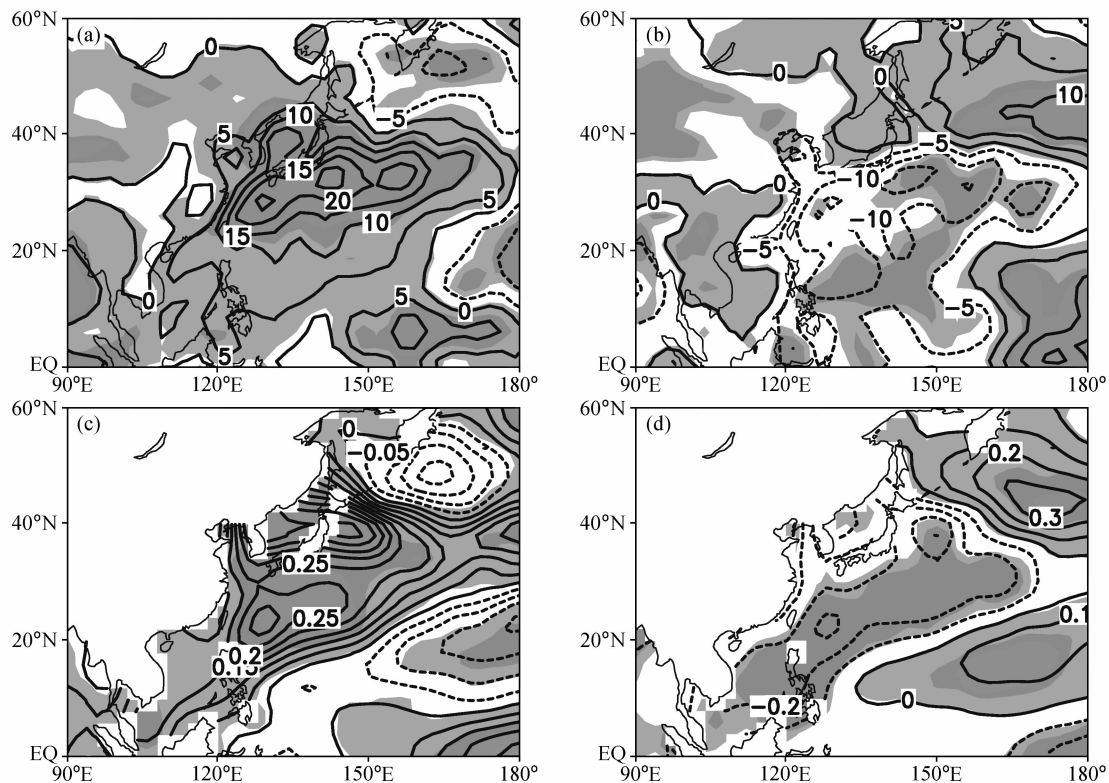


图 2 夏季 STMW (a、c) 强、(b、d) 弱年 (a、b) 冬季合成的海表热通量距平场 (单位: $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$) 及 (c、d) 冬季与秋季差值的变温分布 (单位: $^{\circ}\text{C}$)。实线为正异常, 虚线为负异常, 浅色和深色阴影分别表示信度水平超过 90% 和 95%

Fig. 2 (a, b) Composite net sea surface heat flux in winter (units: $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$) and (c, d) the difference of SST between winter and autumn (units: $^{\circ}\text{C}$) in (a, c) strong and (b, d) weak STMW cases during summer. Solid and dashed lines indicate the positive and negative anomalies, respectively; light and dark shadings are above 90% and 95% confidence levels, respectively

和对应的温度距平。图中可见, 夏季 STMW 指数偏强时, 同年秋季 (图 3a), 东欧 (30°E 附近) 高纬度地区维持一个强大的反气旋性距平环流, 乌拉尔山以北地区维持气旋性距平环流, 而勘察加半岛附近为强大的反气旋性距平环流。同时, 西北太平洋地区的气旋性距平环流西侧的偏北气流加强了东亚的季风环流, 引导冷空气南下; 勘察加半岛附近的异常冷高压系统与贝加尔湖南侧的大陆高压中心相连, 我国大部分地区受大陆冷高压的控制 (图 3a 和 3b)。冬季, 海上冷高压盘踞在日本东南海域, 乌拉尔山北侧的异常气旋中心南移至贝加尔湖附近, 在这两个强大系统的影响下, 朝鲜半岛至我国东北地区盛行偏南风 (图 3c 和 3d), 冷空气活动较弱; 同时贝加尔湖附近的低压中心延伸至我国西北地区 (图 3c 和 3d), 减弱了西北地区的冷空气强度。统计回归的结果 (图 3) 也说明, 夏季 STMW 异常偏弱年对应的东亚冬季风环流特征与上述强年的特征基本反位相。

强、弱 STMW 年秋、冬季合成的 850 hPa 环流特征 (图略) 与上述回归的结果类似: 夏季

STMW 指数偏强时, 黑潮附近秋季维持显著的冷海温异常 (图 1a), 与之相对应, 西北太平洋地区出现负高度距平 (吴国雄和王敬方, 1996), 气旋性环流西侧的偏北气流有利于中高纬大陆地区冷空气的南下; 东欧地区异常高压东侧偏北风的增幅作用下, 我国北方大部分地区冷空气活动频繁。冬季, 黑潮区的 SSTa 逐渐向正异常转变 (图 1c), 大气环流场对应发生了调整: 日本以东的大气环流出现高压异常 (吴国雄和王敬方, 1996), 异常高压西侧的偏南气流减弱了我国东北地区冷空气的活动; 同时我国西北地区受大陆低压异常控制, 冷空气活动弱。夏季 STMW 偏弱时的 850 hPa 环流形势与强年基本反位相。

为进一步考察对流层中层大气环流特征, 我们给出了夏季 STMW 指数回归的秋、冬季 500 hPa 位势高度距平和对应的温度距平, 发现在夏季 STMW 高值年的秋季 (图 4a 和 4b), 东欧地区和勘察加半岛上空均为显著的正高度距平, 新地岛至巴尔喀什湖附近存在负异常中心。欧亚大陆中高纬上空的环流形势呈双阻型, 即位于东欧地区和勘察加附近的两个阻高系统加强, 亚洲中

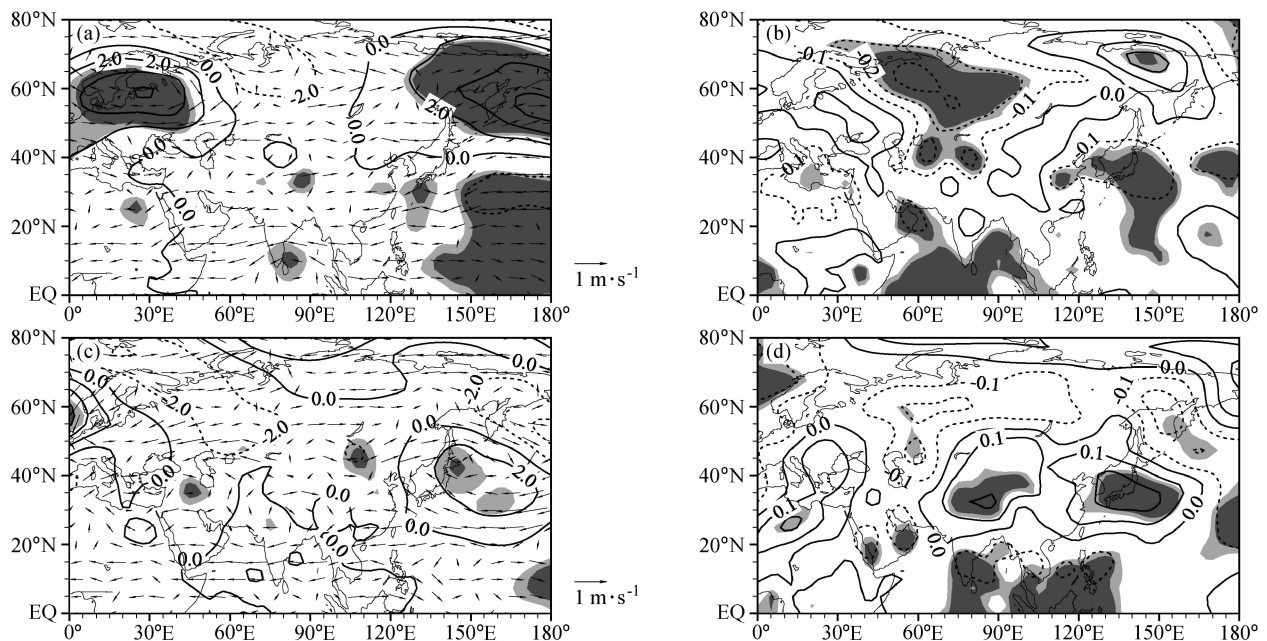


图 3 利用 1958~2001 年夏季 STMW 指数回归的 (a、b) 秋季和 (c、d) 冬季 (a、c) 850 hPa 高度场距平 (单位: dagpm)、风场距平 (单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) 及 (b、d) 气温距平 (单位: $^{\circ}\text{C}$)。浅色和深色阴影分别表示信度超过 90% 和 95%

Fig. 3 Regression of the (a, b) autumn and (c, d) winter (a, c) 850-hPa geopotential anomalies (units: dagpm), (a, c) wind anomalies, and (b, d) air temperature anomalies (units: $^{\circ}\text{C}$) onto the summer STMW index during 1958–2001. Light and dark shadings are above 90% and 95% confidence levels, respectively

高纬度地区的低压槽加深。同时,西北太平洋副热带地区维持负的高度距平。亚洲中高纬度和西北太平洋副热带海域的两个气旋性距平环流,西侧的偏北气流有利于亚洲中高纬冷空气长驱南下,入侵我国。冬季时,日本上空出现正的高度距平,南海附近出现负高度距平(图 4c 和 4d)。在西太平洋反气旋性距平环流西侧的偏南气流影响下,我国东北地区的冷空气活动受到削弱;同时西北亚地区的异常低压,一方面减弱了西路冷空气的强度,另一方面,其前侧的偏南气流减弱了我国西北地区的冷空气活动。STMW 偏弱年,500 hPa 位势高度场的距平分布基本与之反位相。而 STMW 强、弱年 500 hPa 环流场的合成分析特征与上述回归的结果一致,说明夏季 STMW 异常年的中层环流的分布特征是具有统计和物理意义的。

3.3 我国秋、冬季气温与亚太大气环流异常的关系

以上分析指出,夏季 STMW 异常与后期亚太地区的海气环流调整过程有密切的联系。那么,与这种大气环流分布相对应,我国短期气候异常(以低层 1000 hPa 的气温来表征)有怎样的演变特征呢?为了探讨其在年际尺度上的关系,首先

对气温的月平均序列进行滤波处理,保留年际变化的信号。再利用夏季 STMW 指数与我国的气温变化做滞后相关。年际尺度上,夏季 STMW 异常与秋季我国东北、西北和江淮地区的近地面层的气温具有显著的负相关(图 5a)。冬季时,STMW 异常与我国西北、东北近地面层气温具有显著的正相关(图 5 b)。这说明当夏季 STMW 体积出现正异常时,同年秋季,我国东北、西北和江淮地区的气温偏低。冬季时,我国东北和西北地区的气温则出现正异常。夏季 STMW 体积偏弱时的气温分布情况与其位相反。

综上所述,夏季 STMW 异常强年,通过次表层海洋过程引起秋季黑潮附近的 SST 出现显著负异常,与冷海温相对应,西北太平洋上空大气环流出现负高度距平,在气旋性环流西侧的偏北气流引导下,有利于中高纬度的冷空气南下,同时东欧地区的显著冷高压向东南伸展,对我国东北、西北和江淮地区秋季冷空气的活动起到了增幅作用,上述地区气温普遍偏低。黑潮附近的冷海温维持下,海洋不断从大气得到热量,累积的正向热力作用下,冬季日本以东黑潮区域的 SST 开始

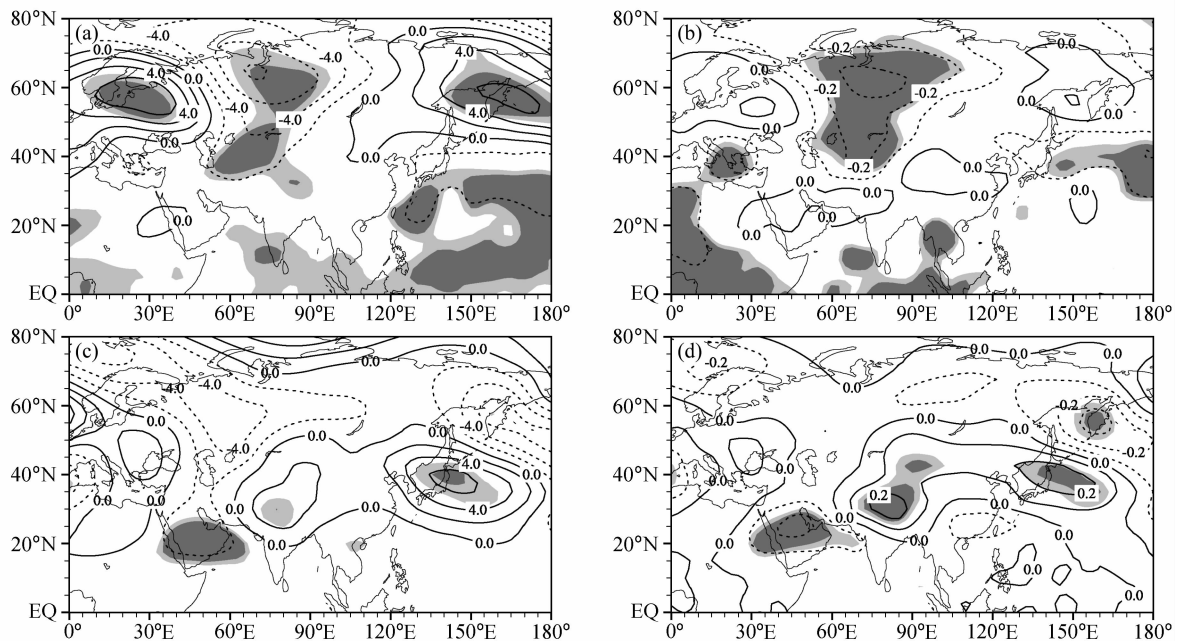


图 4 利用 1958~2001 年夏季 STMW 指数回归的 (a、b) 秋季和 (c、d) 冬季 (a、c) 500 hPa 位势高度距平 (单位: dagpm) 及 (b、d) 气温距平 (单位: °C)。浅色和深色阴影分别表示信度超过 90% 和 95%

Fig. 4 Regression of the (a, b) autumn and (c, d) winter (a, c) 500-hPa geopotential anomalies (units: dagpm) and (b, d) air temperature anomalies (units: °C) onto the summer STMW index during 1958–2001. Light and dark shadings are above 90% and 95% confidence levels, respectively

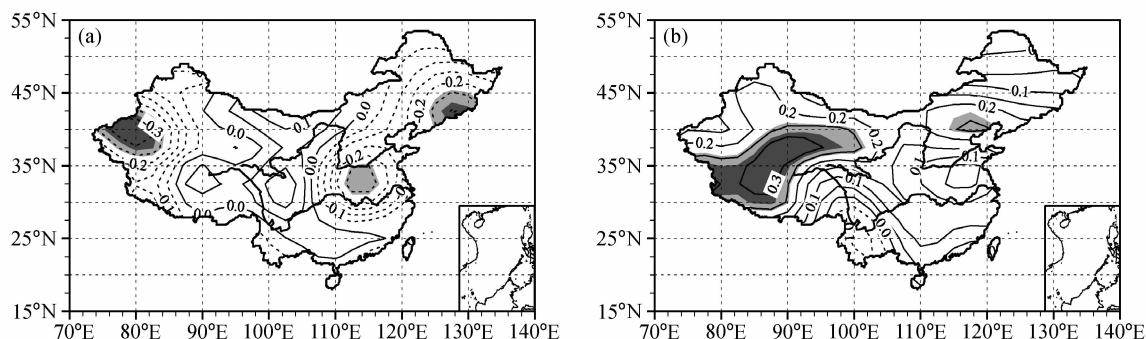


图 5 1958~2001 年夏季 STMW 指数与 (a) 秋季、(b) 冬季我国气温的相关系数分布。浅色和深色阴影表示信度超过 90% 和 95%

Fig. 5 Distribution of the correlation coefficients between (a) autumn and (b) winter air temperature and summer STMW index during 1958–2001. Light and dark shadings are above 90% and 95% confidence levels, respectively

出现正异常。同时,东亚—太平洋地区的大气环流发生相应的调整:西北太平洋上空的大气环流出现显著的高压异常,反气旋西侧偏南气流减弱了我国东北地区的冬季风强度,东北地区气温偏高;东欧地区的冷空气活动较弱,在其下游西北亚地区的低压异常前侧的偏南气流影响下,我国西北地区的冷空气活动受到限制,气温偏高。夏季 STMW 异常弱年的海洋—大气环流异常特征基本与上述情况的位相相反。

这样,通过西北太平洋(黑潮区附近)的海洋热状况与东亚—太平洋大气环流,将夏季 STMW 异常与我国秋、冬季气温异常联系在一起。显然,这一分析结果无论从合成还是回归的角度都是一致的,说明夏季 STMW 异常通过关键区域的 SSTA 及东亚—太平洋大气环流异常,与我国秋、冬季气温之间的关系具有统计学意义。

4 小结

本文利用合成、回归的统计方法分析了夏季 STMW 异常与东亚—太平洋大气环流及我国气温的联系,主要结论如下:

年际尺度上,与夏季 STMW 的正(负)异常相联系,秋季我国东北、西北和江淮地区的气温偏低(高);冬季时,东北、西北地区气温偏高(低)。

夏季 STMW 异常偏强时,东亚—太平洋地区海气环流的主要特征表现为:秋季,黑潮区附近的 SST 显著负异常,与之对应,西北太平洋上空大气环流出现负高度距平,气旋性环流西侧的偏

北气流引导中高纬冷空气南下,同时东欧地区的显著冷高压向东南伸展,对我国秋季冷空气的活动起到了增幅作用,我国东北、西北和江淮地区气温普遍偏冷;黑潮附近的冷海温维持下,海洋不断从大气得到热量,累积的正向热力作用下,冬季日本以东黑潮区域的 SST 开始出现正异常。冬季东亚—太平洋大气环流发生调整:西北太平洋上空出现高压异常,反气旋西侧的偏南气流减弱了我国东北地区的冬季风强度,气温偏高;东欧地区的冷空气活动较弱,同时在其下游西北亚地区的低压异常前侧的偏南气流影响下,我国西北地区的冷空气活动受到限制,气温偏高。夏季 STMW 异常偏弱时,东亚—太平洋地区海气环流的主要特征与强年的位相基本相反。

本文中虽指出夏季 STMW 异常可以通过太平洋 SST-东亚大气环流异常与中国秋、冬季气温异常联系在一起,但是海温异常、环流异常、中国秋、冬季气温异常三者之间关系十分复杂,其具体作用机制或者说夏季 STMW 通过太平洋 SST-东亚大气环流异常对中国秋、冬季气温异常影响的概念模型还需深入探讨。

参考文献 (References)

- Chang R, Zhang Q Y, Li R F. 2009. North Pacific premonitory sign of the ENSO event [J]. *Geophys. Res. Lett.*, 36, L03818, doi:10.1029/2008GL036597.
- 陈烈庭, 吴仁广. 1998. 太平洋各区海温异常对中国东部夏季雨带类型的共同影响 [J]. *大气科学*, 22 (5): 718–726.
- Chen Lieting, Wu Renguang. 1998. The joint effects of SST anomalies over different Pacific regions on summer rainbelt pattern in eastern

- China [J]. *Scientia Atmospherica Sinica* (in Chinese), 22 (5): 718–726.
- 陈佩燕, 倪允琪, 殷永红. 2001. 近 50 年全球海温异常对我国东部地区冬季温度异常影响的诊断研究 [J]. *热带气象学报*, 17 (4): 371–380. Chen Peiyan, Ni Yunqi, Yin Yonghong. 2001. Diagnostic study on the impact of the global sea surface temperature anomalies on the winter temperature anomalies in eastern China in past 50 years [J]. *Journal of Tropical Meteorology* (in Chinese), 17 (4): 371–380.
- 黄荣辉, 郭其蕴, 孙安健, 等. 1997. 中国气候灾害分布图集 [M]. 北京: 海洋出版社, 190. Huang Ronghui, Guo Qiyun, Sun Anjian, et al. 1997. *Seasonal Charts of Climatic Disasters in China* [M] (in Chinese). Beijing: China Ocean Press, 190.
- Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, et al. 1996. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project [J]. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77: 437–471.
- Masuzawa J. 1969. Subtropical mode water [J]. *Deep Sea Res.*, 16: 463–472.
- 潘华盛, 魏松林. 1981. 冬季黑潮加热对东北区夏季 (6~8 月) 温度关系的初步分析 [J]. *海洋学报*, 3 (2): 211–217. Pan Huasheng, Wei Songlin. 1981. A preliminary analysis of the relation between the heating of Kuroshio region in winter and the temperature in northeast China in summer (June-Aug) [J]. *Acta Oceanologica Sinica* (in Chinese), 3 (2): 211–217.
- Sugimoto S, Hanawa K. 2005. Remote reemergence areas of winter sea surface temperature anomalies in the North Pacific [J]. *Geophys. Res. Lett.*, 32: L01606, doi:10.1029/2004GL021410.
- Sugimoto S, Hanawa K. 2007. Impact of the reemergence of ST-MW on the winter SST variation in the central North Pacific [J]. *J. Climate*, 20: 173–186.
- Uppala S M, Kallberg P W, Simmons A J, et al. 2005. The ERA-40 re-analysis [J]. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 131 (612): 2961–3012.
- 吴国雄, 王敬方. 1996. 热带和热带外海表温度异常与低空环流相关比较 [J]. *气象学报*, 54 (4): 385–387. Wu Guoxiong, Wang Jingfang. 1996. The relative comparison of SST anomalies and low-level circulation between tropics and extra-tropics [J]. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 54 (4): 385–387.
- 吴志彦, 闵锦忠, 陈红霞, 等. 2008. 东海黑潮温、盐度与中国东部气温和降水的相互关系 [J]. *海洋科学进展*, 26 (2): 156–162. Wu Zhiyan, Min Jinzhong, Chen Hongxia, et al. 2008. Relationship between the Kuroshio temperature and salinity in the East China Sea and the air temperature and precipitation in the east China [J]. *Advances in Marine Science* (in Chinese), 26 (2): 156–162.
- 严厉, 王盘兴, 管兆勇, 等. 2008. 大洋间海表温度遥联与中国冬季气温的关系 [J]. *气象科学*, 28 (2): 133–138. Yan Li, Wang Panxing, Guan Zhaoyong, et al. 2008. The teleconnection of sea surface temperature and its relation China winter temperature [J]. *Scientia Meteorologica Sinica* (in Chinese), 28 (2): 133–138.
- 叶笃正, 黄荣辉. 1996. 长江黄河流域旱涝规律和成因研究 [M]. 济南: 山东科学技术出版社, 387. Ye Duzheng, Huang Ronghui. 1996. *Research on the Regularity and Cause of Droughts and Floodings in the Yangtze River Valley and the Yellow River Valley* [M] (in Chinese). Jinan: Shandong Science and Technology Press, 387.