

叶丽群, 千怀遂, 张灵. 2016. 1979~2013 年西北太平洋地区海平面气压场季节转换时间的变化分析 [J]. 气候与环境研究, 21 (2): 236-246. Ye Liqun, Qian Huaisui, Zhang Ling. 2016. Analysis on the variation of seasonal transition time of the Northwest Pacific sea level pressure during 1979-2003 [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 21 (2): 236-246, doi:10.3878/j.issn.1006-9585.2015.15142.

1979~2013 年西北太平洋地区海平面气压场季节转换时间的变化分析

叶丽群 千怀遂 张灵

广州大学地理科学学院, 广州 510006

摘要 采用 1979~2013 年 NCEP/NCAR 再分析资料, 借助线性趋势、距平、累积距平、Mann-Kendall 突变检验及 Morlet 小波等方法分析了西北太平洋地区海平面气压场季节转换时间的长期趋势和多尺度周期变化特征。结果表明: 海平面气压场一年中存在两次季节转变, 20°N~50°N 海平面气压场冬夏季节转变的时间在第 20 候左右, 而夏冬季节转变发生在第 51 候。并且海平面气压场的季节转换时间存在纬度差异与经度差异。通过趋势分析, 发现海平面气压场由冬季型转变到夏季型的时间存在显著的趋势变化, 并且在近 35 年内是趋于提前, 其气候倾向率为-0.33 候/10 a; 夏季型转换为冬季型的时间趋于延后, 气候倾向率为 0.25 候/10 a。季节转换时间的 Mann-Kendall 突变检测结果表明, 海平面气压场由冬向夏的转换时间在 1997~1998 年间发生了突变; 夏季型转换为冬季型的时间尚未发现显著突变。最后通过对季节转换时间的小波分析与小波功率谱的显著性检验得出, 冬夏季节转换的时间具有显著的 15 a 周期变化; 夏冬季节转换时间 8 a 周期振荡最为剧烈。

关键词 海平面气压场 纬向气压差 季节转换时间 小波分析 西北太平洋地区

文章编号 1006-9585 (2016) 02-0236-11

中图分类号 P467

文献标识码 A

doi:10.3878/j.issn.1006-9585.2015.15142

Analysis on the Variation of Seasonal Transition Time of the Northwest Pacific Sea Level Pressure during 1979-2003

YE Liqun, QIAN Huaisui, and ZHANG Ling

School of Geographical Sciences, Guangzhou University, Guangzhou 510006

Abstract The linear trend analysis, Mann-Kendall test, and Morlet wavelet analysis methods are applied to analyze anomaly and cumulative anomaly of sea level pressure derived from the NCEP/NCAR reanalysis over the Northwest Pacific (20°N-50°N). The seasonal transition time of sea level pressure over this region in the most recent 35 years (1979-2014) are revealed with a focus on its long time trend and periodic oscillation on multiple time scales. The results show that the sea level pressure experiences two seasonal transitions each year: The transition from winter status to summer status that takes place at about the 20th pentad, and the transition from summer status to winter status that occurs at about the 51th pentad. In addition, the seasonal transition time of the seal level pressure field varies with latitudes and longitudes. Using the trend analysis method, we find that the transition time of seal level pressure from winter status to

收稿日期 2015-06-01; 网络预出版日期 2015-11-19

作者简介 叶丽群, 女, 1990 年出生, 硕士, 主要从事全球变化与区域生态环境研究。E-mail: liqunye@outlook.com

通讯作者 千怀遂, E-mail: hsqian1956@163.com.

资助项目 国家自然科学基金项目 51210013

Funded by National Natural Science Foundation of China (Grant 51210013)

summer status has significant interannual variability. In the most recent 35 years, the seasonal transition time from winter status to summer status trends to become early with a changing rate of about -0.33 pentad/10 a; the transition time from summer status to winter status has postponed by about 0.25 pentad/10 a. The result of Mann-Kendall test indicates that the transition time of sea level pressure from winter status to summer status experienced an abrupt change in 1997–1998, but there is no similar abrupt change in the transition time from summer status to winter status. Finally, using Morlet wavelet analysis and significance test for global wavelet power spectrum, we conclude that the transition time from winter status to summer status has a significant 15-years periodic oscillation and the transition time from summer status to winter status fluctuates primarily with an 8-year cycle.

Keywords Sea level pressure field, Zonal pressure gradient, Seasonal transition, Wavelet analysis, Northwest Pacific region

1 引言

东亚地区东临太平洋, 西靠亚欧大陆, 显著的海陆热力性质差异形成了典型的季风气候。在温度场上, 夏季陆地温度较海洋温度高, 东亚与西太平洋呈现出西暖东冷的温度分布, 而在冬季表现出“西冷东暖”的温度分布。钱永甫等(2004)指出海平面气压与下垫面热力状况的时间演变特征是一致的, 即高压冷, 低压暖。因此从海平面气压场来看, 夏季亚欧大陆为低压, 西太平洋为高压; 相反, 冬季时大陆为冷高压而海洋为低压。随着海陆热力差异季节性反转, 引起冬夏季风环流性质的转变, 发生季节转换。

叶笃正等(1958)通过研究发现, 就高空环流的一些主要特征而言, 在一年之中只有两个基本的自然天气季节即冬夏两季, 其中二者的季节转换时间在 6 月及 10 月, 这为后来的研究铺垫了基础。章基嘉等(1984)指出了 1979 年初夏大气环流季节转换的若干事实, 并解释了影响大气环流季节转换的因素。曾庆存和张邦林(1992)利用数学方法, 提出了客观、简明的划分大气环流季节变化的方法, 且能够定量地得出大气环流“突变日”。Li and Yanai(1996)提出太阳辐射和高原地形影响西风急流的北进南退, 同时南亚高压的位置和强度也存在显著由冬至夏季节转换(张琼等, 2000)。祁莉等(2007)通过定义 500 hPa 温度纬向偏差, 结果表明东亚大陆与西太平洋之间的纬向海陆热力差异发生季节逆转。赵平等(2008)定义了 APO (Asian-Pacific Oscillation, APO) 指数, 即亚洲太平洋对流层热力差异指数, 当亚洲大陆中纬度对流层偏冷时, 中、东太平洋中纬度对流层偏暖, 反之亦然。因此对流层温度扰动在亚洲、太平洋中纬度之间存

在一种“跷跷板”现象。张博等(2010)指出, 东亚—西太平洋地区的大气热源确实具有海陆冬夏季反转特性, 夏季东亚大陆地区大气热源要强于相邻的西太平洋大气热源, 冬季则反之。吴国雄等(2005)采用气候系统模式 F-GOALS 的大气谱分量 SAMIL [Spectral Atmosphere Model of IAP (Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences) LASG (State Key Laboratory of Numerical Modeling for Atmospheric Sciences and Geophysical Fluid Dynamics)] 模拟了有无亚欧地形的对比试验, 发现亚欧大陆对大气环流和气候的影响随季节而变化, 基本可以划分为冬季型(11 月至次年 4 月)、夏季型(6~9 月)及转换期(5、10 月)。

何金海等(2010)提出, 3 月底 4 月初东亚与西太平洋对流层纬向热力差异由东暖西冷转变为东冷西暖, 对流层低层大陆高压东移, 使纬向气压梯度发生逆转。朱志伟和何金海(2013)指出, 东亚副热带季风区无论是纬向海陆温度差异、经向风垂直切变、低层风向角、冷暖平流, 还是中高层垂直运动及其相应降水距平都统一于第 18~22 候发生显著季节转变。王同美等(2008)提出在 3 月下旬和 10 月初, 沿亚洲东岸, 无论是感热通量还是潜热通量, 都出现了海陆热力差异的反转。池艳珍等(2013)指出东亚—太平洋热力场上呈现出冬、夏半年反向的特征, 冬半年热力格局为“西冷东暖”, 夏半年则转为“西暖东冷”, 冬半年向夏半年的过渡发生在 3 月底 4 月初, 大气环流由夏季型转变为冬季型的时间约在 9 月中旬至 10 月初。相应地, 我国东部上空视热源也从冷却转为加热。综合上述研究可以得出, 在东亚地区的确存在纬向热力差异, 无论是温度(热力性质), 对流层不同高度层、海平面气压场、经向风、感热通量等一年中会

发生两次季节转变,即冬夏转变与夏冬转变。

海陆热力差异季节转换的同时,对流层各层环流形势也将发生调整:低层大陆冷高压不断减弱、东移,西太平洋副热带高压显著西伸。那么“西冷(暖)东暖(冷)”的热力格局对应的“西高(低)东低(高)”的海平面气压场又在何时转变?已有关于东亚—西北太平洋地区的各纬度海陆热力差异、东亚地区大气环流季节转换时间的研究较多,但略少利用气压场来详细分析东亚地区逐年季节转换(包括冬夏季型转换与夏冬季型转变)的时间及其长期变化趋势与多尺度的周期变化特征。曾庆存等(1988)指出大气环流的突变不仅表现在高空西风急流位置变化上,而在 $120^{\circ}\text{E}\sim 140^{\circ}\text{E}$ 的气压场形式变化上更为明显。任珂等(2010)曾采用海平面气压表征地表海陆热力差异,分析在由冬到夏的季节转换期海平面气压(海陆热力差异)的季节转换特征。因此本文也采用西北太平洋地区1979~2013年逐日海平面气压再分析资料,确定逐年海平面气压场季节转换的准确时间,以纬向海平面气压场梯度确定的转换日期序列为基础,利用线性趋势、累计距平等方法,分析转换时间在全球气候变化的背景下的长期变化趋势,并借助Matlab小波分析,探讨区域季节转换时间的多尺度周期变化特征。海平面气压场转向的早晚影响冬夏季风爆发的时间,因此通过对转换时间的研究有利于加强对季风爆发时间的推测。同时,通过对这一地区海平面气压场季节转换时间的变化特征分析,为进一步探究气候变化提供依据。

2 数据与方法

2.1 数据

数据来源于美国国家环境预报中心(NCEP)和国家大气研究中心(NCAR)的NCEP-DOE Reanalysis2 1979~2013年逐日海平面气压(Mean Surface Level Pressure, MSLP)再分析数据,水平分辨率为 2.5° (纬度) $\times 2.5^{\circ}$ (经度),研究区域范围选取($20^{\circ}\text{N}\sim 50^{\circ}\text{N}$, $110^{\circ}\text{E}\sim 150^{\circ}\text{E}$)。

2.2 研究方法

2.2.1 纬向气压场热力差异的表示方法

为了表示因海陆热力差异所引起的纬向气压梯度,借鉴前人(郭其蕴,1983;施能等,1996;张博等,2010)计算东亚季风指数的方法,计算逐

年逐候东西向海平面气压差。方法如下:

$$\Delta p = p_1 - p_2, \quad (1)$$

其中, p 为平均海平面气压, p_1 、 p_2 分别为($20^{\circ}\text{N}\sim 50^{\circ}\text{N}$, 110°E)、($20^{\circ}\text{N}\sim 50^{\circ}\text{N}$, 150°E)范围内海平面气压平均值。

“候”大概是一次天气过程的长度,能够细致地描述天气系统的活动及降水变化,在气候研究中普遍使用(俞亚勋等,2013),本文中的数据皆为逐年资料的候平均,以每月6候计算,一年为72候。

2.2.2 海平面气压场季节转换时间的确定

根据NCEP/NCAR再分析资料,计算出 $20^{\circ}\text{N}\sim 50^{\circ}\text{N}$ 区域内 110°E 与 150°E 的海平面压差,再计算1979~2013年每候的海平面气压差多年平均值(图1)。如图所示,多年平均东西向海平面气压差一年中存在两次正负转换,在第20候左右气压场由西高东低逆转为西低东高,然后相反的气压场的转换发生在第51候前后。根据 Δp 的年变化,可把一年分为3个阶段:1~20候为正值,21~51为负值,52~72候为正值。因此我们把东亚—西太平洋地区海平面气压西高东低转换为东高西低(Δp 由正值转变为负值)认为海平面气压场由冬季型转变为夏季型,反之(Δp 由负值转变为正值)为夏季型转换为冬季型。

2.2.3 趋势与突变分析

采用一元线性趋势分析、累积距平分析、气候倾向率及多项式拟合分析对资料序列进行变化趋势分析。累积距平的曲线的上下起伏,可以判断其

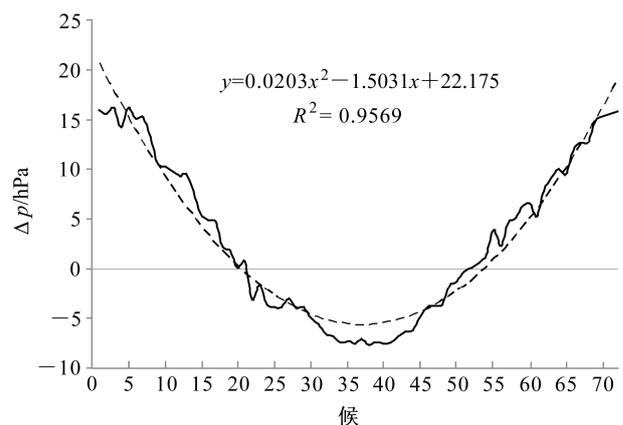


图1 1979~2013年 $20^{\circ}\text{N}\sim 50^{\circ}\text{N}$ 东西向海平面气压差候平均值(虚线为二阶多项式拟合趋势线)

Fig. 1 The zonal pentad (5-day average) pressure gradient averaged over 1979~2014 from 20°N to 50°N (the dotted line shows the second-order polynomial trend line fitting to the data)

长期显著的演变趋势及持续变化特征,甚至可诊断发生突变的大致时间。对于季节转换时间是否发生突变,本文采用 Mann-Kendall 非参数法进行突变检测(魏凤英, 2007)。

2.2.4 小波分析与显著性检验

小波分析是 20 世纪 80 年代在 Fourier 分析的基础上发展起来的(张伟等, 2009),发展至今已具有比较系统的理论与计算方法。由于小波分析在时频领域具有很好的分辨率,并且有多种基函数供选择,在气象学、工程学等方面得到了广泛的应用。本文将采用 Morlet 小波分析方法(Torrence and Compo, 1998; 郝立生等, 2006; 尹继尧等, 2011),研究季节转换时间的周期变化特征并进行显著性检验。

3 结果与分析

3.1 海平面气压场转换时间的区域差异

3.1.1 海平面气压场转换的南北(经向)差异

由海陆差异引起的东西向温度梯度存在季节性逆转,反映在气压场上就是西高东低的冬季型与东高西低的夏季型之间的季节转变。为了分析不同纬度间气压场季节转变时间的差异,选取 20°N~50°N 纬度带,统计每一个样点的多年平均海平面气压,并用公式(1)每隔 2.5°纬度计算一个纬向海平面气压差(图 2)。由图 2a 可见,海平面气压场冬季型转换为夏季型的时间:有明显的纬度差异性,纬度越低,转换时间越早,纬度越高,转换时间越晚,而且是阶段性爆发式转换。赵平等(2009)认为,我国东部地区的持续性南风开始于第 14 候(3月初),并且逐渐加强,从第 23 候(4月下旬)起总体上大于 4 m/s,并且南风的范围向南扩展到 5°N 以南和向北扩展到 45°N。我们的结果与此相符。而气压场由夏季型到冬季型的转换时间纬度越高转换时间越早(如图 2b),如北纬 25°的转换时间为第 54 候,而北纬 50°转变的时间为第 49 候。这与郭其蕴(1983)认为的海陆气压差发生相反变化的时间因纬度而不同,当由冬向夏季转变时,低纬度先变,随后因纬度增加而推迟,由夏向冬转变时相反高纬度先变,随纬度降低而推迟的观点一致。

此外,冬夏季型的转换时间与纬度之间并非稳定的线性关系,有的纬度带依次进行转换,而有的纬度带往往在同一时间附近同时转换,例如,在由

冬到夏的转换中,20°N~27.5°N 均在第 14 候附近转换,35°N~40°N 在第 22 候转换,42.5°N~47.5°N 在第 24 候转换;在由夏到冬的转换过程中,25°N~30°N 均在第 54 候转换,35°N~47.5°N 均在第 51 候附近转换。如图 2 所示,变化曲线由南向北呈阶梯状上升(下降)。

3.1.2 海平面气压场转换的东西(纬向)差异

为研究海平面气压场季节转换的东西向差异,选取 110°E 与经度每相隔 10°海平面气压值相减,即分别求得与 120°E、130°E、140°E、150°E 的海平面气压差,计算出各候气压差 30 年的平均值,作为海平面气压场转换的数量标准,得出的结果如表 1。

表 1 海平面气压场季节转换时间的经度差异

Table 1 Variation of the seasonal transition time of sea level pressure with longitude

经度	20°N 季节转换时间(候)		30°N 季节转换时间(候)		40°N 季节转换时间(候)		50°N 季节转换时间(候)	
	正→负	负→正	正→负	负→正	正→负	负→正	正→负	负→正
120°E	15	53	—	—	25	44	—	—
130°E	10	53	19	49	23	47	—	—
140°E	14	54	19	51	23	48	31	46
150°E	14	57	19	54	23	50	27	49

注:“正→负”表示海平面气压场由冬季型转变为夏季型,“负→正”表示夏季型转换为冬季型;“—”表示海平面气压场无明显的季节转换。

20°N 上 120°E~150°E 海平面气压场由冬季型转换为夏季型的时间大概在第 10~15 候,其中 130°E 转换较早,约在第 10 候(2月下旬),其他的转变时间为 3 月中上旬;30°N 上气压场的季节转换时间除在 120°E 经线上无明显的转换特征,大部分为 4 月上旬;而 40°N 上各经度气压场季节转换日期为 4 月下旬至 5 月初,其中 120°E 上气压场季节转换时间稍晚(第 25 候)。50°N 纬线海平面气压场的东西转换在 120°E、130°E 上不明显,在 140°E、150°E 转换的时间为第 31 候、27 候,反应在日期上是 5 月末和 5 月中旬。

海平面气压场由夏季型转换为冬季型在 20°N 纬线上 120°E、130°E、140°E、150°E 上转换的时间分别为第 53 候(9 月第 6 候)、第 53 候、54 候(9 月第 5 候)、57 候(10 月第 3 候);30°N 上 130°E、140°E、150°E 转换时间分别提前到第 49、51、54 候,其中在 120°E 海平面气压场的季节转换时间不显著;在 40°N 上气压场的冬夏季型的转换时间分别是第 44、47、48、50 候;最后在 50°N 气压场季节

转换在 120°E、130°E 上的转换时间不明显，在 140°E、150°E 分别第 46、49 候。由表 1 可见，气压场由冬季型转换为夏季型的时间随经度的变化不显著，而气压场从夏季型到冬季型的转变时间差异明显，同一纬线上经度越东转变的时间越晚。

3.2 海平面气压场季节转换时间的趋势分析

1979~2003 年 20°N~50°N 区域内海平面气压场冬夏季型季节转换时间距平的变化趋势如图 3 所示。图 3a 中线性趋势线清晰地展示了研究区域内海平面气压场由冬季型转换为夏季型的时间呈弱提前趋势，气候倾向率约为 -0.33 候/10 a，未通过 0.05 显著性水平检验。根据累计距平曲线（图略）可以得出转换时间经历了一次显著的波动，1979~1997 年呈波动上升趋势，20 世纪 90 年代末至今为持续下降趋势。采用 Mann-Kendall 检验方法对海平面气压场由冬向夏转换时间进行突变分析（图略），发现 UF 曲线在 1997 前起伏较大，之后呈显著下降

的趋势，在 2007 下降倾向超过了 0.05 的显著性水平。并且 UF 与 UB 两条曲线在 1997~1998 年存在一个交点。因此，与累积距平得出的结果一致，20 世纪 90 年代后期转换时间可能发生了突变。

海平面气压场由夏季型转换为冬季型的时间呈上升趋势（图 3b），气候倾向率为 0.25 候/10 a ($P>0.05$)，平均而言转换时间每 10 年推迟 0.25 候。累计距平曲线（图略）表明夏季型转换为冬季型的时间累积距平在 20 世纪 80、90 年代呈下降趋势，而在近 10 年呈波动上升的走向，意味着海平面气压场平均转换时间经历了波动→下降→上升的过程。海平面气压场由夏向冬转换时间的 Mann-Kendall 检验结果（图略）显示，UF 曲线自 1979~1997 年呈波动下降趋势，其中 1993~1997 年间的下降趋势超过了 0.05 的显著性水平，在 1997 年之后 UF 曲线转而具有上升走向，但未通过 0.05 置信水平检验。在置信区间内 UF 与 UB 曲线无交点，

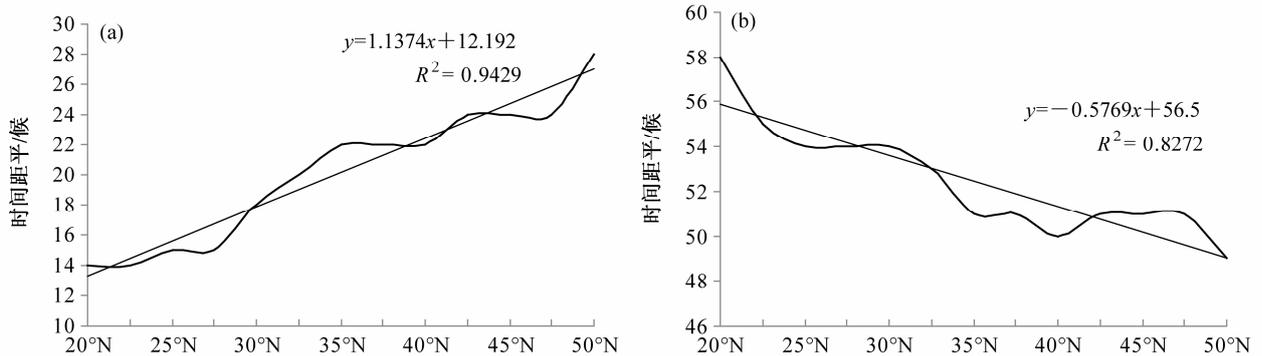


图 2 海平面气压场季节转换时间随纬度的变化（黑直线为线性趋势线，超过 0.01 显著性水平）：(a) 冬季型转换夏季型；(b) 夏季型转换为冬季型
Fig. 2 Variation of seasonal transition time of the sea level pressure with latitude (black line denotes the linear trend with a significance level above 0.01); (a) Transited from winter status to summer status; (b) transited from summer status to winter status

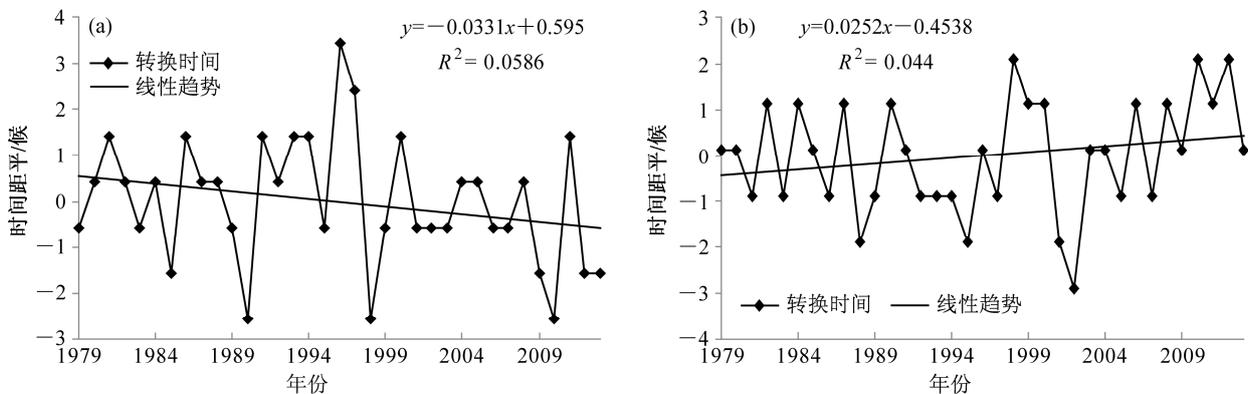


图 3 1979~2013 年 20°N~50°N 区域海平面气压场季节转换时间距平的变化趋势：(a) 冬季型转换为夏季型；(b) 夏季型转换为冬季型
Fig. 3 Variation of the anomaly changing rate of sea level pressure transition time over 20°N~50°N from 1979 to 2013: (a) Transition time from winter status to summer status; (b) transition time from summer status to winter status

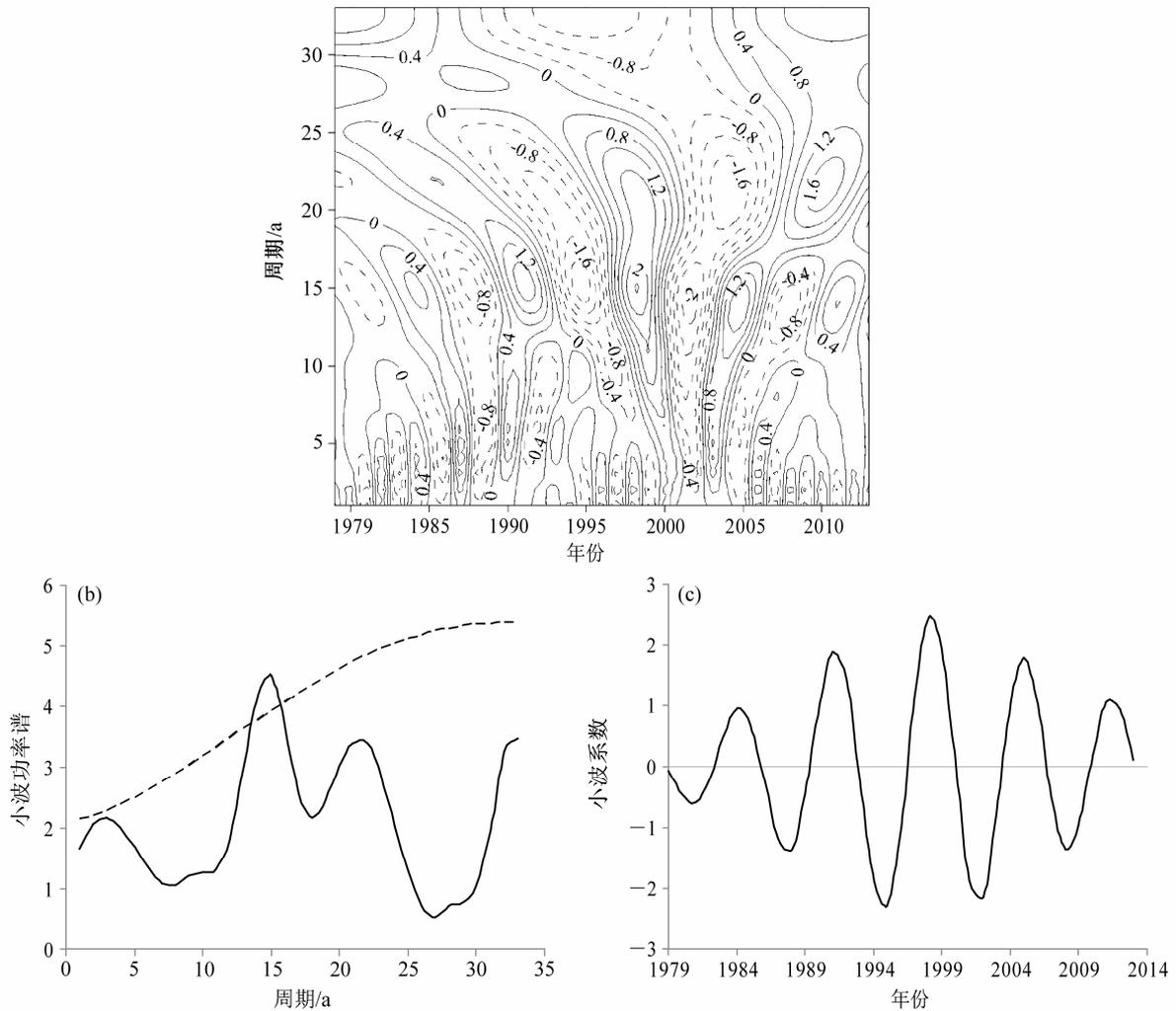


图 4 海平面气压场冬季型转换为夏季型的转换时间的周期变化特征: (a) 小波实部等值线; (b) 总体小波功率谱 (实线为功率谱, 虚线是 0.05 的显著性水平); (c) 主周期小波系数过程线

Fig. 4 The wavelet analysis of the transition time of the sea level pressure from winter status to summer status: (a) The isoline of the real part of Morlet wavelet coefficients; (b) the global wavelet spectrum (the solid line is for the power and the dashed line denotes the 0.05 significance level); (c) the wavelet coefficient curve in the principal period scale

推后循环周期变化特征。2013 年以后, 正处在 15 a 尺度周期变化的虚线部分, 结合图 4a、4c 可以推测在接下来的 3~4 年内海平面气压场的冬夏型转换的时间将会提前。

图 5 为研究区域范围内海平面气压场夏季型转换为冬季型的时间周期变化特征。根据小波实部等值线图 (图 5a) 可得出夏冬季节转换时间也存在多尺度的振荡周期。主要以 5 a、8 a 以及时间较长的 20 a、28 a 左右的变化周期, 但 28 a 周期在实部等值线图中未闭合。根据图示信息可判断 8 a 左右的周期在整个研究阶段长期存在, 在 20 世纪 80 年代中期振荡不断增强; 20 a 尺度也表现出较强的波

动信号; 5 a 尺度的周期在 20 世纪 80 年代中出现, 振荡信号具有明显的强弱变化, 如在 2002~2007 年之间, 其波动信号减弱, 之后振荡信号又突然加强。为进一步确定变化的主要周期以及主要周期随时间的变化情况, 对季节转换时间进行总体小波功率谱进行分析。图 5b 给出了总体小波功率谱以及 0.05 的显著性水平检验。小波功率谱在 5 a、8 a 以及 20 a、28 a 等 4 个显著峰值, 其中 5 a、8 a 变化周期通过了 0.05 显著性检验曲线, 为整个研究时段内的显著的周期。

根据以上检验的结果以及小波方差得出, 在整个研究时间段内 8 a 尺度的振荡周期最为突出 (剧

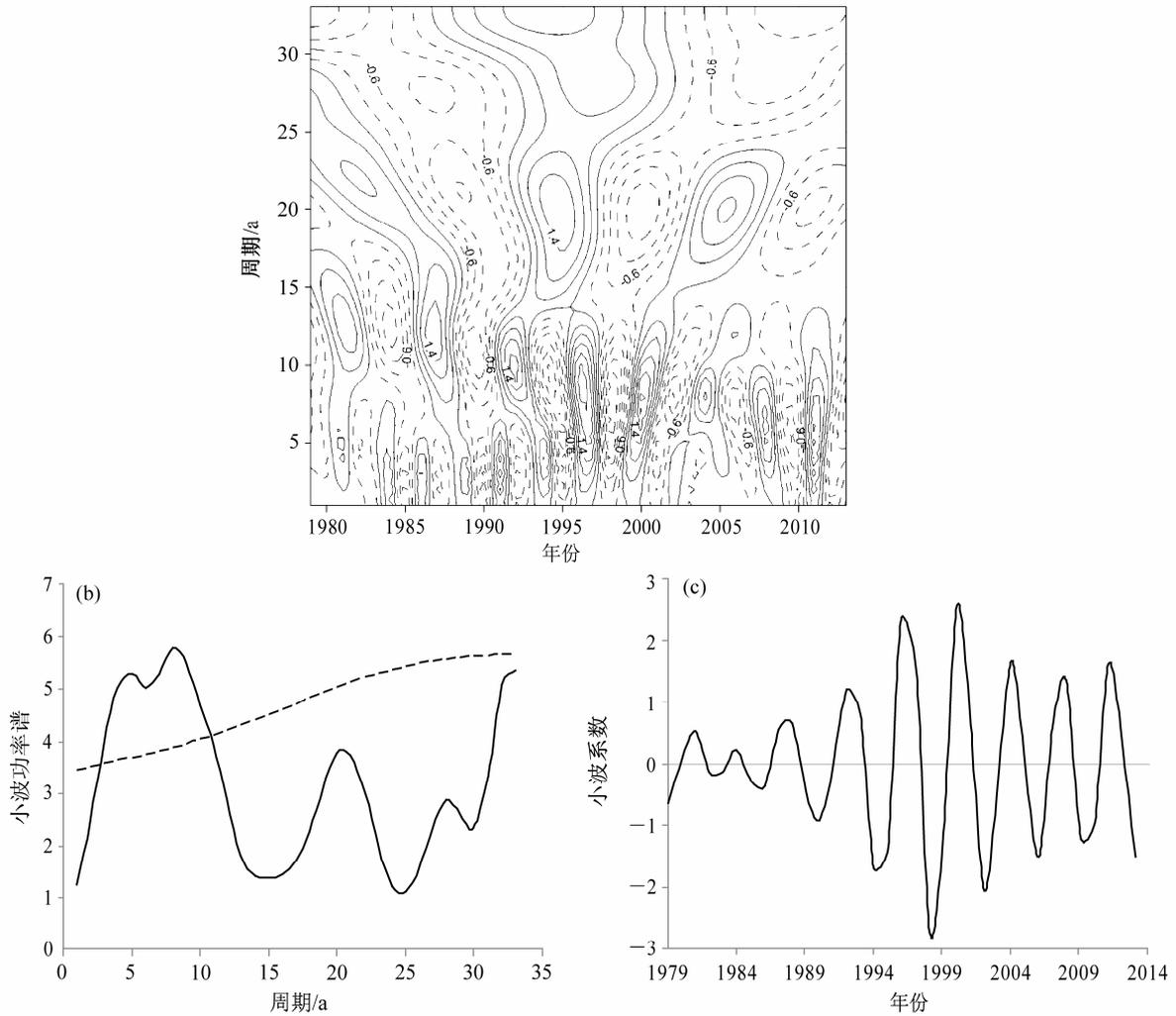


图 5 海平面气压场夏季型转换为冬季型的转换时间的周期变化特征：(a) 小波实部等值线；(b) 总体小波功率谱（实线为功率谱，虚线是 0.05 的显著性水平）；(c) 主周期小波系数过程线

Fig. 5 The wavelet analysis of the transition time of sea level pressure from summer status to winter status: (a) The isoline of the real part of Morlet wavelet coefficients; (b) the global wavelet spectrum (the solid line is for the power, and the dashed line denotes the 0.05 significance level); (c) the wavelet coefficient curve in the principal period scale

烈)，是第一主周期，其次是 5 a、20 a、28 a 尺度的周期，而 20 a、28 a 尺度上的周期需要更加长的时间来验证。因此提取 8 a 尺度的小波系数作图，得到第一主周期影响下季节转换时间变化的小波过程线（图 5c）。根据主周期变化图能够得出在 8 a 特征时间尺度上，平均周期为 4 a 左右，1979~1987 年主周期小波过程线振幅偏小，波动不明显。在研究时间段内夏冬季节转换时间经历 9 个转换时间的提前一延后振荡周期，表现为提前一推后一提前一推后等共 9 个循环变化。依据图 4a、4c 可以推测，受多个周期的影响，在最近的 3~4 年内海平面气压场的夏冬型转换的时间将由提前倾向于推后。

4 讨论与结论

本文利用海平面气压数据计算出的东亚—西太平洋的纬向海平面气压差，得出海平面气压场的转换时间，对深入研究季风爆发时间以及气候变化有一定的参考意义，但是各个学者选取不同区域、不同数据资料 and 不同研究方法得出的结果也有一定的出入。本文仅从区域 (20°N~50°N) 平均而言，纬向海平面气压差由正转负的时间发生在第 20 候，由负转正的时间是第 51 候。并且由于在季节转换期，温度起伏较大，使得气压场存在波动性特征，

Δp 也是正负振荡,因此在确定的转换时间可能存在一定的误差,但是总体上能够反映西北太平洋地区纬向气压梯度的变化。

何金海等(2010)指出,3月底4月初,东亚与西太平洋对流层纬向热力差异发生逆转。祝从文等(2011)也提出东西向海陆热力差异、大气加热率在4月初发生季节性逆转。朱志伟和何金海(2013)表明(20°N~35°N, 110°E~120°E)范围内纬向海陆温度差异、经向风垂直切变、300 hPa以上垂直运动或者降水距平存在冬(夏)向夏(冬)一致性的季节转变。各物理量都统一于3月底4月初由冬转夏,于9月底10月初由夏转冬(Zhu et al., 2012)。亚洲沿岸感热通量与潜热通量(王同美等, 2012)、东亚—太平洋纬向海陆热力差(大陆—海洋)、APO指数及我国东部整层视热源(池艳珍等, 2013)发生由冬半年向夏半年过渡,大致发生在3月下旬(底)4月初;夏半年向冬半年过渡,发生在9月底10月初。任珂等(2010)提出,20°N~50°N的中高纬度海平面气压纬向偏差在第24候(4月下旬)完全呈西低东高型,即夏季环流形势。

孙秀荣等(2002)采用多年平均各月海(用145°E代表)陆(用110°E代表)温度之差随纬度(20°N~40°N)的变化,得出在冬半年逐月(10月至次年3月),海陆温差是正值(海温—地温)。夏半年逐月(4~9月)相反,海陆温差是负值,即大陆上的温度高于海洋上的温度。也可以得出温差正负转变时间在3月底至4月初与9月底至10月初,具体转换的候数该文章中鲜有提到。总体而言在东亚—西太平洋地区由于季风气候显著,气候变量都存在季节逆转现象,由冬季型环流转换为夏季型环流的时间均集中在3月底4月初;由夏季型环流向冬季型环流逆转的时间集中在9月底至10月初,这与本文中的转换基本相符。诸多研究提出在我国副热带季风区域(20°N~35°N)由冬季型向夏季型逆转的时间最早,但本文得出的结果冬季型向夏季型转变的时间纬度越低转换越早,这主要是由于在本研究中集中探讨只存在纬向海陆热力差异的情况时,西北太平洋地区海平面气压场的转换时间,暂不加入青藏高原热力与动力作用以及经向热力差异的影响。

西北太平洋地区海平面气压场季节转换时间的提前与延后实质上是东亚—西太平洋地区的海陆热力的对比,即海陆热力差异的强弱变化,有研

究指出(程华琼, 2008)海陆热力差异指数具有周期变化特征,因此尝试利用Morlet小波分析探讨逐年的季节转换时间的周期变化特征。本文的结论主要是基于再分析资料的统计得出,仅考虑东亚—西太平洋地区纬向热力差异,所得结果还需要通过后续更多的研究来加以验证。

根据海平面气压再分析数据资料,计算了东亚—西太平洋海平面气压场的纬向气压差,表明东亚—西太平洋之间的纬向海平面气压梯度存在海陆冬夏季反转特性,一年有两次季节反转,分别是海平面气压场的冬夏转换与夏冬转换;并且确定了逐年海平面气压场季节转换的准确时间。通过对逐年海平面气压场季节转变时间进行趋势分析、多尺度周期分析得出以下结论:

(1) 海平面气压场一年中存在两次季节转变,20°N~50°N范围内海平面气压场冬夏转换时间在第20候左右发生转变,而夏冬季节转变发生在第51候。

(2) 季节转换的时间存在纬度差异与经度差异。纬度高低与海平面气压场冬夏转换的时间呈正相关关系,夏冬季节转换的时间与纬度呈负相关关系。海平面气压场由冬季型转换为夏季型的时间在20°N、50°N纬线上不同经度略有起伏。而在30°N与40°N纬线上经向差异不大,转换时间基本一致,而气压场从夏季型到冬季型的转变时间差异明显,遵循在同一纬线上经度越东转变的时间越晚。

(3) 1979~2003年20°N~50°N区域内海平面气压场季节转换时间的变化趋势表现为:冬季型转变为夏季型的时间趋于提前,气候倾向率为-0.33候/10a ($P>0.05$),而夏季型转变为冬季型的时间有延后的趋势,气候倾向率为0.25候/10a ($P>0.05$),并且各纬度季节转换时间的气候倾向率具有差异性。通过突变检测得出海平面气压场由冬向夏季节转换时间可能在20世纪90年代后期发生了突变,而夏季型转换为冬季型的时间尚未发生明显突变。

(4) 小波分析的结果表明季节转换的时间存在多尺度周期变化特征,海平面气压场冬夏型转变的时间存在3a、15a、21a三个主要周期,其中15a左右周期波动最为显著,且置信度水平超过了95%;海平面气压场由夏季型转换为冬季型的时间存在5a、8a和20a周期变化特征,5a、8a两个活动周期能够通过0.05的显著性检验,其中8a在

整个研究时间范围内尤为稳定和显著。

参考文献 (References)

- 程华琼. 2008. 中纬度海陆热力差异对东亚夏季环流及降水的影响 [D]. 中国科学院研究生院博士学位论文, 15-17. Cheng Huaqiong. 2008. Thermal contrast between middle-latitude Asian continent and adjacent ocean and its connection to the East Asian summer circulation and precipitation [D]. Ph. D. dissertation (in Chinese), Graduate University of Chinese Academy of Sciences, 15-17.
- 池艳珍, 刘丹妮, 何金海, 等. 2013. 东亚—太平洋地区环流场和热力场由冬向夏转换的过程特征及其可能机制 [J]. 高原气象, 32 (4): 983-992. Chi Yanzhen, Liu Danni, He Jinhai, et al. 2013. Features of transformation on circulation and thermal fields over East Asia-Pacific regions from winter to summer and its possible mechanism[J]. Plateau Meteorology (in Chinese), 32 (4): 983-992, doi: 10.7522/j.issn.1000-0534.2012.00094.
- 郭其蕴. 1983. 东亚夏季风强度指数及其变化的分析 [J]. 地理学报, 38 (3): 207-217. Guo Qiyun. 1983. The summer monsoon intensity index in East Asia and its variation[J]. Acta Geographica Sinica (in Chinese), 38 (3): 207-217.
- 郝立生, 李新, 李月英. 2006. 太阳活动变化的小波分析 [J]. 干旱气象, 24 (4): 15-19. Hao Lisheng, Li Xin, Li Yueying. 2006. The wavelet analysis of solar activity variation [J]. Arid Meteorology (in Chinese), 24 (4): 15-19.
- 何金海, 祁莉, 刘丹妮, 等. 2010. 东亚大气环流由冬向夏的转变时间及其特征 [J]. 气象科学, 30 (5): 591-596. He Jinhai, Qi Li, Liu Danni, et al. 2010. Transition of East Asian general circulation from winter to summer and its features [J]. Scientia Meteorologica Sinica (in Chinese), 30 (5): 591-596, doi: 10.3969/j.issn.1009-0827.2010.05.004.
- 贺伟, 布仁仓, 熊在平, 等. 2013. 1961~2005 年东北地区气温和降水变化趋势 [J]. 生态学报, 33 (2): 519-531. He Wei, Bu Rencang, Xiong Zaiping, et al. 2013. Characteristics of temperature and precipitation in northeastern China from 1961 to 2005 [J]. Acta Ecologica Sinica (in Chinese), 33 (2): 519-531, doi: 10.5846/stxb201111241799.
- Li C F, Yanai M. 1996. The onset and interannual variability of the Asian summer monsoon in relation to land-sea thermal contrast [J]. J. Climate, 9 (2): 358-375, doi: 10.1175/1520-0442(1996)009<0358:TOAIVO>2.0.CO;2.
- 李淼, 夏军, 陈社明, 等. 2011. 北京地区近 300 年降水变化的小波分析 [J]. 自然资源学报, 26 (6): 1001-1011. Li Miao, Xia Jun, Chen Sheming, et al. 2011. Wavelet analysis on annual precipitation around 300 years in Beijing area [J]. Journal of Natural Resources (in Chinese), 26 (6): 1001-1011, doi: 10.11849/zrzyxb.2011.06.011.
- 祁莉, 何金海, 张祖强, 等. 2007. 纬向海陆热力差异的季节转换与东亚副热带季风环流 [J]. 科学通报, 52 (24): 2895-2899. Qi Li, He Jinhai, Zhang Zuqiang, et al. 2008. Seasonal cycle of the zonal land-sea thermal contrast and East Asian subtropical monsoon circulation[J]. Chinese Science Bulletin, 53 (1): 131-136, doi: 10.1007/s11434-007-0518-0.
- 钱永甫, 江静, 张艳, 等. 2004. 亚洲热带夏季风的首发地区和机理研究 [J]. 气象学报, 62 (2): 129-139. Qian Yongfu, Jiang Jing, Zhang Yan, et al. 2004. The earliest onset area of the tropical Asian summer monsoon and its mechanisms [J]. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 62 (2): 129-139, doi: 10.3321/j.issn:0577-6619.2004.02.001.
- 任珂, 何金海, 祁莉. 2010. 东亚副热带季风雨带建立特征及其降水水质分析 [J]. 气象学报, 68 (4): 550-558. Ren Ke, He Jinhai, Qi Li. 2010. The establishment characteristics of the East Asian subtropical monsoon rain-belt and an analysis of its nature of precipitation [J]. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 68 (4): 550-558.
- 施能, 朱乾根, 吴彬贵. 1996. 近 40 年东亚夏季风及我国夏季大尺度天气气候异常 [J]. 大气科学, 20 (5): 575-583. Shi Neng, Zhu Qian'gen, Wu Bingui. 1996. The East Asian summer monsoon in relation to summer large scale weather-climate anomaly in China for last 40 years [J]. Scientia Atmospherica Sinica (in Chinese), 20 (5): 575-583.
- 孙秀荣, 陈隆勋, 何金海. 2002. 东亚海陆热力差指数及其与环流和降水的年际变化关系 [J]. 气象学报, 60 (2): 164-172. Sun Xiurong, Chen Longxun, He Jinhai. 2002. Index of land-sea thermal difference and its relation to interannual variation of summer circulation and rainfall over East Asian [J]. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 60 (2): 164-172, doi: 10.3321/j.issn:0577-6619.2002.02.005.
- Torrence C, Compo G P. 1998. A practical guide to wavelet analysis [J]. Bull. Amer. Meteor. Soc., 79 (1): 61-78, doi: 10.1175/1520-0477(1998)079<0061:APGTWA>2.0.CO;2.
- 王同美, 吴国雄, 万日金. 2008. 青藏高原的热力和动力作用对亚洲季风区环流的影响 [J]. 高原气象, 27 (1): 1-9. Wang Tongmei, Wu Guoxiong, Wan Rijin. 2008. Influence of the mechanical and thermal forcing of Tibetan Plateau on the circulation of the Asian summer monsoon area [J]. Plateau Meteorology (in Chinese), 27 (1): 1-9.
- 魏凤英. 2007. 现代气候统计诊断与预测技术 [M]. 北京: 气象出版社, 43-44. Wei Fengying. 2007. Modern Climate Statistics Diagnosis and Prediction Technology (in Chinese) [M]. Beijing: Meteorological Press, 43-44.
- 吴国雄, 王军, 刘新, 等. 2005. 欧亚地形对不同季节大气环流影响的数值模拟研究 [J]. 气象学报, 63 (5): 603-612. Wu Guoxiong, Wang Jun, Liu Xin, et al. 2005. Numerical modeling of the influence of Eurasian orography on the atmospheric circulation in different seasons [J]. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 63 (5): 603-612, doi: 10.3321/j.issn:0577-6619.2005.05.006.
- 叶笃正, 陶诗言, 李麦村. 1958. 在六月和十月大气环流的突变现象 [J]. 气象学报, 29 (4): 249-263. Yeh Tucheng, Dao Shihyen, Li Meitsun. 1958. The abrupt change of circulation over Northern Hemisphere during June and October [J]. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 29 (4): 249-263.
- 尹继尧, 朱元清, 宋治平, 等. 2011. Morlet 小波显著性检验和精度分析在地磁场和地震活动性周期分析中的应用 [J]. 地震学报, 33 (5): 663-671. Yin Jiyao, Zhu Yuanqing, Song Zhiping, et al. 2011. Significance test and precision analysis of Morlet wavelet: Application to studying periodic variation of earthquake activity and geomagnetic field [J]. Acta Seismologica Sinica (in Chinese), 33 (5): 663-671, doi: 10.3969/j.issn.0253-3782.2011.05.010.
- 俞亚勋, 王式功, 钱正安, 等. 2013. 夏半年西太副高位置与东亚季风雨带(区)的气候联系 [J]. 高原气象, 32 (5): 1510-1525. Yu Yaxun, Wang Shigong, Qian Zheng'an, et al. 2013. Climatic linkages between SHWP position and EASM rainy-belts and-areas in East part of China in Summer half year [J]. Plateau Meteorology (in Chinese), 32 (5):

- 1510–1525, doi: 10.7522/j.issn.1000-0534.2013.00033.
- 曾庆存, 张邦林. 1992. 论大气环流的季节划分和季节突变 I: 概念和方法 [J]. 大气科学, 16 (6): 641–648. Zeng Qingcun, Zhang Banglin. 1992. On the seasons of general atmospheric circulation and their abrupt changes part I: General concept and method[J]. Scientia Atmospherica Sinica (in Chinese), 16 (6): 641–648.
- 曾庆存, 梁信忠, 张明华. 1988. 季风和大气环流季节突变的数值模拟 [J]. 大气科学, 12 (S1): 22–42. Zeng Qingcun, Liang Xinzhong, Zhang Minhua. 1988. Numerical simulation of monsoon and the abrupt changes in the atmospheric circulation [J]. Scientia Atmospherica Sinica (in Chinese), 12 (S1): 22–42.
- 张博, 周秀骥, 陈隆勋, 等. 2010. 东亚海陆热源差指数及其与环流和中国夏季降水的关系 [J]. 中国科学: 地球科学, 40 (6): 789–801. Zhang Bo, Zhou Xiuji, Chen Longxun, et al. 2010. An East Asian land–sea atmospheric heat source difference index and its relation to general circulation and summer rainfall over China [J]. Science China Earth Sciences, 53 (11): 1734–1746, doi: 10.1007/s11430-010-4024-x.
- 章基嘉, 朱福康, 彭永清, 等. 1984. 1979 年初夏大气环流季节转换的若干事实 [J]. 气象, (6): 2–4. Zhang Jijia, Zhu Fukang, Peng Yongqing, et al. 1984. Some facts about atmospheric circulation of seasonal transition in early summer 1979 [J]. Meteorological Monthly (in Chinese), (6): 2–4.
- 张琼, 钱永甫, 张学洪. 2000. 南亚高压的年际和年代际变化[J]. 大气科学, 24 (1): 67–78. Zhang Qiong, Qian Yongfu, Zhang Xuehong. 2000. Interannual and interdecadal variations of the South Asia high [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 24 (1): 67–78.
- 张伟, 闫敏华, 彭淑贞, 等. 2009. 基于小波理论的长春市近 50 年来降水变化特征 [J]. 中国农业气象, 30 (4): 515–518. Zhang Wei, Yan Minhua, Peng Shuzhen, et al. 2009. Precipitation change in Changchun last 50 years based on wavelet theory [J]. Chinese Journal of Agrometeorology (in Chinese), 30 (4): 515–518, doi: 10.3969/j.issn.1000-6362.2009.04.009.
- 赵平, 陈军明, 肖栋, 等. 2008. 夏季亚洲—太平洋涛动与大气环流和季风降水 [J]. 气象学报, 66 (5): 716–729. Zhao Ping, Chen Junmin, Xiao Dong, et al. 2008. Summer Asian–Pacific oscillation and its relationship with atmospheric circulation and monsoon rainfall [J]. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 66 (5): 716–729, doi: 10.3321/j.issn:0577-6619.2008.05.006.
- 赵平, 蒋品平, 周秀骥, 等. 2009. 春季东亚海—陆热力差异对我国东部西南风降水影响数值试验 [J]. 科学通报, 54 (16): 2372–2378. Zhao Ping, Jiang Pingping, Zhou Xiuji, et al. 2009. Modeling impacts of East Asian ocean–land thermal contrast on spring southwesterly winds and rainfall in eastern China[J]. Chinese Science Bulletin, 54 (24): 4733–4741, doi: 10.1007/s11434-009-0229-9.
- 祝从文, 周秀骥, 赵平, 等. 2011. 东亚副热带夏季风建立与中国汛期开始时间 [J]. 中国科学: 地球科学, 41 (8): 1172–1181. Zhu Congwen, Zhou Xiuji, Zhao Ping, et al. 2011. Onset of East Asian subtropical summer monsoon and rainy season in China [J]. Science China Earth Sciences, 54 (12): 1845–1853, doi: 10.1007/s11430-011-4284-0.
- 朱志伟, 何金海. 2013. 东亚副热带季风的季节转变特征及其可能机理 [J]. 热带气象学报, 29 (2): 245–254. Zhu Zhiwei, He Jinhai. 2013. Seasonal transition of East Asian subtropical monsoon and its possible mechanism [J]. Journal of Tropical Meteorology (in Chinese), 29 (2): 245–254, doi: 10.3969/j.issn.1004-4965.2013.02.008.
- Zhu Z W, He J H, Qi L. 2012. Seasonal transition of East Asian subtropical monsoon and its possible mechanism [J]. Journal of Tropical Meteorology, 18 (3): 305–313.