

东亚冬季风年际变化的 ENSO 信息

I. 观测资料分析*

穆明权 李崇银

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

摘 要 利用 1950~1989 年 40 年的全球月平均资料, 详细讨论了东亚冬季风的年际变化特征, 分析结果表明东亚冬季风年际变化中包含有明显的 ENSO 信号, 也就是说东亚冬季风活动与 ENSO 的发生有明显的关系, 大多数 El Niño 事件爆发后东亚冬季风偏弱, 而大多数 La Niña 爆发后东亚冬季风偏强。通过对这 40 年间的 10 次 El Niño 和 7 次 La Niña 事件的合成分析, 结果表明 El Niño 冬半年东亚 500 hPa 位势高度为正距平, 海平面气压为负距平, 即东亚冬季风偏弱, 阿留申及北美地区呈现出明显的类似 PNA 型的异常环流形势; La Niña 冬半年东亚以至于北半球大气环流异常形势与 El Niño 的相反。同时资料分析也表明, 在大多数 El Niño (La Niña) 爆发前东亚冬季风偏强(弱)。另外, 功率谱分析结果表明, 东亚冬季风有显著的 3~5 年和准 2 年的变化周期, 这从另一方面说明了东亚冬季风的年际异常中包含有显著的 ENSO 信息。

关键词 ENSO 东亚 冬季风 年际变化 气候异常

1 引言

已有的研究表明, El Niño、La Niña 对全球气候异常起着十分重要的作用^[1~3]; ENSO 对中国气候, 尤其是东亚夏季风, 同样产生了严重的影响, 我国东北地区夏季低温冷害^[4,5]、华北地区的旱涝^[6]、长江中下游地区梅雨期的旱涝^[7,8]等等, 这充分说明了我国及全球气候变化中包含着显著的 ENSO 信号。同样, ENSO 对东亚冬季风也有严重的影响^[9]。然而, 已有的研究多从部分测站统计的角度进行分析的, 本文将以更一般的 1950~1989 年 40 年的全球实际观测资料, 一方面, 研究东亚冬季风的年际变化特征; 另一方面, 研究 El Niño、La Niña 事件对全球主要是东亚地区大气环流, 尤其是东亚冬季风的影响。

目前, 国际上正在开展的气候变率及其可预报性 (CLIVAR) 计划中, 已将季风与 ENSO 关系的研究放在了重要位置, 因此研究东亚冬季风的年际变化及其与 ENSO 的关系也具有十分重要的意义。

东亚冬季风是一个复杂的气候系统, 在这个系统中有许多成员。如果从流场上来看, 有东亚中高纬地区的西北风和低纬地区的东北季风; 若从环流形势上来看, 包含有地面上的蒙古冷高压、阿留申低压以及 500 hPa 东亚大槽。因此, 我们所指的东亚冬季

1998-02-05 收到, 1998-10-18 收到修改稿

* 国家自然科学基金资助项目 49635180

风的年际变化是指东亚 500 hPa 位势高度、海平面气压、地面气温或者西北太平洋沿岸地区地面经向风的年际变化, 它们可以较全面地描写东亚冬季风的活动。强东亚冬季风可以是东亚地区 500 hPa 高空槽活动频繁 (负高度距平)、海平面气压值偏高、气温偏低, 西北太平洋沿岸地区北风加强; 东亚冬季风弱可以是 500 hPa 高度出现正距平、海平面气压偏低、气温偏高, 西北太平洋沿岸地区南风加强。

本文所用的分析资料主要包括两个方面:

1) 美国国家气象中心 (NMC) 的北半球 500 hPa 位势高度和海平面气压月平均网格资料, 经纬度网格距为 $5^\circ \times 5^\circ$, 资料范围为 ($20^\circ \sim 80^\circ \text{N}$, $0^\circ \sim 360^\circ$)。

2) 综合大气-海洋数据库 (COADS) 的海面气温、海面经向风月平均资料, 经纬度网格距为 $2^\circ \times 2^\circ$, 资料范围为全球。

以上资料时间长度均为 1950 年 1 月~1989 年 12 月共 40 年。

2 东亚冬季风的年际变化特征

1950~1989 年间共发生 10 次 El Niño 和 7 次 La Niña 事件。10 次 El Niño 事件是 1951、1953、1957、1963、1965、1968~1969、1972、1976、1982~1983 和 1986~1987 年, 7 次 La Niña 事件是 1954~1955、1964、1967、1970、1973、1975 和 1988 年。

如图 1a 所示, 东亚地区 500 hPa 位势高度具有明显的年际变化, 正负距平交替出现, 但是正、负距平又各有不同的特点, 对于正距平, 有的只持续一年, 如 1961、1964、1966 和 1973 年, 有的可持续两年, 如 1959~1960、1979~1980 和 1987~1988 年, 甚至有的可以持续 5 年以上, 如 1951~1955 年; 对于负距平也有类似的多时间尺

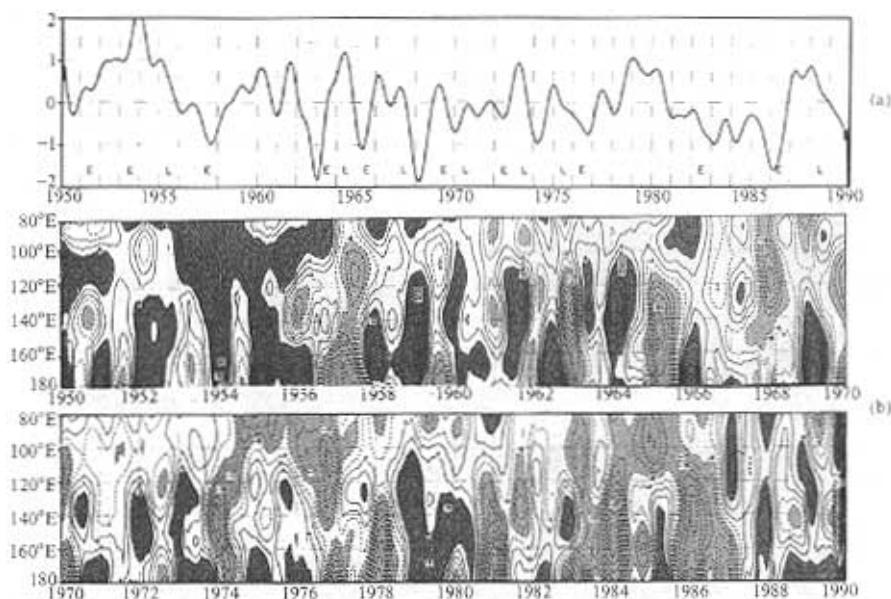


图 1 东亚地区 500 hPa 位势高度距平随时间的演变 (图中 E 和 L 字母分别表示 El Niño 和 La Niña)

(a) 东亚地区 ($25^\circ \sim 35^\circ \text{N}$, $100^\circ \sim 130^\circ \text{E}$) 的平均 (单位: 位势什米);

(b) $25^\circ \sim 35^\circ \text{N}$ 平均时间-经度剖面 (单位: 位势米)

度特征。但是, 负距平的峰值比正距平的大, 例如从 1950 到 1989 年的 40 年中, 正距平大于或等于 1.0 位势什米的一共只有 4 次, 而负距平小于或等于 -1.0 位势什米的却有 8 次。我们还发现, El Niño 爆发后, 东亚地区 500 hPa 高度场基本上为正距平控制, 例如 1951~1952、1953~1954、1963~1964、1965~1966、1972~1973、1976~1977 和 1986~1987 年冬季。在 10 个 El Niño 事件中, 有 7 个有这种特征, 但是 1968~1969 和 1982~1983 年的 El Niño 爆发后, 东亚地区 500 hPa 高度场仍为负距平控制, 这是因为 1968~1969 年的 El Niño 事件在 1968 年底南方涛动指数已达最低点, 而对于 1982~1983 年 El Niño 事件, 因为 1981~1986 年间东亚 500 hPa 位势高度一直为负距平控制, 反映了东亚冬季风还受到更长时间尺度 (如 10 年左右) 变化的影响。而在 La Niña 爆发后, 东亚地区则都为负距平控制, 例如 1955~1956、1964~1965、1967~1968、1970~1971、1973~1974 和 1988~1989 年冬季, 所有 7 个 La Niña 均有这种特征, 冬季 500 hPa 位势高度的明显负距平都与 La Niña 的发生相对应。

另外还可以看到, El Niño 爆发前的冬季, 甚至从秋季开始, 东亚地区基本上为 500 hPa 位势高度负距平控制, 在 10 次 El Niño 事件中 9 次有这种特征, 只有 1953 年是例外; 相反, 7 次 La Niña 事件中, 有 6 次其前一年秋冬季东亚地区为正距平控制。

为了更清楚地反映 500 hPa 位势高度的年际变化特征, 图 1b 给出了 25~35°N 纬带平均的时间-经度剖面, 图中正负相间的分布很明显, 正负中心主要集中在 100~160°E 范围内, 这恰好是 500 hPa 东亚大槽槽底的所在位置, 即反映了 500 hPa 东亚大槽具有明显的年际变化特征。El Niño 爆发之前基本上对应着东亚大槽的加深, 爆发后, 东亚大槽却减弱; 相反, La Niña 事件爆发前, 东亚大槽偏弱, 爆发后, 东亚大槽将加深。

图 2a 给出了东亚海平面气压距平随时间的变化, 可以看出东亚海平面气压也有明

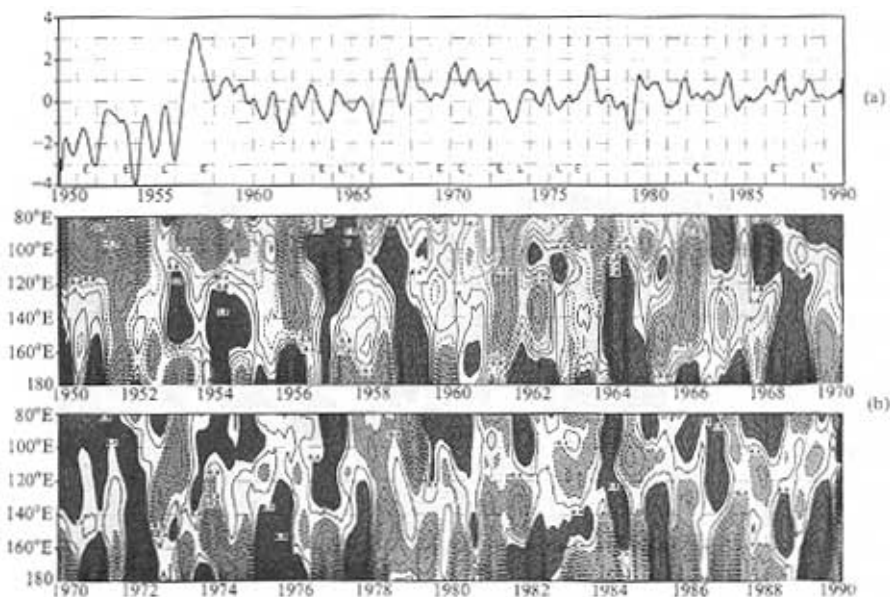


图 2 东亚地区海平面气压距平随时间的演变 (单位: hPa)

(a) 东亚地区 (35~50°N, 80~120°E) 的平均; (b) 35~45°N 平均时间-经度剖面

显的年际变化, 而 10 次 El Niño 事件爆发后有 8 次东亚海平面气压下降, 其中有 5 次为负距平; 而 7 次 La Niña 事件中, 有 5 次事件爆发后东亚海平面气压升高, 且为正距平。分析 El Niño 和 La Niña 事件爆发前海平面气压异常形势, 不难发现 El Niño 爆发前东亚地区异常海平面气压为正距平, 而 La Niña 的前期却基本上为负距平。35~45°N 纬带平均的异常海平面气压时间-经度剖面图上, 如图 2b 所示, 更能清楚地反映出东亚海平面气压的年际变化特征, 100~140°E 范围内的正负距平相间分布很清楚, 正距平对应于后期的 El Niño 事件, 负距平对应于后期的 La Niña 事件; 当事件爆发后, 东亚海平面气压将向相反的方向转变, 即 El Niño 爆发后东亚海平面气压下降, La Niña 爆发后东亚海平面气压上升。

图 3a 为东亚地面气温距平随时间的演变, 地面气温的年际变化也非常明显, 10 次 El Niño 事件中, 有 8 次事件爆发后东亚地面气温上升, 其中的 6 次地面气温已为正距平。但是有一个例外, 即 1976 年的 El Niño, 这可能是因为北半球大气环流基本流的特殊性^[10], 使得 1976 年为东亚有史以来罕见的冷冬。7 次 La Niña 事件中, 有 5 次使那里的气温下降。经过统计还发现, El Niño 爆发前 (10 次 El Niño 事件中共有 8 次) 东亚地面气温基本上为负距平, 而大多数 (共有 5 次) La Niña 事件之前东亚为正距平。地面气温的时间-经度剖面 (图 3b) 同样反映了上述特征。另外, 地面气温的异常变化其空间尺度很大, 在 (120°E~180°) 地区基本上有一致性的变化特征。同 500 hPa 位势高度一样, 80 年代东亚地面气温基本上为负距平。

对于地面经向风, 我们也作了类似的分析, 如图 4 所示。大多数 El Niño 事件爆发前西北太平洋沿岸地区地面北风偏强, 10 次中 9 次有这种特征; El Niño 爆发后南风偏大, 共有 8 次。大多数 La Niña 事件爆发前地面南风偏大, 7 次中共有 5 次; 爆发后

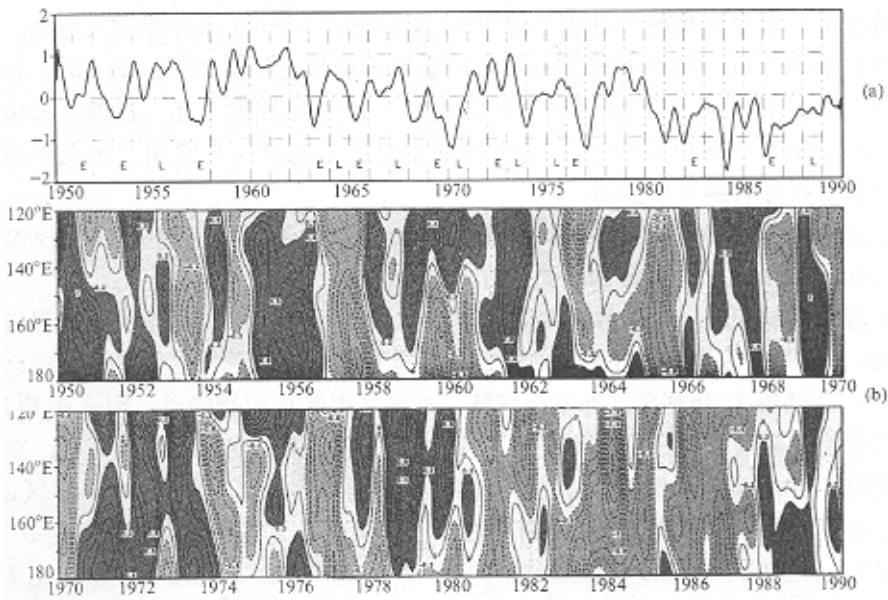


图 3 东亚地区地面气温距平随时间的演变 (单位: °C)
(a) 东亚地区 (30~40°N, 120~140°E) 的平均; (b) 30~40°N 平均时间-经度剖面

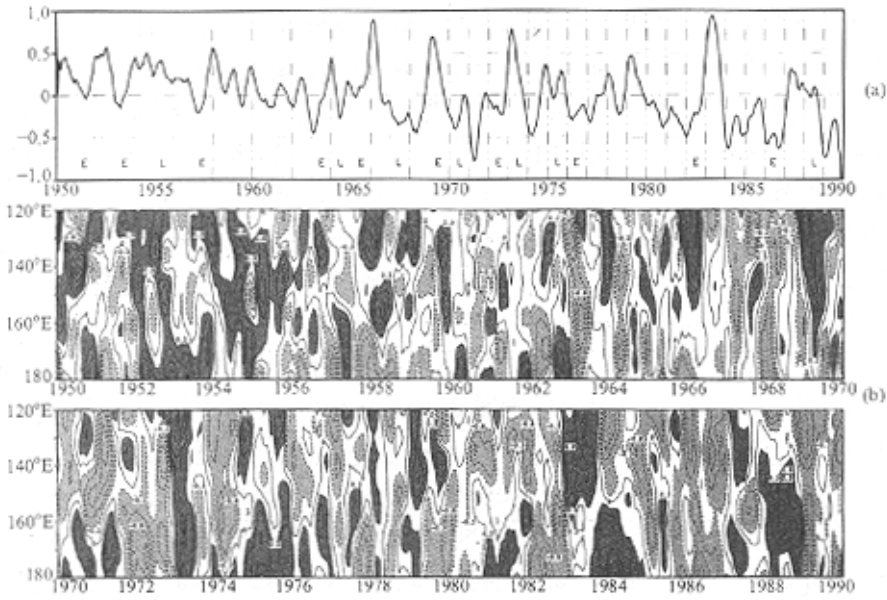


图 4 西北太平洋地区地面经向风距平随时间的演变 (单位: m/s)
(a) 东亚地区 ($20\sim 30^{\circ}\text{N}$, $120\sim 150^{\circ}\text{E}$) 的平均; (b) $20\sim 30^{\circ}\text{N}$ 平均时间-经度剖面

北风偏大, 共有 7 次。流场上的这种变化与海平面气压的变化是一致的, 东亚海平面气压升高, 西北太平洋沿岸地区异常北风加大; 反之, 东亚地区海平面气压负距平则使得沿岸地区南风加强。

另外, 从东亚地区 500 hPa 位势高度、地面气温和地面经向风距平值的大小来看, 大多数情况下, 较大正负距平基本上都与 El Niño 和 La Niña 事件的爆发有关。

通过功率谱分析, 结果如图 5 所示, 不论是东亚地区地面气温 (图 5b), 还是地面经向风 (图 5c) 都有两个超过 95% 信度的谱峰: 3~5 年和准 2 年, 这两个峰值周期均与 Niño 3 区海温 (SST) (图 5a) 两个周期相对应, 这进一步说明了东亚冬季风的年际变化中包含有显著的 ENSO 信号。

为了进一步讨论异常东亚冬季风与 ENSO 的密切关系, 以下对 1950~1989 年间的 10 次 El Niño 和 7 次 La Niña 事件进行了合成。

图 6 为合成的 El Niño 事件爆发前后异常东亚冬季风、赤道中西太平洋异常纬向风以及 Niño 3 区异常海温 (SSTA) 的演变, 不难看出, 反映异常东亚冬季风活动的 4 个物理场量 (500 hPa 位势高度、海平面气压、地面气温和地面经向风) 距平在 El Niño 爆发前后都有很明显的转变, 即由负转正, 海平面气压则由正变负, 也就是说, 东亚冬季风由强变弱; 同时, 从各个场量出现异常的时间先后顺序, 不难看出 Niño 3 区正 SSTA 落后于赤道中西太平洋异常西风 2 个月左右, 而异常西风又落后于异常强东亚冬季风 2~3 个月时间。合成的 La Niña 反映的特征与 El Niño 的类似, 但符号相反, 如图 7 所示。La Niña 爆发前后, 异常东亚冬季风由弱变强; 同时, 弱东亚冬季风出现的时间明显超前于赤道中西太平洋异常东风及 Niño 3 区负 SSTA 数个月, 并且异常东风发生的时间也超

前于赤道东太平洋负海温出现的时间。

通过以上分析,发现东亚冬季风的变化同 ENSO 有密切关系,El Niño 和 La Niña 事件爆发前后东亚冬季风的强弱将发生明显的转变。也就是说,El Niño 事件的爆发将使得东亚冬季风由强变弱;La Niña 的爆发使得东亚冬季风由弱变强。上述这种变化,一方面说明了东亚冬季风有明显的年际变化特征;另一方面也说明了 ENSO (El Niño, La Niña) 与东亚冬季风有明显的相互影响关系,或者说东亚冬季风年际变化中包含了丰富的 ENSO 信号。

3 ENSO对北半球大气环流的影响

将 1950~1989 年期间 10 次 El Niño 和 7 次 La Niña 事件爆发后冬半年 (11~4 月) 的 500 hPa 位势高度场合成,结果如图 8 所示。该图反映了 El Niño 和 La Niña 事件对冬半年北半球 500 hPa 大气环流的总体影响。在 El Niño 冬半年,东亚-西北太平洋中纬度地区 (45°N 以南) 为正距平, $50^{\circ}\sim 70^{\circ}\text{N}$ 纬带为负距平,这种特征表明这期间的东亚极锋锋区偏北,东亚大槽偏弱。异常负距平控制了阿留申地区 (北太平洋北部),北美大陆北部为正距平,而北大西洋为负距平 (图 8a),这种分布形势类似于观测到的 PNA “遥相关”型^[3]。La Niña 对北半球冬半年 500 hPa 大气环流的影响基本上与 El Niño 相反,东亚及西北太平洋南部地区被异常负距平覆盖,东亚及北太平洋北部 (阿留申地区) 为大片正距平,这种分布形势表明此时的东亚极锋锋区偏南,东亚大槽偏强。整个北美大陆以北为负距平,以南为弱的正距平,北大西洋为正距平 (图 8b),这种形势分布恰好与 El Niño 冬半年的相反,与 PNA 型的位相反号。综合以上分析,我们可以认为:El Niño 的爆发将使东亚大槽减弱,而 La Niña 则使东亚大槽加深。

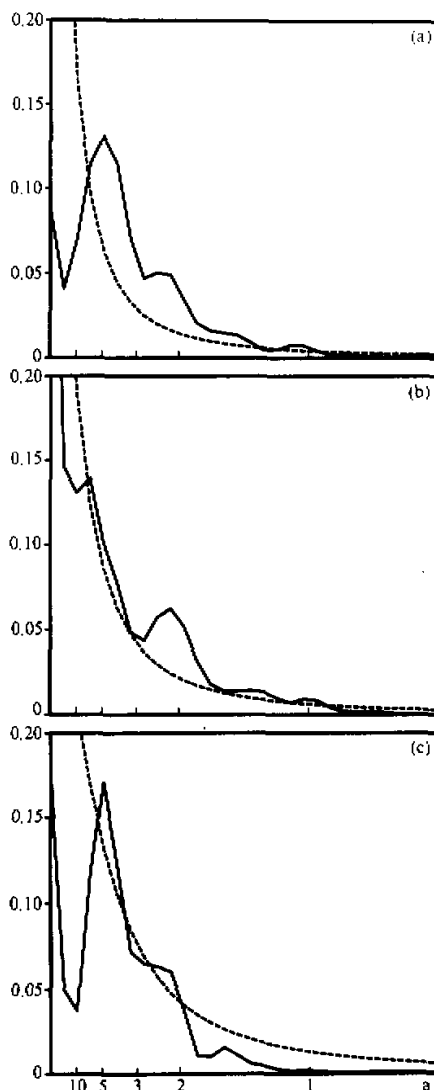


图 5 Niño 3 区 SST (a)、东亚地区 ($30^{\circ}\sim 40^{\circ}\text{N}$, $120^{\circ}\sim 140^{\circ}\text{E}$) 地面气温 (b)、($20^{\circ}\sim 30^{\circ}\text{N}$, $120^{\circ}\sim 150^{\circ}\text{E}$) 地面经向风 (c) 的功率谱
纵坐标代表功率谱密度

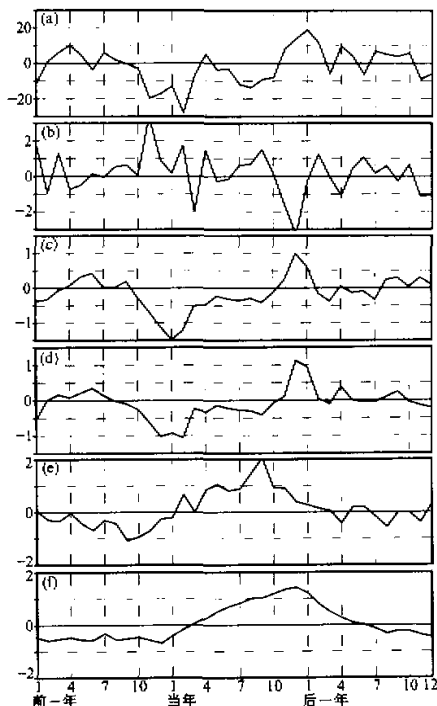


图 6 合成 El Niño 爆发前后

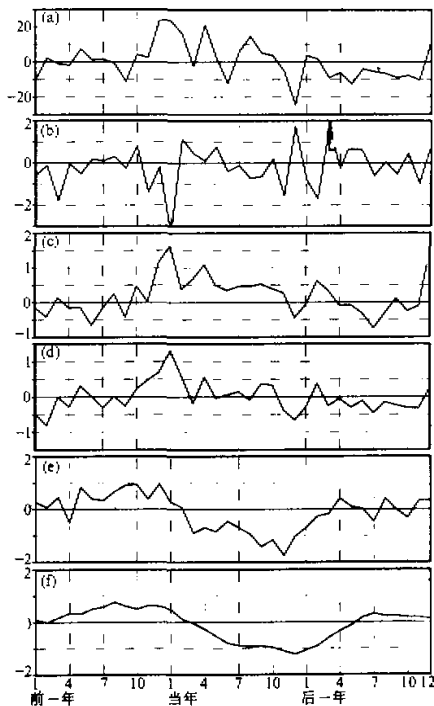


图 7 合成 La Niña 爆发前后, 其余同图 6

- (a) 500 hPa 位势高度 (30~40°N, 100~130°E, 单位: 位势米);
 (b) 海平面气压 (35~50°N, 80~110°E, 单位: hPa);
 (c) 地面气温 (30~40°N, 120~130°E, 单位: °C);
 (d) 地面经向风 (25~35°N, 120~130°E, 单位: m/s);
 (e) 异常纬向风 (6°S~6°N, 150~160°E, 单位: m/s);
 (f) Niño 3 区异常海温 (6°S~6°N, 150~90°W, 单位: °C)

与 500 hPa 位势高度场类似, 我们对海平面气压场也作了合成分析, 如图 9 所示, 在 El Niño 的冬半年里 (图 9a), 亚洲大陆中高纬地区为负距平, 西北太平洋地区为正距平, 阿留申到阿拉斯加一带为强负距平控制, 北美大陆的东北部为一弱的正距平区, 南部为负距平, 这种异常气压场类似于 500 hPa 位势高度场异常。La Niña 事件对北半球冬半年海平面气压的影响基本上与 El Niño 的影响相反 (图 9b), 即东亚大陆地区为正距平, 西北太平洋为弱的负距平, 阿留申到阿拉斯加一带为强正距平控制, 整个北美大陆基本上为负距平控制, 而几乎整个大西洋被正距平控制。上述海平面气压的异常变化说明了 El Niño 将使得东亚大陆地区的海平面气压降低, 而 La Niña 则会使那里的气压升高, 这同样表明了 El Niño (La Niña) 将使得东亚冬季风减弱 (加强)。

过去的研究已表明中国东部地区气温在 El Niño 爆发当年冬季普遍偏高^[9], 而在 La Niña 年冬季气温偏低, 分析 COADS 的海表气温, 其结果也比较好地同上述结果相一致 (图略), El Niño 年冬季黑潮区域气温偏高, 而 La Niña 年冬季黑潮区域气温偏低。

由地面风矢量所分析得到的海上流场图也表明, El Niño 冬半年东亚及西北太平洋

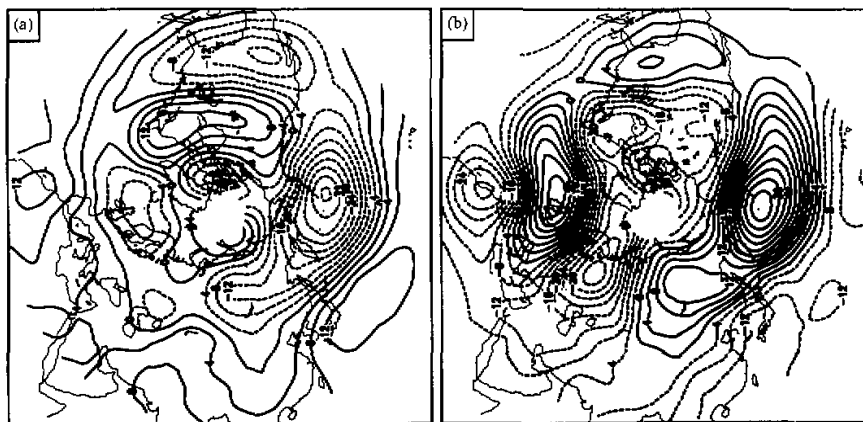


图8 北半球 500 hPa 位势高度距水平分布形势 (单位: 位势米)
(a) 10 次 El Niño 的合成; (b) 7 次 La Niña 的合成

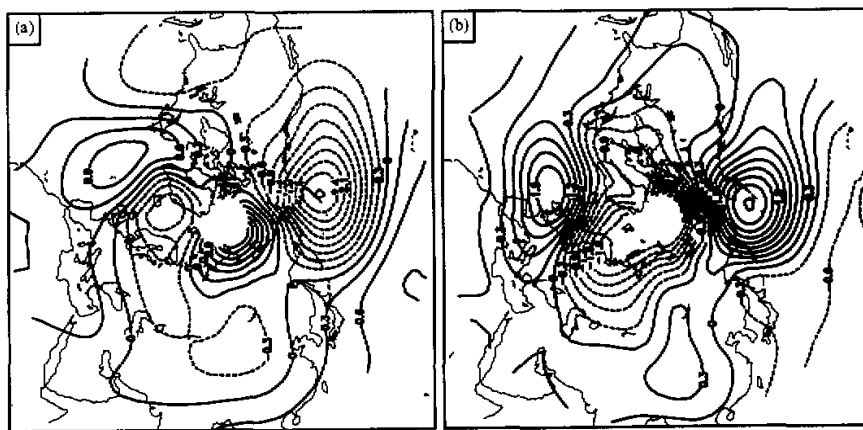


图9 北半球海平面气压距水平分布形势 (单位: hPa)
(a) 10 次 El Niño 的合成; (b) 7 次 La Niña 的合成

地区地面南风加大, La Niña 冬半年该地区的北风将加大 (图 10), 该图可以更直观地说明 ENSO 对东亚冬季风的影响。

综上所述, 东亚大气环流 (500 hPa 和地面) 在 El Niño 和 La Niña 爆发后的冬半年均有明显的变化: 在 El Niño 冬半年里 (11~4 月) 东亚地区为 500 hPa 位势高度正距平控制、海平面气压偏低、地面气温偏高、西北太平洋沿岸有异常南风, 这些特征表明 El Niño 造成的异常环流形势不利于冷空气向南爆发, 东亚冬季风偏弱; 相反, 在 La Niña 冬半年里东亚地区 500 hPa 位势高度异常偏低、海平面气压偏高、地面气温偏低、西北太平洋沿岸有异常北风, 这些特征表明 La Niña 造成的异常环流形势有利于冷空气向南爆发, 东亚冬季风偏强。

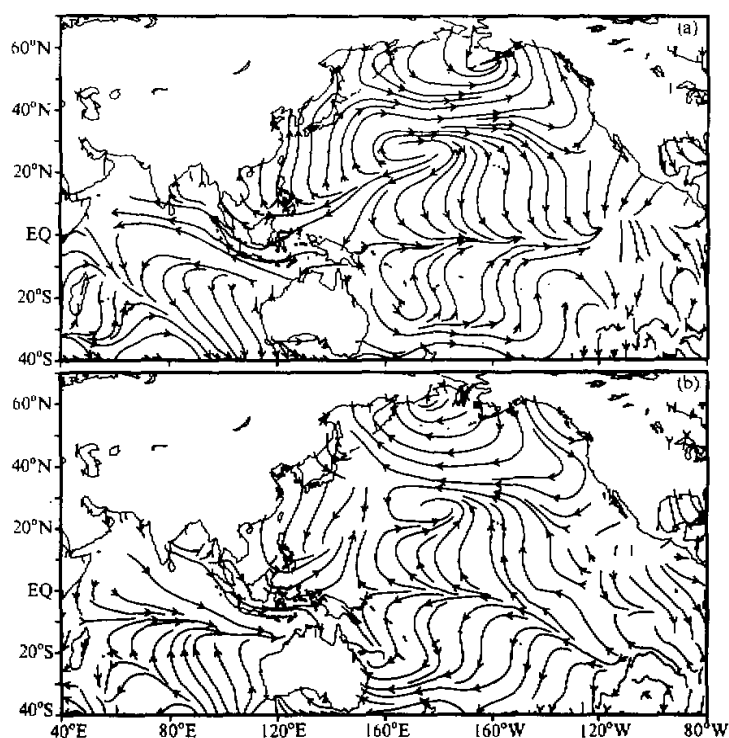


图 10 北半球异常地面流场水平分布形势
(a) 10 次 El Niño 的合成; (b) 7 次 La Niña 的合成

4 结论

通过实测资料分析,清楚地表明东亚冬季风的年际变化与 El Niño 和 La Niña 事件的发生有明显的内在联系。功率谱分析进一步表明,东亚冬季风年际变化中包含有显著的 3~5 年和准 2 年的周期,这与 ENSO 有很好的对应关系。

大多数 El Niño 事件爆发前,东亚冬季风偏强;相反,大多数 La Niña 事件爆发前,东亚冬季风偏弱。这些结果进一步证明了东亚冬季风的异常对 ENSO 事件的发生有重要作用。

ENSO (El Niño 和 La Niña) 对东亚冬季风也有显著的影响。El Niño 冬半年 (11~4 月) 东亚 500 hPa 位势高度出现正距平、海平面气压偏低、地面气温偏高、异常南风偏强,这种异常环流形势不利于东亚寒潮的发展及冷空气向南爆发,东亚冬季风偏弱;相反,La Niña 冬半年东亚 500 hPa 高度为负距平、海平面气压偏高、气温偏低、异常北风偏强,其结果是有利于东亚冷空气向南爆发,东亚冬季风偏强。

参 考 文 献

- 1 李崇银, 1995, 气候动力学引论, 北京: 气象出版社, 241~253.
- 2 Pan, Y. H. and A. H. Oort, 1983, Global climate variations connections with sea surface temperature anomalies in the eastern equatorial Pacific Ocean for 1958-73 period, *Mon. Wea. Rev.*, **111**, 1244~1258.
- 3 Horel, J. D. and J. M. Wallace, 1981, Planetary scale atmospheric phenomena associated with the Southern Oscillation, *Mon. Wea. Rev.*, **109**, 813~829.
- 4 李崇银, 胡季, 1987, 东亚大气环流与埃尔尼诺相互影响的一个分析研究, *大气科学*, **11**, 359~364.
- 5 曾昭美, 章名立, 1987, 热带东太平洋关键区海温与中国东北地区气温的关系, *大气科学*, **11**, 382~389.
- 6 李崇银, 1992, 华北地区汛期降水的一个分析研究, *气象学报*, **50**, 41~49.
- 7 李麦村, 吴仪芳, 黄嘉佑, 1987, 中国东部季风降水与赤道东太平洋海温的关系, *大气科学*, **11**, 365~371.
- 8 刘永强, 丁一汇, 1995, ENSO事件对我国季节降水和温度的影响, *大气科学*, **19**, 200~208.
- 9 李崇银, 1988, 中国东部地区的暖冬与厄尔尼诺, *科学通报*, **3**, 282~286.
- 10 黄荣辉, 严邦良, 岸保雄三郎, 1991, 基本气流在 ENSO 对北半球冬季大气环流影响中的作用, *大气科学*, **15**, 44~50.

ENSO Signals in the Interannual Variability of East-Asian Winter Monsoon. Part I: Observed Data Analyses

Mu Mingquan and Li Chongyin

(State Key Laboratory of Numerical Modeling for Atmospheric Science and Geophysical Fluid Dynamics,
Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Science, Beijing 100029)

Abstract The interannual variability of winter monsoon in East Asia is investigated in detail with the observed global month mean data from 1950 to 1989. Analysis results clearly show that the anomalous activities of winter monsoon in East Asia have the obvious relationship with the occurrence of ENSO (El Niño, La Niña). In other words, winter monsoon in East Asia becomes weaker after most El Niño events occurred, and becomes stronger after most La Niña events occurred. During the past 40 years, there are 10 El Niño cases and 7 La Niña cases. Through composite analyses for the two kinds of cases, respectively, it is shown that there are positive departure of 500 hPa geopotential height and negative anomaly of sea level pressure in East Asia, which mean East-Asian winter monsoon becomes weaker in the El Niño wintertime. The anomalous circulation situation is well analogous to the observed PNA pattern in the Aleutian and North American area. In the La Niña wintertime, the signs of the anomalous circulation in the Northern Hemisphere, especially in East Asia, are opposite to those during the same period with El Niño. In the meantime, the analyses of the observed data also display that East-Asian winter monsoon is very strong (weak) before El Niño (La Niña) events burst out. Analyses of power spectrum clearly show that the interannual variation of winter monsoon has 3~5 years and quasi-biennial cycles. In other words, ENSO signals are included in the interannual anomaly of winter monsoon in East Asia.

Key words ENSO winter monsoon East Asia interannual variability climate anomaly