

EL Niño 事件与东亚大气环流异常、振荡及与黑龙江省天气的关系

潘 华 盛

(黑龙江省气象科学研究所, 哈尔滨)

摘 要

El Niño 事件发生前, 春季阿留申低压异常发展, 并有大量的动能由高纬向低纬输送。在 El Niño 发展时期, 西太平洋副热带高压增强, 东亚区 500hPa 高度场呈现北负南正遥相关形势, 我省易发生低温。El Niño 现象减弱转为反 El Niño 时鄂霍次克海高压发展可以引起较大降水。El Niño 指数与阿留申低压、东亚槽指数、副高面积指数同具有 3.75~5 年周期振荡, 而且在 3.75 年凝聚值最大。El Niño 指数落后阿留申低压指数 4.13 个月变化, 与东亚槽指数有几乎同期变化特征, 与副高面积指数有超前 4 个月变化特征。

关键词: El Niño 事件, 环流异常, 天气。

一、前 言

El Niño 事件与东亚大气环流的关系, 一直为气象学家所关注, 并成为深入研究的热门课题^[1~5]。东亚大气环流的主要系统有阿留申低压、东亚槽、鄂霍次克海高压(以下简称鄂高)、西太平洋副热带高压(以下简称副高)等。这些系统与 El Niño 事件发生、发展的关系十分密切, 尤其对我省天气产生重要影响。为表征这些系统的强度, 取这些系统经常活动的区域, 用所在经纬网格点的距平平均值表示。定义如下:

$$AA \text{ 指数} = \frac{\sum_1^m H^1 [\Phi_1^0 - \Phi_2^0 N, J_1^0 - J_2^0 E(W)]}{m}$$

其中 H^1 为 500hPa 高度距平在纬度 Φ_1 和 Φ_2 、经度 J_1 和 J_2 之间的值, m 为点数。以下定义了阿留申低压强度指数为 AL , 范围取 $40^\circ \sim 60^\circ N, 180^\circ \sim 140^\circ W$, 网格点数为 20。东亚槽强度指数为 Et , 范围取 $40^\circ \sim 60^\circ N, 110^\circ \sim 140^\circ E$, 网格点数为 18。鄂高强度指数为 EH , 范围取 $50^\circ \sim 65^\circ N, 110^\circ \sim 140^\circ E$, 网格点数为 16。同样定义了 El Niño 强度指数 EL , 范围取赤道东太平

本文于 1997 年 3 月收到修改稿。

* 本文为 1996 年黑龙江省自然科学基金资助项目。

洋 $5^{\circ}\text{N} \sim 5^{\circ}\text{S}$, $180^{\circ} \sim 80^{\circ}\text{W}$ 共 61 个点的海温距平平均值($^{\circ}\text{C}$)。中央气象台日常公布的副高面积指数即 588 位势什米等高线包围点数, 在这里我们定义为副高强度 Fh 。本文 El Niño 事件是指中等强度以上, 峰值月出现在当年的, 定义为 El Niño 年。自 1949 年以来有 1957、1965、1969、1972、1976、1983、1987、1991、1993 和 1994 共 10 次。发生时间按 $EL > 0.5^{\circ}\text{C}$ 为 El Niño 事件开始, 则在秋季发生的有 3 次即 1968、1982、1986 年, 其余 7 次在 4~6 月发生。虽然 3 次在秋季发生, 但造成环流异常还是在下年 El Niño 鼎盛年。因此用 El Niño 年 10 次平均状况来讨论分析与大气环流关系是完全可行的。El Niño 事件与东亚区各系统之间振荡关系, 采用计算各指数之间功率谱和交叉谱的方法, 取样本 $n = 540$ 个月, 1951~1995 年, 最大落后步长 $m = 90$ 个月, 自由度 ν 为 11.5, 500hPa 高度值经过标准化处理。

二、El Niño 事件发生、发展时期大气环流特征

1. 角动量输送特征

角动量扰动水平输送公式:

$$J_{\Phi} = \frac{2\pi a^2 \cos^2 \Phi [u^* v^*]}{g}$$

$u^* v^*$ 表示滑动通量。 $[\]$ 表示纬圈平均, $*$ 表示对纬圈的偏差。将上式展成谱形式, 用三角函数正交性, 最后得到:

$$J_{\Phi} = \frac{\pi g \cos \Phi \cdot m}{f^2 \Delta \Phi} \sum_{m=1}^{\infty} [(am(\Phi_3) - am(\Phi_1)) \cdot bm(\Phi) - (bm(\Phi_3) - bm(\Phi_1)) am(\Phi)]$$

其中, Φ_1 、 Φ_2 、 Φ_3 为高纬到低纬, $\Delta \Phi = \frac{\Phi_3 - \Phi_1}{2}$ 为间隔, m 为波数, am 、 bm 为富氏系数, 其它为常见量。公式详细推导见文献^[6]。我们计算了 10 次 El Niño 事件沿 $30^{\circ} \sim 75^{\circ}\text{N}$ 纬圈, 1~7 波合成的角动量平均值, 时间从发生前 9 月至当年 8 月, 输送情况见图 1a。由图 1a 所见, El Niño 发生前一年的 12 月至当年 1 月, 角动量向北输送最大值, 中心为 $32\text{m}^2/\text{s}^2$, 出现在 40°N 附近。而向南输送角动量的最大值出现在当年 4~5 月, 其值为 $-12\text{m}^2/\text{s}^2$, 零线已达 45°N 。反 El Niño 事件则不具备, 这些特征尤其向南输送角动量的零线在整个 11 至 5 月期间只达 55°N 。表明 El Niño 发生前期, 角动量南北输送是增强的, 尤其春季向南输送的角动量明显加强, 这也表明大气环流已开始盛行经向环流, 此特征也是对 El Niño 事件发生的一个很好诊断。另外还可以看出在 El Niño 事件发展时期的夏季, 角动量南北输送已不明显。

2. 春季阿留申低压异常发展诱发 El Niño 事件

图 1b 给出了 10 次 El Niño 年 1~12 月逐月平均 500hPa 距平沿纬圈 $40^{\circ} \sim 60^{\circ}\text{N}$, $10^{\circ} \sim$

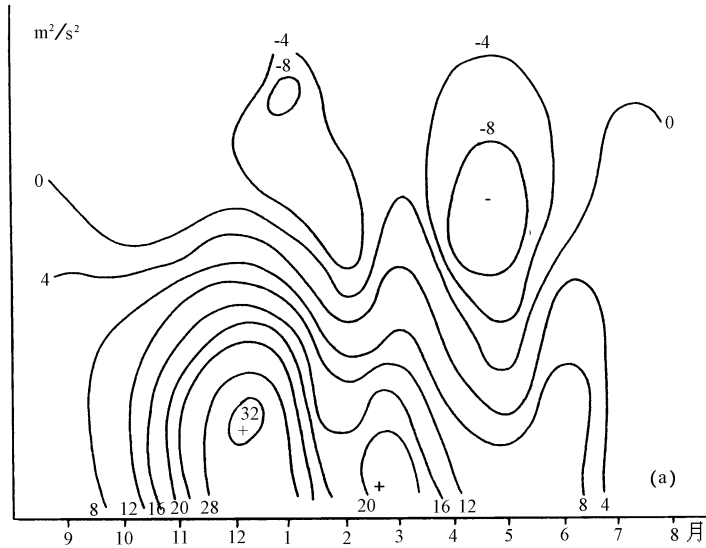


图 1a El Niño 发生发展时期大气环流特征
(El Niño 发生前 9 月至翌年发展期 8 月角动量输送)

360° 经向时间剖面。由图 1b 可见, El Niño 事件发生前的 2~ 4 月阿留申低压强烈发展, 尤其 3 月发展更强一些, AL 指数平均为 -3 位势什米。5 月 EL 指数与前期 1~ 5 月 500hPa 高度场计算相关系数也发现, 相关系数最大值出现在 3 月的阿留申低压区, 相关系数为 -0.33, 而且在阿留申低压中心附近, 即 $50^{\circ}N, 180^{\circ}E$ 处, 系数为 -0.50, 远大于 0.001 信度检验。这表明 El Niño 事件发生前春季阿留申低压发展, 增强了中高纬地区南北扰动, 促使冷空气向南爆发至中低纬地区, 副高减弱南压, 致使中西太平洋地区信风减弱, 从而诱发了 El Niño 事件的发生。

3 El Niño 发展至鼎盛时期东亚大气环流特征及与我省温度的关系

图 1c 给出了 El Niño 年 6~ 8 月 500hPa 高度距平场。可以看出, 在 El Niño 发展时期, 东亚区 $60^{\circ}N$ 以北为正距平控制, 距平中心一个在中亚, 另一个在鄂海地区, 表明中亚和鄂海有高压建立。在 $35^{\circ} \sim 55^{\circ}N$ 的东亚槽区及以东, 中太平洋海区为负距平控制, 距平中心一个位于黑龙江省, 另一个位于日界线附近。表明东亚槽和北太平洋洋中槽是加深的。在 $25^{\circ}N$ 以南广大低纬地区, 为正距平控制, 表明副高区开始增强。这种由于 El Niño 所激发的准定常波, 在 500hPa 距平场表现为 + - + 型式, 即低纬为正距平, 中纬为负距平, 高纬又为正距平的经向波排列。通过 El Niño 事件将赤道东太平洋海温与中纬环流异常变化, 与我省气温变化联系在一起, 这就是所说的遥相关现象。另外在北半球, El Niño 发展时期, 还盛行太平洋北美型和欧亚型, 即 PNA 和 EU 型^[4]。10 次 El Niño 事件在 6~ 8 月的平均值, PNA 指数为 0.8, EU 指数为 1.25。10 月~ 12 月 El Niño 处于鼎盛时期(见图 1b), 东亚槽至阿留申低压又趋于加强, 副高将进一步发展。南高北低跷跷板型式从夏季持续到冬季。我省气温由冷夏基本持续到秋冬。从表 1 明显看出 EL 指数从 5 月开始 $\geq 0.5^{\circ}C$, El Niño 事件发生, EL 指数不断增加, 至

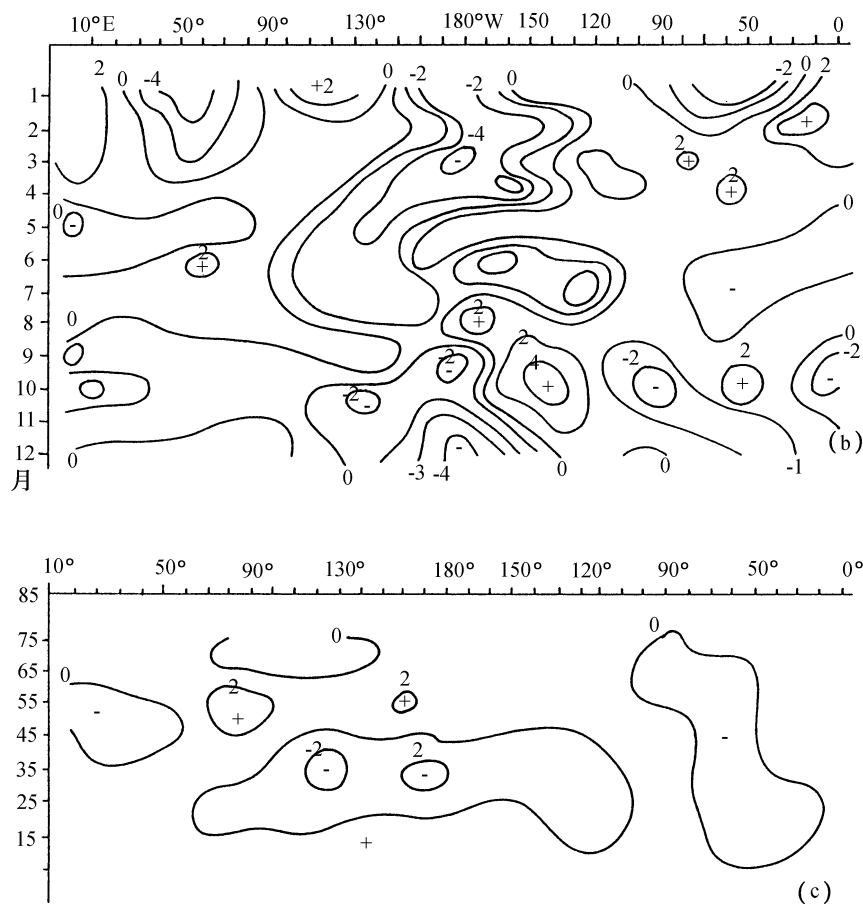


图 1 b、c El Niño 发生发展时期大气环流特征(b: 1~12 月 500hPa 高度距平沿纬圈 40°~60°N, 10°~360° 经向剖面。c: El Niño 年 500hPa 高度距平合成图)

表1 AL、Et、EL 指数与黑龙江省气温变化关系

距平值 项目	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
EL(℃)	0.1	0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	0.9	0.9
AL(位势什米)	0	-2	-3	-3	0	-1	0	1	0	2	-2	-3
Et(位势什米)	2	0	0	0	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1
黑龙江省气温距平(℃)	0.8	0.2	-0.1	0.2	-0.3	-0.3	-0.5	-0.5	0	0.2	-0.6	-1.2

秋冬季已达 0.9°C , 为 El Niño 鼎盛时期。AL 指数在春季是低的, 而在 11~12 月又达低值。Et 指数基本在事件发生后一直维持 -1 位势什米距平低值, 并且我省气温也在同期有低温发生, 特别在夏季 7、8 月和冬季 11~12 月, 气温距平值降到 -0.5°C 以下。

三、El Niño 事件与东亚大气环流各主要系统振荡关系的分析

1. El Niño 事件与阿留申低压的振荡关系

首先绘出 EL 指数和 AL 指数的功率谱(图 2)。由图 2a 可以看出 EL 指数振荡明显的具有 45 个月和 60 个月的振荡周期,也就是具有 3.75 年至 5 年的较长的变化周期。其次 36、30、

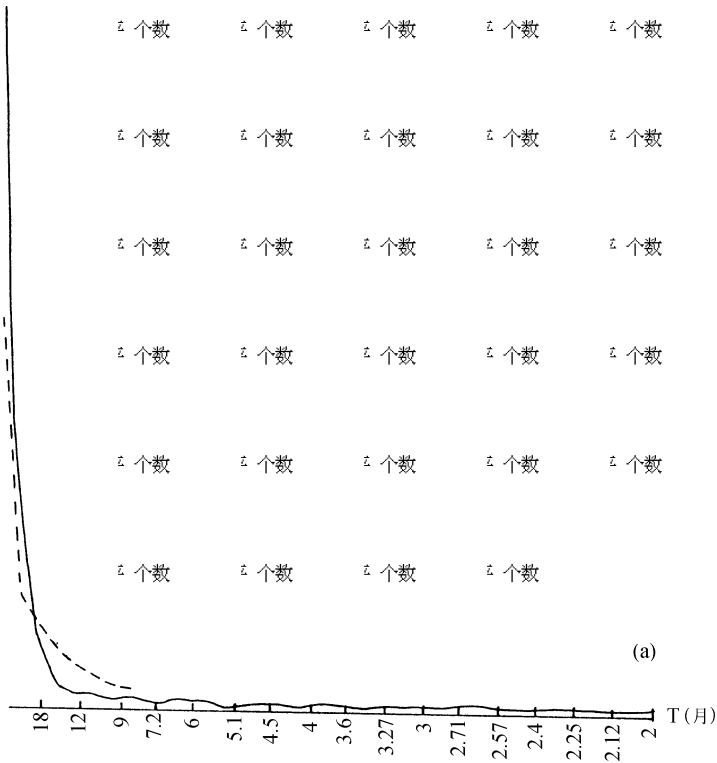


图 2a El Niño 与阿留申低压强度指数振荡关系
(EL 指数功率谱值)

25.2 个月的周期也较明显,它们均通过在信度 $\alpha=0.05$, $\chi^2=19.31$ 下的红噪音谱检验。 AL 指数振荡周期(见图 2b),也同样具有 60 个月振荡周期,另一较明显周期为 11.25 个月。其次 90 个月、45 个月、12 个月的周期也较明显,均通过 0.018 至 0.02 红噪音谱值检验。也就是说具有 3.75 年至 7.5 年长周期变化,同时也具有一年左右的较短周期的变化。 EL 和 AL 指数之间相互关系的凝聚谱图看出(见图 2c),凝聚最大值出现在 45 个月和 9.5 个月周期,凝聚值为 0.422 和 0.585,接近和超过凝聚临界值 $R_0=0.53$ 。它们落后长度谱, AL 较 EL 指数分别超长 4.13 个月和落后 1.6 个月。对于 AL 指数超前 EL 指数变化,可以预测 El Niño 事件 45 个月周期振荡的来临。

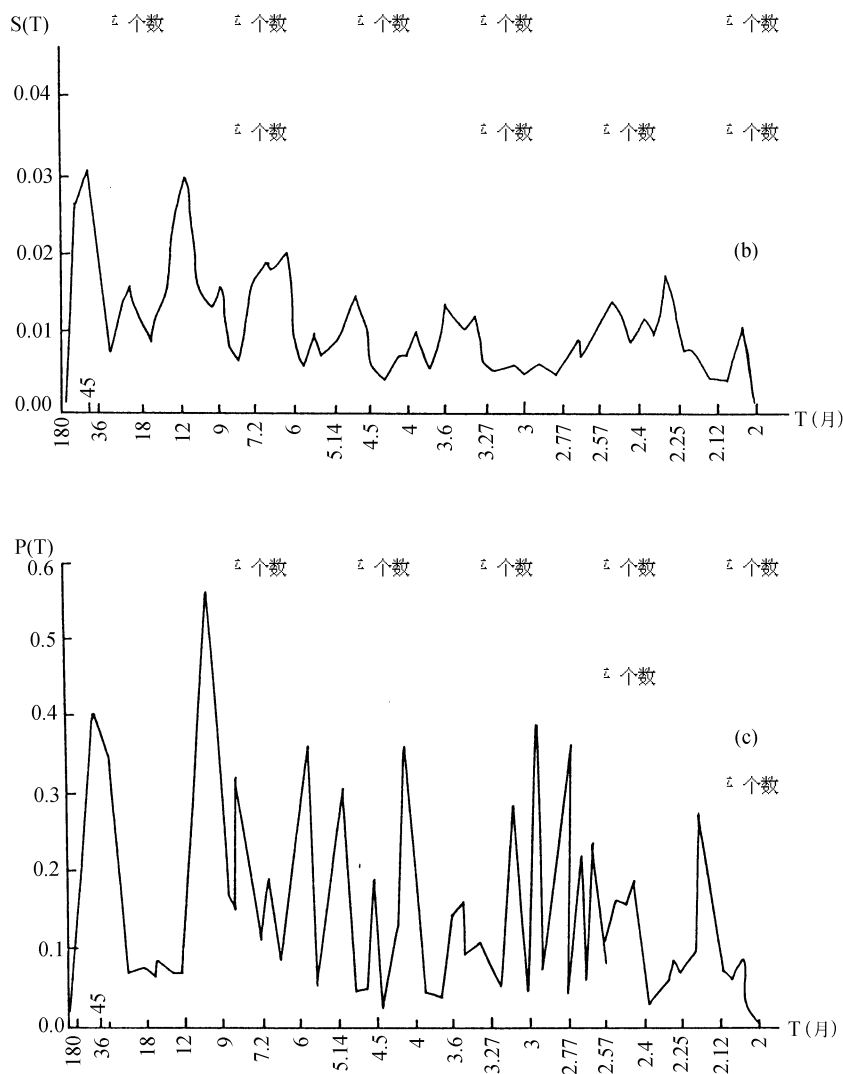


图 2b、c El Niño 与阿留申低压强度指数振荡关系

(b: AL 指数功率谱值, c: EL 与 AL 指数凝聚谱)

2 El Niño 事件与东亚槽振荡关系

上述分析表明, El Niño 处在发展和鼎盛时期东亚槽是加深的, 当处在衰退结束时期, 东亚槽则明显减弱, E_t 指数由原来的负值转为正值。我们还计算了 E_t 指数和 EL 指数互相关系数, 结果得出系数最高值出现在同期, 高达 -0.14, 超过 0.001 信度检验。下面给出 E_t 指数自身振荡功率谱 (图 3a)。

由图 3a 可见 E_t 指数较明显的周期有 180 个月、45 个月、9.47 个月, 其次是 60 个月。其谱值均超过 0.030、0.021、0.020 和 0.023 的红噪音检验。 EL 和 E_t 指数相互关系的凝聚谱值, 从

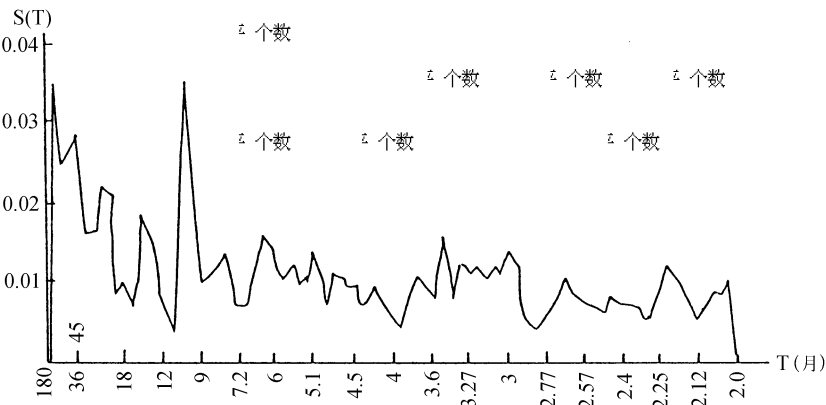


图 3a El Niño 与东亚槽振荡关系 (Et 指数功率谱)

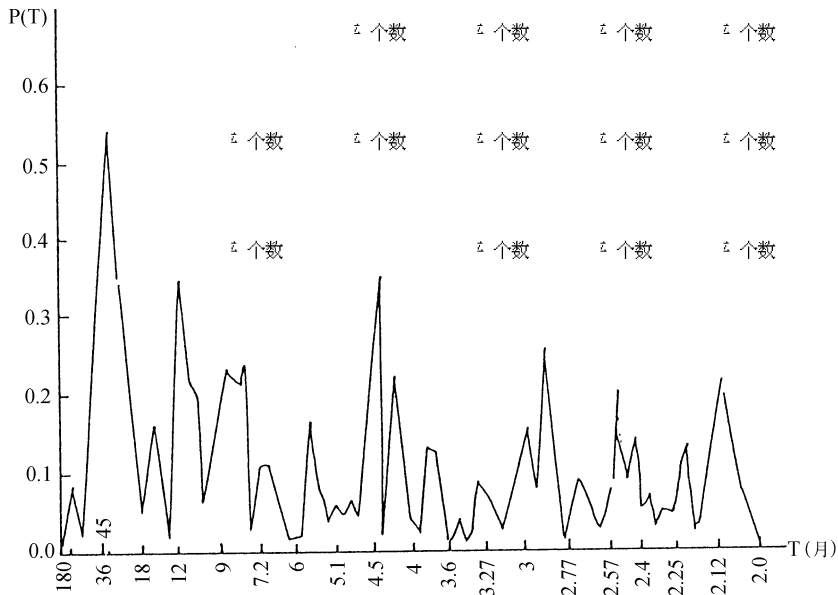
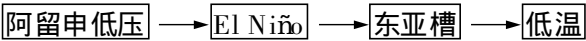


图 3b El Niño 与东亚槽振荡关系 (EL 与 Et 指数凝聚谱)

图 3b 可以看出, 36 个月和 30 个月周期凝聚最大, 接近和超过临界值 $Rd = 0.53$ 。由落后长度谱计算可知, Et 指数落后 EL 指数分别为 1.475 个月和 3.982 个月。这和阿留申低压发展先于 El Niño 事件一个月是不同的, 这对我省低温多发期是有指示意义的。它可以表示成这样的形式:



3 El Niño 事件与鄂海高压的振荡关系

鄂海高压建立对我省降水有重要影响,因此分析鄂高变化特征很有必要。鄂海高压建立是指 Eh 为正距平值而言。对 EL 和 Eh 指数进行互相关系数计算,结果表明,它们在相互滞后 0~ 3 个月反相关关系很好,系数在- 0.12~ - 0.16 之间,通过信度 0.001 检验。这与 El Niño 发生后, EL 指数与 AL 指数和 Et 指数反相关关系是一致的。这样当 EL 指数成为负值时,即为反 El Niño 事件时期多有鄂高活动,而鄂高与我省降水多少关系又很大,由于鄂高建

表 2 5~ 9 月降水级(偏多和特多) 频次统计表

月 份	5		6		7		8		9		5~ 9 平均	
	偏多	特多	偏多	特多	偏多	特多	偏多	特多	偏多	特多	偏多	特多
Eh 指数为正时频次(%)	73	75	83	78	69	75	75	83	80	71	76	76

立引起我省降水偏多平均可占 76%, 其中 6 月较其它月出现频次更大一些占 83%, 其次 9 月占 80%。引起降水特多平均可占 76%, 其中 8 月出现频次占 83% 为最多。另外少部分鄂高建立是在 El Niño 事件发生后,由于副高加强北抬与西风带高压结合,在鄂海至日本海之间形成南北向高压坝造成降水偏多。当然除表 2 外还有 24% 降水偏多属非鄂高型,这就纯属 El Niño 事件发生后,我省在东亚槽控制之下造成的。

鄂海高压 Eh 指数,具有 180 个月、90 个月、9.5 个月、9 个月和 6.43 个月周期振荡(见图 4a),通过红噪音谱值 0.0198 检验。从图中看出,鄂高有其自身的变化特征,与阿留申低压及东亚槽的变化规律有所不同。鄂高 Eh 与 EL 指数相互关系,如图 4b 所示。可以看出,凝聚最大值在第 12 个月周期显著,超过临界值 0.53,而且鄂高落后 El Niño 变化 0.3 个月,几乎同时变化。另外在 45 个月周期上凝聚也明显,接近临界值,而且鄂高落后 El Niño 事件 0.7 个月变化。

4 El Niño 事件与副高的振荡关系

西太平洋副高强弱变化对我省夏季降水影响较大,1957、1960、1961、1969、1981、1985、1991 和 1994 年是我省夏季典型降水偏多年。其中除 1957 和 1985 年副高稍弱外,其余 6 年为副高偏强。而这 8 年中也有 6 年属 EL 指数为正值或 El Niño 年。因此掌握副高与 El Niño 变化对于研究短期、长期气候预测是很有必要的。从副高指数 Fh 变化周期来看(见图 5a),其中 180 个月,60 个月,45 个月振荡周期较明显,均通过红噪音谱检验,这与 EL 指数振荡周期是相同的,但谱值远小于 EL 谱值。它们之间的凝聚关系(见图 5b),其中在 45 个月振荡周期显

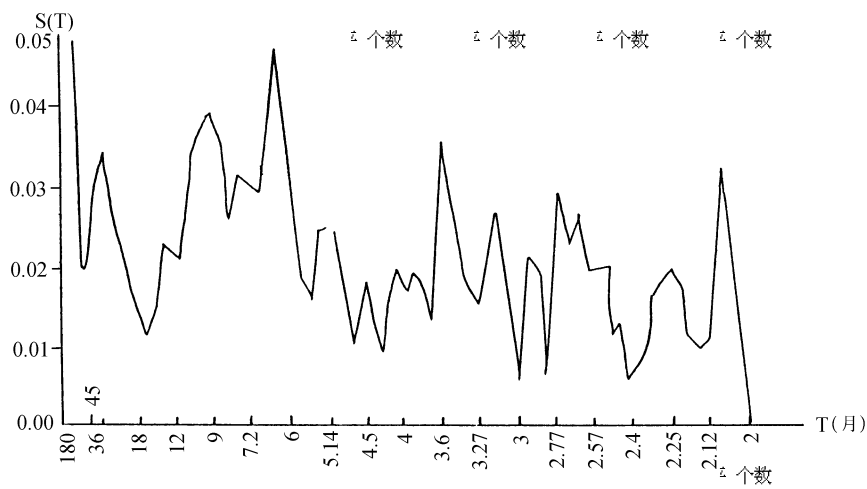


图 4a El Niño 与鄂高指数振荡关系 (Eh 指数功率谱)

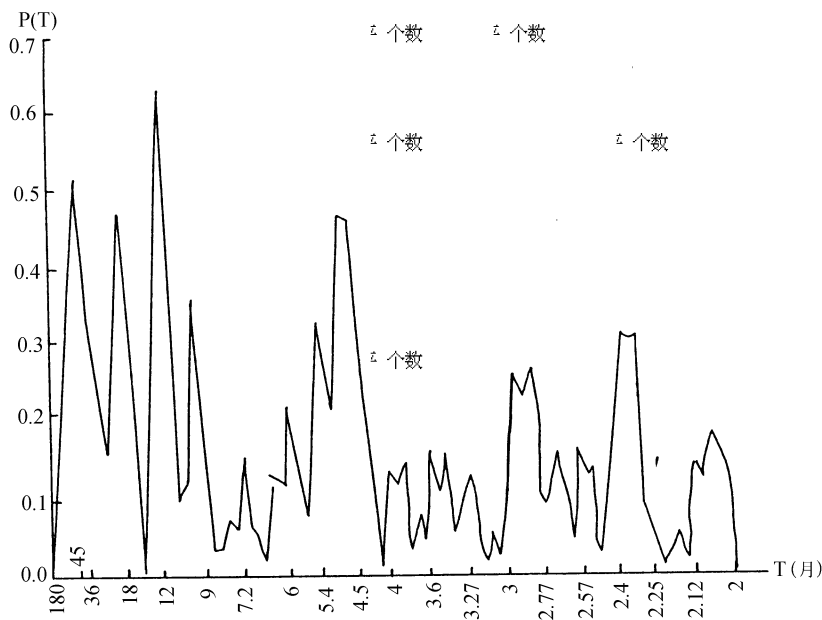


图 4b El Niño 与鄂高指数振荡关系 (EL 与 Eh 指数凝聚谱)

著,而且副高落后 El Niño 变化 4.9 个月。另外 60 个月、36 个月、30 个月、25.79 和 22.5 个月周期也较显著,均通过 0.53 临界值检验,而且副高滞后 EL 指数 4 个月。可见副高与 El Niño 变化关系是非常密切的,它们不但具有 3~4 年振荡周期,而且还具有 2 年左右振荡周期,这和有些研究工作者的结论是一致的^[7]。

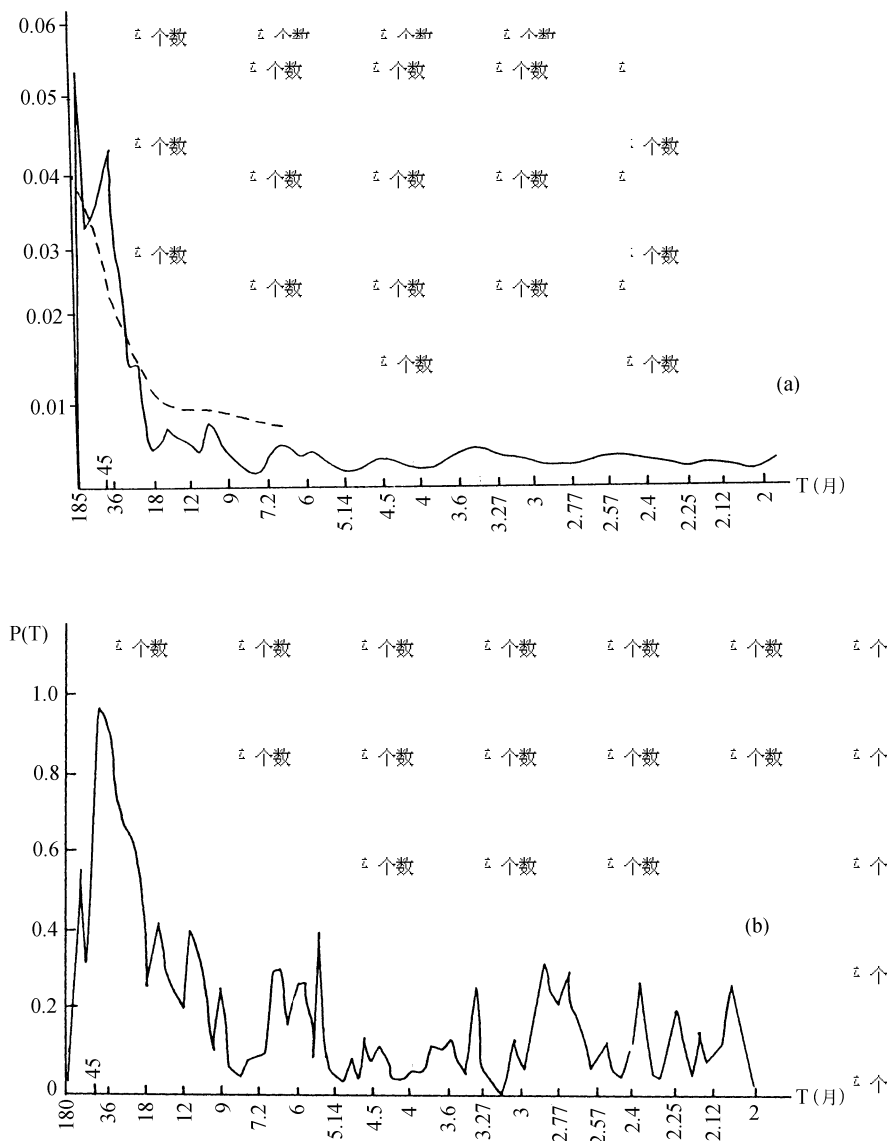


图 5 El Niño 与副高指数 Fh 振荡关系

(a: Fh 指数功率谱, b: EL 与 Fh 指数凝聚谱)

三、结论与讨论

El Niño 事件发生、发展对东亚大气环流产生异常影响,特别春季阿留申低压异常发展,诱发 El Niño 事件发生,随后由于东亚槽加深,副热带高压的发展,距平场形成南正北负形势,我省易产生低温多雨。El Niño 事件、阿留申低压、东亚槽、副高等系统的振荡周期基本在 45~

60 个月之间,同时 El Niño 与副热带高压还具有 2 年左右振荡周期。而中高纬系统具有 90~180 个月长周期振荡和半年至 9.5 个月短期振荡。El Niño 与这几个系统凝聚基本在 30~60 个月周期之间,而 45 个月为最好,这对于预测东亚大气环流变化趋势及我省气候趋势是很有意义的。

另外九十年代以来,连续发生 3 次 El Niño 事件,也有人称为一次长的 El Niño 事件,这对 El Niño 3.75 年周期又是个新的冲击。在 500hPa 距平场形势上,南高北低形势场发生了新的变化,中低纬出现了正距平,而高纬出现了负距平,我省则出现了高温天气。因此 El Niño 事件的预测及对东亚大气环流影响的物理过程,都有待于进一步认识和研究。

参 考 文 献

- [1] 王绍武、石伟,两类 ENSO 及其对中国夏季降水的不同影响,海洋对气候变化调节与控制作用学术研讨会论文集,海洋出版社,76~87,1992。
- [2] 李克让、林贤超,海洋对中国年际气候变化的影响,同上,25~30。
- [3] 刘永强、丁一汇,ENSO 事件对我国季节降水的温度的影响,大气科学,Vol. 19, No. 2, 200~208, 1995。
- [4] Wallace JM, Gutzler Ds, Teleconnection in the Northern Hemisphere winter, Mon Wea Rev, 109, 478~819, 1981。
- [5] 潘华盛、王军、李天尚,埃尔尼诺指数与黑龙江省冷夏及秋冬持续低温过程关系的分析,海洋学报, Vol. 13, No. 2, 271~276, 1991。
- [6] 潘华盛,正反埃尔尼诺前期角动量输送变化与黑龙江省冷暖夏的诊断分析,黑龙江气象, 2, 5~10, 1989。
- [7] 周静亚、杨大升、黄嘉佑,夏季热带及副热带环流系统周期振荡与中国降水的功率谱分析,热带气象, 2, 195~203, 1986。