

太阳活动11年周期与埃尔-尼诺现象形成的关系

李自强 马生春

(总参气象中心, 北京)

摘 要

本文利用本世纪以来所出现的埃尔-尼诺现象和太阳活动资料, 分析了太阳活动11年周期单周和双周内埃尔-尼诺现象的发生频数及其差异, 并分析了单周和双周内埃尔-尼诺现象的形成与太阳活动11年周期位相的关系, 以期对埃尔-尼诺现象的预测提供太阳活动的背景。

关键词: 埃尔-尼诺现象, 11年太阳周期, 埃尔-尼诺现象与太阳活动11年周期的关系。

一、引 言

埃尔-尼诺是指赤道东太平洋冷水区海水表面温度的异常增暖现象, 它的出现不仅使热带地区的气候产生急剧的变化, 而且也使中、高纬地区的大气环流和天气气候出现强烈的异常, 影响我国雨带位置和旱涝分布的西北太平洋副热带高压和我国东北的夏季低温冷害也与之有密切联系。因此, 深入研究埃尔-尼诺现象的成因及其预测对改进短期气候预测和长期天气预报有重要意义。

许多研究表明: 大气环流和气候变化与太阳活动有关^[1], 海温对太阳活动也有很好的响应^[2], 埃尔-尼诺现象作为大尺度海洋和大气相互作用的产物, 它与太阳活动也应存在某种联系, 众所周知, 太阳活动有明显的11年周期和22年磁周期, 张先恭^[3]利用100多年来所出现的埃尔-尼诺现象和太阳黑子资料分析表明: 当太阳黑子11年周期处于谷年附近(即 $m-1 \rightarrow m+1$ 位相)和峰年以后的迅速衰减阶段(即 $M+1 \rightarrow m-3$ 位相)两组位相, 赤道东太平洋海区容易发生埃尔-尼诺现象, 信度达0.05; 另外, 在年平均太阳黑子数小于70的年份, 赤道东太平洋也容易出现埃尔-尼诺现象, 信度为0.10。本文利用本世纪以来所出现的埃尔-尼诺现象和太阳活动资料, 进一步分析了太阳活动11年周期单周和双周内埃尔-尼诺现象的发生频数及其差异, 并分析了单周和双周内埃尔-尼诺现象的形成与太阳活动11年周期位相的关系, 以期对埃尔-尼诺现象的预测提供太阳活动的背景。

二、资料和分析结果

王绍武^[4]根据1860~1979年的热带海温记录,并参考了7种与埃尔-尼诺有关的指标,从海温、降水及大气环流三个不同角度进行综合分析,在1860年至1979年120年中共定出31次埃尔-尼诺。他还根据赤道东太平洋地区海温的发展过程,又把这31次埃尔-尼诺分为三大类:Ⅰ类为弱埃尔-尼诺、Ⅱ类为强埃尔-尼诺、Ⅲ类为持续性埃尔-尼诺。介于1860~1889年期间有1~3个指标没有资料,另外,越是近期的资料,可信度越高,且1901年刚好是太阳活动第14周的开始年,因此本文采用文献〔4〕中所定出的1901~1979年期间的埃尔-尼诺,由于其中有的埃尔-尼诺只有半数左右的指标有反映,这说明过程较弱或不够肯定,在本文中对7组指标中有4个或4个以上指标有反映的埃尔-尼诺将予以保留,1923年的埃尔-尼诺过程因仅有3个指标有所反映,故未在统计分析之列。这样在1901~1979年期间有18次埃尔-尼诺过程,加上80年代以来所出现的1982~1983、1986~1988、1991~1992年这3次埃尔-尼诺,本文中所包含的本世纪以来的埃尔-尼诺共有21次。国家气象局ENSO监测小组吸取了国内外各家表征埃尔-尼诺事件指数的优点,研制出一套划分埃尔-尼诺事件的标准和指数^[5],并给出1951~1988年历次埃尔-尼诺的起讫时间、强度指数及等级分类,而文献〔4〕中所定出的埃尔-尼诺在1951~1979年期间与文献^[5]有很好的-致性,这说明本文分析中所包含的本世纪以来的21次埃尔-尼诺事件有很好的代表性。

过去在研究大气环流和气候变化与太阳活动的关系时为了突出太阳活动11年周期的作用,先制作太阳活动11年周期表^[6],但这个周期表一般是以年为时间尺度的,而一次埃尔-尼诺事件的开始时间、结束时间应具体到以月为时间尺度,埃尔-尼诺事件的预测及其在长期天气预报中的应用主要应包含它的开始时间,因为一旦埃尔-尼诺事件形成以后,就可以加强监测,在实际的跨季度长期天气预测中,分析和判断未来几个月中是否会形成埃尔-尼诺事件是至关重要的。因此,本文分析中所用的太阳活动自第14周以来每个周的开始和结束时间也应具体到以月为时间尺度。章基嘉等^[7]在分析太阳活动及其对地球大气过程的影响时给出太阳活动第14周至第21周每个周取一位小数的极值年份(按苏黎世天文台),据苏黎世天文台确定太阳黑子11年周期极值年份的标准^[8],第22周的开始时间(极小值年)为1986年7月。

1. 太阳活动11年周期和埃尔-尼诺生成频数的关系

表1给出本世纪以来太阳活动11年周期第14周至第21周8个周内19次埃尔-尼诺事件生成频数的分布,可见在第14、16、18、20周4个双周内共生成12次埃尔-尼诺,占63%,每个双周内埃尔-尼诺的生成频数平均为3次;而在第15、17、19、21周4个单周内共生成7次埃尔-尼诺,占37%,每个单周内埃尔-尼诺的生成频数平均为1.75次,可见从平均状况而言,太阳活动11年周期双周内埃尔-尼诺的生成频数较单周内明显偏多。从8个太阳活动周各周埃尔-尼诺生成的频数来分析,4个双周内埃尔-尼诺生成频数最少为2次(第16周),最多为4次(第20周),其余两个周内均为3次;而4个单周内最少为1次(第21

周), 其余3个周内均为2次。在8个太阳活动周内共生成19次埃尔-尼诺, 每个周内的生成频数平均应为2.4次, 因此双周内埃尔-尼诺生成频数偏多, 单周内偏少的 相关概率可达88% (7/8)。这样, 太阳活动周内埃尔-尼诺的生成频数在本世纪以来具有明显的交替增减特征, 即有明显的双11年周期。

表1 太阳活动第14至21周8个周内埃尔-尼诺的生成频数

双周编号 (起止年月)	■ 埃尔-尼诺生成频数	单周编号 (起止年、月)	埃尔-尼诺生成频数
14 1901.8~1913.6	3	15 1913.7~1923.6	2
16 1923.7~1933.8	2	17 1933.9~1944.2	2
18 1944.3~1954.3	3	19 1954.4~1964.8	2
20 1964.9~1976.6	4	21 1976.7~1986.6	1

为了检验太阳活动11年周期单周和双周内埃尔-尼诺生成频数平均值的 差异程度, 我们用 t 检验法作了总体平均值的显著性检验, 结果计算求得 $t = 2.61$, 超过了自由度为6、信度为0.05的置信限2.45, 这表明单周和双周内埃尔-尼诺生成频数的平均值有显著的差异, 其可靠程度为95%。在 t 检验中, 假设两个总体方差相等, 为此我们作了检验方差相等的 F 检验, 求得 $F = 2.67$, 对于信度为0.05, 自由度 n_1 和 n_2 均为3的 F 临界值 λ_1 和 λ_2 , 分别为0.05和9.28, F 值介于之间, 故可认为两个总体的方差是相等的。上述 t 检验结果是可信的。

在最近的太阳活动第22周内 (1986年7月至今) 已出现了1986~1988、1991~1992年两次显著的埃尔-尼诺事件, 据上述分析的结果, 预计至1996年左右本周内 还将出现1次 (含以上) 埃尔-尼诺, 其可能性为75%。

上述分析表明: 太阳活动周内埃尔-尼诺事件的生成频数 在本世纪以来具有明显的交替增减特征, 具有明显的22年周期。

2. 埃尔-尼诺事件的形成和太阳活动11年周期位相的关系

为了分析埃尔-尼诺事件的形成和太阳活动单周和双周内11年周期位相 的关系, 首先应制作太阳活动11年周期表, 文献〔6〕已给出1610~1980年的11年周期表, 按与此相应的有关规定, 据1981年以来的太阳黑子资料, 可将11年周期表续至1992年。文献〔3〕分析了埃尔-尼诺年与太阳黑子11年周期位相的关系, 在此因主要分析埃尔-尼诺事件的形成和太阳活动单周和双周内11年周期位相的关系, 因此第14周以来每个太阳活动周的起止时

间也都应具体到以月为时间尺度。表2给出1901年以来21次埃尔-尼诺事件的形成在太阳活动第14周至第22周中的位置。从表2可见, 埃尔-尼诺事件的形成在单周和双周内的位置明显不同。在双周内埃尔-尼诺的形成主要集中出现在 $m-2 \rightarrow m+1$, $M-2 \rightarrow M-1$, $M+3 \rightarrow m-3$ 这三组位相, 在14次埃尔-尼诺过程中上述三组位相中的生成数为13次, 占93%, 而这三组位相在双周内所划分的55个位相中共有39个, 占71%, 可见在这三组位相中埃尔-尼诺生成的机率明显高于这三组位相的出现机率。而在单周内埃尔-尼诺的形成主要集中出现在 $m+1 \rightarrow m+2$, $M+1 \rightarrow M+2$ 这二组位相, 在7次埃尔-尼诺过程中上述二组位相的生成数为5次, 占71%; 而这两组位相在单周内所划分的45个位相中共有14个, 占31%, 因此, 单周内上述二组位相中埃尔-尼诺的生成机率也明显高于这两组位相的出现机率, 这表明埃尔-尼诺的形成可能与太阳活动的周期位相有关, 且在单周和双周内的位置明显不同。为了进一步检验单周和双周内上述二者之间的相关程度, 我们分别作了一个列联表(表3和表4), 并把埃尔-尼诺的形成和太阳活动周周期位相作为两个独立事件, 用 X^2 检验两者之间的独立性, 并用下式计算 X^2 统计量:

表2 埃尔-尼诺形成和太阳活动11年周期位相的关系

太阳活动周编号 (起止时间)	太 阳 活 动 位 相												
	m	$m+1$	$m+2$	$M-2$	$M-1$	M	$M+1$	$M+2$	$M+3$	$m-3$	$m-2$	$m-1$	m
14 1901.8~1913.6		E		E(P)							E(P)		
15 1913.7~1923.6		E					E(P)						
16 1923.7~1933.8				E(P)						E			
17 1933.9~1944.2			E				E(P)						
18 1944.3~1954.3	E								E			E	
19 1954.4~1964.8					E(P)							E	
20 1964.9~1976.6		E			E(P)				E				E
21 1976.7~1986.6								E(P)					
22 1986.7~	E(P)						E(P)						
双 周	2	2		2	1		1		2	1	1	1	1
单 周	0	1	1		1		2	1				1	

注: “E”代表埃尔-尼诺, E(P)代表一次持续性埃尔-尼诺。

$$X^2 = \sum \frac{(|\text{实际频数} - \text{理论频数}| - 0.5)^2}{\text{理论频数}}$$

我们知道, 两个独立事件联合出现的概率等于它们各自出现的概率的乘积, 将这种联合出现的概率转换成频数后称为理论频数, 表3和表4中括号内的数字即为它们各自的理论频数。

表3 埃尔-尼诺形成与双周内太阳活动位相的列联表

		埃尔-尼诺		合 计
		有	无	
位 相	$m-2 \rightarrow m+1$ $M-2 \rightarrow M-1$ $M+3 \rightarrow m-3$	13 (10)	26 (29)	39
	其 它	1 (4)	15 (12)	16
合 计		14	41	55

表4 埃尔-尼诺形成与单周内太阳活动位相的列联表

		埃尔-尼诺		合 计
		有	无	
单 位	$m+1 \rightarrow m+2$ $M+1 \rightarrow M+2$	5 (2.2)	9 (11.8)	14
	其 它	2 (4.8)	29 (26.2)	31
合 计		7	38	45

经计算, 在双周内 $X^2=2.93$, 超过了自由度为1, 信度为0.10的置信限2.71, 否定原假设, 证明在双周内埃尔-尼诺的形成和 $m-2 \rightarrow m+1$ 、 $M-2 \rightarrow M-1$ 、 $M+3 \rightarrow m-3$ 这三组位相确有一定关系, 其可靠程度为90%。在单周内, $X^2=4.16$, 超过了自由度为1, 信度为0.05的置信限3.84, 证明在单周内埃尔-尼诺的形成和 $m+1 \rightarrow m+2$ 、 $M+1 \rightarrow M+2$ 这两组位相也确有一定关系, 其可靠程度可达95%。

作为埃尔-尼诺形成和太阳活动周期位相两者关系的整体分析, 将双周内的 $m-2 \rightarrow m+1$ 、 $M-2 \rightarrow M-1$ 、 $M+3 \rightarrow m-3$ 位相和单周内的 $m+1 \rightarrow m+2$ 、 $M+1 \rightarrow M+2$ 位相合起来作为联合位相, 则联合位相中埃尔-尼诺的生成数为18次, 占86%, 而联合位相在1901~1992年期间所划分的100个位相中共有53个, 占53%, 可见在联合位相中埃尔-尼诺的生成

机率也明显高于联合位相的出现机率。我们也进一步用上述方法检验了本世纪以来太阳活动周期的联合位相和埃尔-尼诺形成之间的相关程度, 经计算, $X^2=10.2$, 超过了自由度为1, 信度为0.01的置信限6.64, 这就表明埃尔-尼诺的形成和联合位相确有一定关系, 其可靠程度高达99%。

以上的分析表明: 埃尔-尼诺的形成在太阳活动单周和双周内的位置不同, 在双周内埃尔-尼诺的形成主要集中在 $m-2 \rightarrow m+1$ 、 $M-2 \rightarrow M-1$ 、 $M+3 \rightarrow m-3$ 这三组位相; 而在单周内则主要集中在 $m+1 \rightarrow m+2$ 、 $M+1 \rightarrow M+2$ 这两组位相。分析表2中各类埃尔-尼诺的分布我们还可发现另一重要事实, 即无论在单周还是在双周内, 太阳活动峰值年附近 ($M-2 \rightarrow M+2$ 位相) 生成的埃尔-尼诺都是持续性埃尔-尼诺, 1990年是太阳活动第22周的峰值年, 1991年是 $M+1$ 年, 在制作1992年全国汛期降水趋势预报时, 利用这一关系, 我们估计于1991年5月形成的埃尔-尼诺将至少持续到92年夏季, 并对1992年夏季的雨带位置和旱涝分布有重要影响, 事实证明这种关系是确实存在的。

三、结论与讨论

本文的分析得到如下几点结论:

1. 本世纪以来太阳活动11年周期双周内埃尔-尼诺事件的生成频数偏多、单周内偏少, 单周和双周内埃尔-尼诺生成频数的平均值有显著的差异, 其可靠程度为95%。太阳活动周内埃尔-尼诺事件的生成频数在本世纪以来具有明显的交替增减特征, 即有明显的22年周期。

2. 埃尔-尼诺的形成在太阳活动单周和双周内的位置明显不同。在双周内埃尔-尼诺的形成主要集中在 $m-2 \rightarrow m+1$ 、 $M-2 \rightarrow M-1$ 、 $M+3 \rightarrow m-3$ 这三组位相; 而在单周内则主要集中在 $m+1 \rightarrow m+2$ 、 $M+1 \rightarrow M+2$ 这两组位相。另外, 无论在单周还是在双周, 太阳活动峰值年附近 ($M-2 \rightarrow M+2$ 位相) 生成的埃尔-尼诺都是持续性埃尔-尼诺, 据此, 我们对1991~1992年埃尔-尼诺过程的发展作出了正确的估计。

我们知道, 太阳黑子11年周期有一个奇特的现象是11年周期之间, 黑子磁场反转, 因此, 从磁极变化来看, 太阳黑子的周期应为两个11年, 即22~23年, 并称之为磁周期。22年周期除了在磁极上有明显反映外, 在黑子相对数的变化上也有明显表现, 即太阳黑子11年周期的峰值有交替增减现象。关于太阳活动22年周期与气候振动的联系从本世纪30年代起, 国内外学者做了大量分析研究^[9, 10], 证实了太阳活动的22年周期对气候振动的影响, 并进一步指出大气环流、大气活动中心位置的多年变化以及气候的22年振动是普遍存在的, 特别是西风环流指数, 无论冬季和夏季都表现得十分清楚。本文的初步分析表明发生在赤道东太平洋冷水区的埃尔-尼诺事件在太阳活动11年周期单周和双周内的频数及其位相也均有明显的22年振动, 但其联系机制以及埃尔-尼诺和大气环流及气候变化22年振动的联系有待深入进行研究。

参 考 文 献

- [1] 张家诚等, 气候变迁及其原因, 科学出版社, 1976.
- [2] 杨鉴初, 北太平洋水面温度对太阳活动的响应, 1975年.
长江流域水文气象预报讨论会技术交流论文集
- [3] 张先恭, 埃尔-尼诺与太阳活动的关系, 气象, 14卷2期, 1988.
- [4] 王绍武, 1860~1979年期间的埃尔-尼诺年, 科学通报, 第1期, 1986.
- [5] ENSO监测小组, 埃尔-尼诺事件的划分标准和指数, 气象, 第3期, 1989.
- [6] 王绍武、赵宗慈, 长期天气预报基础, 上海科学技术出版社, 1987.
- [7] 章基嘉、葛玲, 中长期天气预报基础, 气象出版社, 1983.
- [8] Schove, D.J., The sunspot cycle 649 B.C. to A.D. 2000, J. Geophys. Res., 60 (2), 127~146, 1955.
- [9] Willett, H.C., solar variability as a factor in the fluctuations of climate in geological time, Geografiska Ann., ARG., 31, 1949.
- [10] 王绍武, 大气环流振动的周期与太阳活动关系, 气象学若干问题进展, 科学出版社, 1983.

RELATIONSHIP BETWEEN EI NIÑO EVENTS AND 11-YEAR SOLAR CYCLE

Li Ziqiang Ma Shengchun

(Meteorological Bureau, Headquarters of the General staff, Beijing)

Abstract

It is shown by a preliminary analysis of the positive anomaly of appearance frequency of El Niño events occurred in the even numbered 11-year solar cycle and the negative anomaly in the odd numbered 11-year solar cycle since the beginning of the 20th century that the difference between the mean value of appearance frequency of El Niño events in the even numbered 11-year solar cycle and in the odd numbered 11-year solar cycle is very marked, and the appearance frequency of El Niño events in the 11-year solar cycle are characterized by positive and negative anomaly alternately. It is also found that the phases of the even and odd 11-year solar cycle in which the El Niño events occurred are quite different. In the even numbered 11-year solar cycle, most of El Niño events occurred in the phase of $m \rightarrow 2$ $\rightarrow m+1$, $M-2 \rightarrow M-1$ and $M+3 \rightarrow m-3$; while in the odd numbered 11-year solar cycle, most of El Niño events occurred in the phase of $m+1 \rightarrow m+2$ and $M+1 \rightarrow M+2$. In addition, The El Niño events occurred in the peak value phase of 11-year solar cycle are all the persistent El Niño events.

Key words: El Niño events, 11-year solar cycle, Relationship between El Niño events and 11-year solar cycle.