

东北地区生长季积温与 玉米产量的交叉谱分析

曹永华

(中国农业科学院农业气象室)

提 要

本文利用交叉谱分析方法,研究了东北地区5—9月积温与玉米气象产量序列周期振动间的相互关系,讨论了各序列的功率谱分布特征。结果表明,辽宁、吉林5—9月积温存在着3.33年的显著周期,黑龙江有2.5年周期。而玉米气象产量的显著周期,辽宁、吉林、黑龙江省分别为6.66、4.0、4.0年。

一、引言

20世纪70年代世界性的气候异常及其对世界粮食生产的巨大影响,曾引起了各国政府和科学工作者的关注。这种气候异常在我国东北地区的主要表现是夏季低温〔1〕。因此,我国科学工作者对东北地区的夏季低温所引起的作物冷害问题作了大量工作,并取得了一系列的成果〔2、3〕。但是,在上述研究成果中,交叉谱分析的应用尚不多见。因此,本文通过反映热量状况的生长季(5—9月)积温和主要作物玉米产量的交叉谱分析,以探讨两者时间演变的周期性及其相关性。

本文采用了东北三省63个站点1951—1980年历年5—9月积温和玉米产量资料。

二、基本原理和方法

所谓时间序列,就是以时间为自变量的离散数字化的有序数的集合。因此积温和玉米产量的时间变化曲线都可看作时间序列,而序列时间变化曲线可看成由多种不同频率振动的规则波叠加而成。在频率域上比较不同频率的波的方差贡献大小,就可分析出振动的主要频率或周期,这种从频率域上分析时间序列的方法,称为谱分析〔4、5〕。而交叉谱方法是研究两个不同序列的联合谱分析,这时的波谱是反映两个不同序列在频率域变

化上的相互关系。

1. 计算玉米气象产量

由于玉米产量是由趋势产量(品种、生产水平、栽培措施、社会因素)和气象产量所构成,因此在进行交叉谱分析之前必须先将玉米实际产量资料作预处理。即用正交多项式拟合求得趋势产量,然后从实际产量中减去趋势产量,获得玉米气象产量的时间序列(图1)。

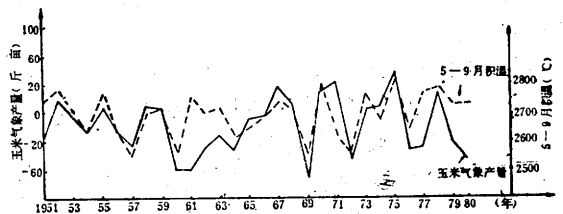


图1 黑龙江省5—9月积温和玉米气象产量时间变化曲线

2. 计算两时间序列的交叉谱

在本文的交叉谱分析中,着重考虑两序列的协谱(余谱)和凝聚谱(相关谱)的特征。同时还讨论了各序列功率谱的分布。经汉宁平滑公式处理后的协谱估计表达式为:

$$P_{xy}(l) = \frac{B_1}{m} \left\{ R_{xy}(0) + \frac{1}{2} \sum_{\tau=1}^{m-1} [R_{xy}(\tau) + R_{yx}(\tau)] \left(1 + \cos \frac{\pi\tau}{m} \right) \cos \frac{\pi\tau}{m} \right\} \quad (1)$$

三、结果与分析

$$\text{凝聚谱: } r_{xy}(l)^2 = \frac{P_{xy}(l)^2 + Q_{xy}(l)^2}{P_{xx}(l)P_{yy}(l)} \quad (2)$$

其中 $Q_{xy}(l)$ 是正交谱(求积谱),其表达式为:

$$Q_{xy}(l) = \frac{B_l}{m} \left\{ \sum_{\tau=1}^{m-1} \left[\frac{1}{2} \left(1 + \cos \frac{\pi\tau}{m} \right) \sin \frac{\pi l \tau}{m} \right] \times [R_{xy}(\tau) - R_{yx}(\tau)] \right\} \quad (3)$$

式中:角码 x, y 分别是5—9月积温和玉米气象产量标准化的时间序列, l 为波数($l=0, 1, \dots, m$), m 为最大落后时间长度, τ 为落后时间间隔长度($\tau=0, 1, \dots, m$), $\pi=3.1416$, B_l 为系数。

$$B_l = \begin{cases} 1 & (l=1, 2, \dots, m-1) \\ \frac{1}{2} & (l=0, m) \end{cases}$$

R_{xy} 、 R_{yx} 是互相关函数,其表达式为:

$$R_{xy}(\tau) = \frac{1}{n-\tau} \sum_{t=1}^{n-\tau} X(t)Y(t+\tau) \quad (4)$$

$$R_{yx}(\tau) = \frac{1}{n-\tau} \sum_{t=1}^{n-\tau} X(t+\tau)Y(t) \quad (5)$$

式中 n 为序列的总长度, $X(t)$ 、 $Y(t)$ 分别是5—9月积温序列和玉米气象序列 t 时刻的标准化值。当(4)式中的 $Y(t+\tau)=X(t+\tau)$ 和(5)式中的 $X(t+\tau)=Y(t+\tau)$ 时,则(4)式的 $R_{xy}(\tau)=R_{xx}(\tau)$, (5)式的 $R_{yx}(\tau)=R_{yy}(\tau)$ 。这里 $R_{xx}(\tau)$ 、 $R_{yy}(\tau)$ 分别是5—9月积温序列和玉米气象产量序列的自相关函数。将 $R_{xx}(\tau)$ 、 $R_{yy}(\tau)$ 分别代入(1)式,就相应地得到了5—9月积温功率谱 $P_{xx}(l)$ 和玉米气象产量的功率谱 $P_{yy}(l)$ 。

(3) 功率谱和凝聚谱的显著性检验

功率谱的显著性检验是判断某序列在某一波数上谱值是否显著。凝聚谱的显著性检验是判断两序列之间在某一波数 l 上振动关系是否显著,它们可通过有关检验公式[4]求得。

上述的资料处理和交叉谱估计的计算过程,是采用数据库形式与程序库中的有关程序相联结,在IBM-PC/XT微型机上实现的。

1.5—9月积温与玉米气象产量的周期变化

东北三省5—9月积温和玉米气象产量的功率谱如图2所示。通常最大落后时间 m 的适宜长度应取序列长度 n 的 $1/3-1/10$ 。本文取 m 的范围为4—10。

从最大落后时间长度 $m=10$ 看,5—9月积温功率谱分布情况:辽宁谱峰值位于20年、3.33年周期处;吉林位于10、3.33年周期处;黑龙江位于10、3.33、2.5年周期处。经白色噪音过程显著性检验,辽宁、吉林显著的周期在3.33年处,黑龙江在2.5年周期处,这表明东北三省5—9月积温的显著周期均位于短周期处。

同样地对玉米气象产量功率谱峰值所对

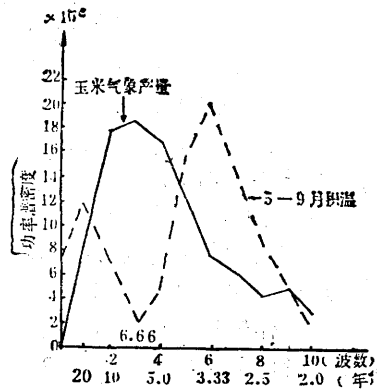


图2a 辽宁省5—9月积温和玉米气象产量功率谱估计($m=10$)

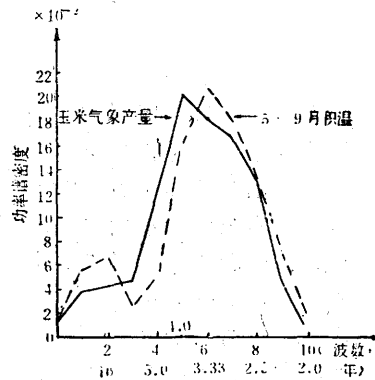


图2b 吉林省5—9月积温和玉米气象产量功率谱估计($m=10$)

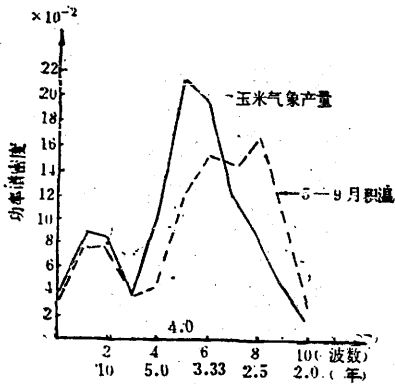


图 2c 黑龙江省5—9月积温和玉米气象产量功率谱估计(m=10)

应的周期进行白噪音过程显著性检验：辽宁的显著周期位于6.66年，吉林、黑龙江位于4.0年。将这两个序列的显著周期进行比较，发现5—9月积温的周期振动的时间间隔比玉米气象产量的周期振动的时间间隔要短。而

从地区之间比较得知，无论是5—9月积温还是玉米气象产量，其两序列周期振动的时间间隔都是辽宁比吉林，黑龙江长。

从图 2 可见，吉林、黑龙江5—9月积温与玉米气象产量的功率谱的峰值和谷值基本一致。该两省两序列间所反映的上述特征是否存在某种联系，还需从交叉谱分析中探讨。

由交叉谱中协谱值的分析，可知两序列谱在不同周期段上同向变化贡献的大小。从表 1 可见，吉林、黑龙江的协谱值大于辽宁，这也证实了图 2 中所反映的两序列间的地区特征。表 1 还表明了东北三省两序列谱同向变化成分的大值位于 4.0—2.85 年周期段(相当于 5—7 波数段)，辽宁、吉林的协谱峰值位于 3.33 年周期处，黑龙江位于 4 年周

表 1 东北三省5—9月积温与玉米气象产量的协谱值 (m=10)

波数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
周期	20	10	6.66	5	4	3.33	2.85	2.5	2.22	2
辽宁省	0.01236	-0.0277	-0.0259	0.0002	0.0424	0.0715	0.0416	0.0130	0.0067	0.0007
吉林省	-0.0001	0.0127	-0.0038	0.0290	0.1279	0.1664	0.1412	0.0941	0.0300	-0.0004
黑龙江省	-0.0146	-0.0183	-0.0086	0.0430	0.1319	0.1261	0.1007	0.1022	0.0532	0.0085

期处。

2. 5—9月积温与玉米气象产量周期振动间的相关性

如何确定两序列周期振动间的关系及其密切程度，只有求解凝聚谱才能作出回答。

图 3 给出了东北三省两序列的凝聚谱图(最大落后时间 m=10)。由图可见，凝聚谱值既随波数而变，亦随地区而异。经显著性检验，即使显著性水平 $\alpha=0.05$ ，辽宁各波数上的凝聚谱值均不显著(这意味着辽宁两序列之间的相关关系并不真正存在)，吉林凝聚谱显著值位于 4.0—2.5 年(5—8 波数)周期段，黑龙江位于 5.0—2.0 年周期段，较吉林宽，且各周期上的凝聚谱值也大于吉林。这表明黑龙江两序列间的相关程度更为

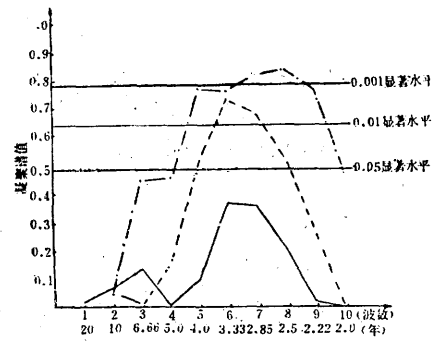


图 3 东北三省5—9月积温和玉米气象产量序列的凝聚谱值(m=10)
实线为辽宁、虚线为吉林、点划线为黑龙江

紧密。也就是说，黑龙江的玉米气象产量的周期振动，在很大程度上受5—9月积温的周期振动的制约。而且吉林、黑龙江两序列间

周期振动的关系是同向正相关(见表1)。

为了研究 m 对凝聚谱值的影响,我们列出了不同最大落后时间长度下($m=4, 7, 10$)的两序列间的凝聚谱峰值和对应的周期(表2)。由表2可见,最大落后时间长度不同,各峰值所对应的周期都较为稳定;辽宁凝聚

表2 在不同最大落后时间长度下的凝聚谱峰值和对应周期

最大落后 时间长度	辽宁省		吉林省		黑龙江省	
	凝聚谱	周期	凝聚谱	周期	凝聚谱	周期
$m=10$	0.3691	3.33	0.7322**	3.33	0.8302***	2.5
$m=7$	0.2855	2.80	0.6452***	2.80	0.7940***	2.33
$m=4$	0.1436	2.66	0.5363***	2.66	0.7190***	2.66

*: $\alpha=0.05$ 显著水平; **: $\alpha=0.01$ 显著水平;

***: $\alpha=0.001$ 显著水平

谱峰值均未通过显著性检验,黑龙江通过 $\alpha=0.001$ 显著性检验,其谱峰值都比吉林高;所对应的周期均比吉林短。上述结果反映了辽宁5—9月(生长季)热量条件优于吉林和黑龙江的事实。这与辽宁地区夏季低温冷害较轻,越往北,冷害越重的结论是一致的。

四、结论

1. 东北三省5—9月积温和玉米气象产量各自存在着显著的周期变化,辽宁、吉林5—9月积温有3.33年周期,黑龙江有2.5年

周期。玉米气象产量的周期,辽宁出现在6.66年,吉林、黑龙江则出现在4.0年。

2. 吉林、黑龙江5—9月积温和玉米气象产量的功率谱的峰值、谷值基本一致。两序列谱同向变化成分(协谱)的大值区位于4.0—2.85年周期段。

3. 东北5—9月积温周期振动与玉米气象产量的周期振动间存在着一定的关系,其凝聚谱值和所对应的周期都具有明显的地区性。黑龙江两序列间周期振动关系最密切,在最大落后时间长度 $m=10$ 时,凝聚谱峰值达0.8302,所对应的显著周期为2.5年。其次,是吉林,凝聚谱峰值为0.7332,对应的显著周期是3.33年。从20世纪70年代东北地区发生的夏季低温冷害来看,严重冷害的年份是1969、1972、1976、1979。大体上每隔3年左右的时间发生一次。这与上述交叉谱分析的周期相当一致。

参考文献

- [1] 丁士晟, 东北地区夏季低温的气候分析及其对农业生产影响, 气象学报, 1980年38卷3期。
- [2] 东北冷害科研协作组, 我国东北部延迟型冷害的地区分布规律, 中国农业科学, 1986年第2期。
- [3] 潘铁夫等, 吉林省低温冷害发生规律及其防御措施, 农业气象, 1980年第4期。
- [4] 黄嘉佑等, 气象中的谱分析, 气象出版社, 1984年。
- [5] 黄忠恕, 波谱分析方法及其在水文气象学中的应用, 气象出版社, 1983年。

A cross spectral analysis of accumulated temperature in the growth period and corn yield in Northeast China

Cao Yonghua

(Agrometeorological Institute, Chinese Academy of Agricultural Science)

Abstract

Based on a cross spectral analysis, the relationship between the periodic fluctuation of the accumulated temperature (ΣT) during May to Sept. and corn yield (Y) is obtained, and the distribution features of the power spectra are discussed. The results show that there is a 3.3-year period of ΣT fluctuation in Liaoning and Jilin Provinces, and a 2.5-year one in Heilongjiang Province, a 6.66-, 4.0- and 4.0-year one of Y fluctuation in Liaoning, Jilin and Heilongjiang Province respectively.