

# 北京地区“环流-降水-谷物”系统的短期振动研究<sup>\*</sup>

黄嘉佑 张 鐔

(北京大学地球物理系, 北京 100871)

颜明元

(北京农业科学研究所, 北京 100081)

## 提 要

文章用因子分析方法提取北京地区小麦气象产量主要特征及代表序列, 并对该序列和北京地面气象要素的关系用交叉谱进行研究. 发现它们在前期秋冬季中的 4—6 年的周期振荡(中心周期为 4.5 年)中有显著的相关. 当前期秋季和冬季的降水量和气温在振荡中处于正距平时, 当年的气象产量为丰年, 反之为欠年. 进一步对该序列与大气环流的静力和动力物理量之间关系研究发现它们在同样的周期振荡中有十分强烈的表现, 尤其表现在与动力物理量上. 研究结果进一步证实“环流-降水-谷物”系统的存在, 并揭示在短期气候振动(4—6 年)上的规律性.

**关键词:** 气象产量; 因子分析; 交叉谱; 短期气候振动.

## 1 前 言

随着地球增暖, 在全球范围内气象灾害出现愈加频繁, 它们给农业生产带来严重的影响. 因为粮食生产在很大程度上还依赖于自然条件, 如水分和温度等. 这些因素与气候有十分密切的关系. 气候变化通过“环流-降水-谷物”系统对粮食产量发生影响. 本文作者之一曾对这一系统进行过研究, 并发现该系统长期振动(60 年尺度)的规律性<sup>[1-3]</sup>. 但是, 这一系统的短期振动(例如数年尺度)规律性尚未作研究. 这种系统中各子系统之间关联性的研究除了包含它们周期性振动关系外还应包含同期和前期季节变化的关系分析, 因为粮食生长过程是跨季度的. 北京地处北方半干旱地带, 也是华北重要产粮区之一. 本文试图通过对北京地区冬小麦产量与气候变化关系来研究“环流-降水-谷物”系统短期振动(例如数年尺度)的规律性, 以便能对该地区数年尺度粮食产量形势有所估计.

1993 年 1 月 9 日收到, 3 月 29 日收到修改稿.

\* 由国家基础性研究重大关键项目(气候动力学和气候预测理论的研究)资助.

## 2 气象产量的主要变化特征

我们选取 1958—1987 年北京 12 个郊县(它们排列顺序依次为:延庆、昌平、怀柔、密云、平谷、顺义、门头沟、朝阳、通县、丰台、房山和大兴)小麦产量逐年变化序列,分别用二次多项式对各序列作拟合,拟合序列为趋势产量序列,将原序列减去趋势产量序列即得各县区气象产量序列并组成一资料阵,记为  $X(p \times n)$  ( $p=12$  为县区数,  $n=30$  为样本容量). 为提取北京气象产量变化的主要特性,对这一资料阵作主因子分析. 为消除各县区地理位置的差异,在分解前先对各站序列作标准化处理. 然后把标准化资料阵分解为

$$X = AF \quad (1)$$

式中  $F(m \times n)$  为组合因子矩阵,又称为公共因子矩阵,  $m$  为新因子数 ( $m < p$ ),  $n$  为样本容量,  $A(p \times m)$  为组合系数矩阵,亦称因子荷载阵. 它可以用因子分析方法<sup>[4]</sup> 求出.

不同的公共因子相互是正交的,它们的贡献大小可用它们在原变量场中的解释方差大小来衡量. 表 1 给出前 5 个公共因子的解释方差比较. 从表中可见第一主因子的解释方差高达 76%, 有最大的贡献,据 Liverzey 等人对各主因子统计显著性检验表明,第一和第二两个主因子是显著的,它们对应的特征值(见表 1)与相邻特征值之差大于特征值乘上比例因子  $\sqrt{(2/n)}=0.258$ .

表 1 公共因子的解释方差比较

公共因子	1	2	3	4	5
解释方差	0.757	0.087	0.042	0.035	0.027
特征值	9.084	1.048	0.501	0.420	0.320

表 2 第一公共因子与各县区气象产量的相关系数

区号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
相关系数	0.43	0.93	0.87	0.88	0.94	0.92	0.83	0.90	0.91	0.90	0.96	0.86

因子荷载场(图略)反映因子空间分布的共同特点,第一因子在各县区站的荷载均为正值. 说明所有站有一致的变化特性. 第二因子荷载场反映山区和半山区与平原的相反变化特点,即当山区气象产量增产时,平原地区产量则下降,反之亦然. 这一因子反映地形的影响. 但是,第一主因子有最大的显著性,而且我们侧重研究大范围环流对气象产量的影响而不必考虑局地地形的作用. 因此,我们把第一主因子作为北京气象产量的总代表和主要研究对象.

表 2 给出第一公共因子与原县区气象产量的相关系数. 从表中可见除与北部山区的延庆县外其余相关系数均达到 0.80 以上,与平原县区的相关系数可高达 0.90 以上. 说明它完全能代表北京绝大多数县区气象产量的变化. 图 1 给出这一主因子逐年变化情况. 从图中可见北京的欠收年(以因子值小于 -1.0 为标准)分别为 1968、1970、1971、1977、1980 和 1982 年,其中又以 1980 年最为

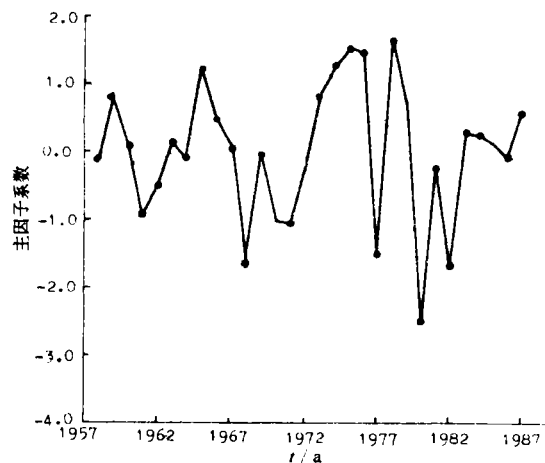


图 1 第一主因子逐年变化曲线

严重.事实上,这些年绝大部分与北京地区的早年相对应,例如1980年就是严重的早年.可见北京的小麦产量与气候变化有密切的关系.

### 3 地面气象要素的影响

众所周知,小麦的生长与水分和温度有密切关系.因此我们着重研究在小麦生长期降水量和温度与北京气象产量的关系.我们把前年秋季、冬季和当年春季的降水量和温度作为影响气象产量的主要气象要素,研究它们与产量第一主因子的关系.表3给出各季及三季平均降水量和温度与第一因子的相关系数.

从表3可见,秋冬季降水量和气温与气象产量关系表现为正相关,当降水量较多和气温较高时,小麦有较高的产量,春季则表现为相反变化的关系,但相关系数在三个季节中是最低的,是不显著的.在降水量中又以冬季降水量的关系较为密切.温度的影响主要表现在前年秋季.说明气象要素的影响,前期秋冬季是关键季节.无论气温还是降水量,三季平均序列与产量关系均为正相关,即总体而言,当小麦生长期同期气温降水量为正距平时产量亦为正距平.

表3 各季及三季平均降水量和温度  
与第一因子的相关系数

季节	秋	冬	春	平均
降水量	0.24	0.26	-0.12	0.15
温度	0.37	0.35	-0.10	0.29

为了研究气象产量与降水量的短期振荡关系,我们对不同季节的两个序列作交叉谱分析<sup>[5]</sup>,取最大落后长度为9年.图2给出秋、冬和春季的降水与产量的凝聚谱比较.从图2中可见,秋季在波数为5(即4.5

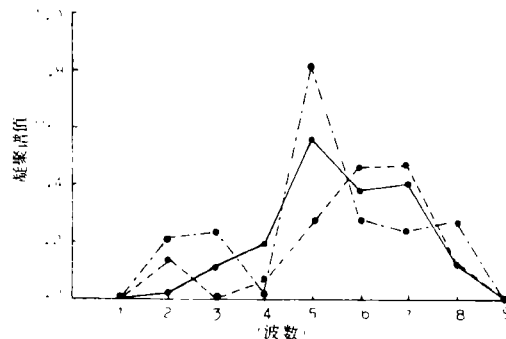


图2 秋、冬和春季降水与产量凝聚谱  
(秋季——,冬季-----,春季-·-)

年周期)的振荡中降水量与产量有较高的凝聚,其凝聚值已超过5%的显著水平(在 $n=30$ 时,临界凝聚值为0.39).冬季高凝聚出现在波数为7(即3.0年周期)的振荡中.春季则有最高的凝聚值(0.82)出现在波数为5(即4.5年周期)的振荡中.表明它们最好的振荡关系大约在3—5年的振荡上,其中最强的表现是在4.5年周期振荡上.事实上对降水量与产量三季平均序列分析表明,最高凝聚(0.72)是出现在4.5年周期上.为了说明它们在短期振荡上的关系,我们用Butterworth函数带通滤波器<sup>[6]</sup>对各季及三季平均的降水量序列作带通过滤,中心周期为4.5年(响应功率为1.0),带通周期范围为4.0—5.6年(响应功率分别为0.5).各季及三季平均降水量和产量过滤后序列相关系数分别为0.58、0.40、0.46及0.66.值得注意的是过滤后各季降水量与产量关系发生某些改变,其改变特点有三:其一相关系数较过滤前普遍有所提高,相关系数均超过5%显著水平,表明它们的相关关系是存在的;其二各季关系均为正相关,表明各季降水量对产量有正影响;其三各季的关系重要性有所改变,原来春季的负相关改变为正相关.在各季中秋季过滤后的降水量与产量关系在三季中最为密切,三季的综合影响更为显著.图3给出秋、冬和春季三季平

均降水量和产量过滤后的标准化序列的变化曲线. 从图可见它们的逐年变化关系是十分相似的. 过滤后两序列相关系数提高到 0.66.

从各季气温与产量的交叉谱分析中也发现在 4.5 年周期上出现较高的凝聚值. 由此可见, 产量与地面气象要素在 4.5 年周期振荡上是存在十分密切关系的. 同样我们对各季及三季平均气温和产量过滤后(以 4.5 年周期为中心的带通滤波)的序列, 分别计算其相关系数, 它们分别为 0.25、0.61、0.06 及 0.27.

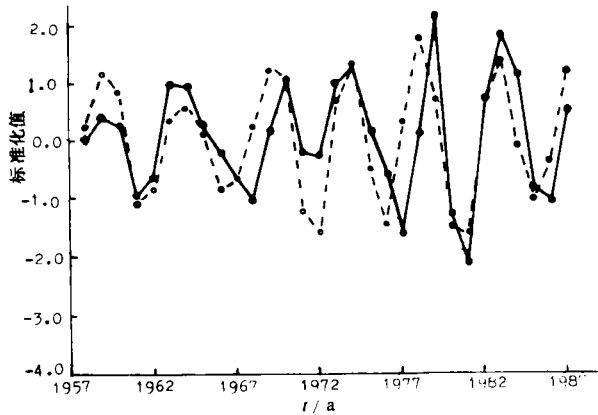


图 3 秋、冬和春季三季平均降水量(虚线)和产量(实线)过滤后序列的变化曲线

以上分析说明短期气候振荡, 特别是 4—5 年周期对北京地区小麦产量是有影响的. 在季节上主要表现在前期的秋冬季节.

#### 4 天气系统的影响

西太平洋副热带高压是影响我国降水天气的重要天气系统, 我们选取描述副高的 4 个指数, 即副高北界(FGBJ)、副高面积(FGMJ)、副高强度(FGQD)和副高西伸脊点(XSJD), 计算秋、冬和春季对应序列与产量的凝聚谱, 结果发现它们在 4.5 年周期振荡上也有高凝聚出现(见表 4).

在短期气候振荡(4.5 年周期上)与产量的关系中, 三季平均表现最强的是西伸脊点, 其次是副高面积和副高强度, 说明大型天气系统是北京地区气象产量年变化的主要因子之一.

表 4 各季及三季平均副高指数与产量在 4.5 年周期振荡上的凝聚值

季节	FGQD	FGMJ	XSJD	FGBJ
秋	0.41	0.56	0.38	0.18
冬	0.49	0.51	0.61	0.32
春	0.28	0.25	0.34	0.04
平均	0.43	0.44	0.58	0.17

## 5 大气环流的影响

以上研究表明前期秋冬季的气象要素和大型天气系统均与气象产量有显著关系. 进一步研究这两个季节的大气环流对产量的影响是十分必要的. 表征大气环流活动的物理量有很多, 我们选取大气中层北半球 500hPa 的高度场作为大气环流静力因素代表, 同一层上的纬向风速、经向风速、动能和涡度作为动力因素代表. 分别计算各季气象物理量场中各网格点序列与气象产量代表序列之间相关系数, 并形成相关场. 在相关场中分析显著相关区(即网格点变量的相关系数绝对值大于 0.36 所包围的区域). 但是相关场的显著性还需作进一步的检验. 对  $10 \times 10$  经纬度格距的北半球物理量场, 若显著相关的网格点数与总网格点数之比值超过 7% 时可认为该相关场是显著的<sup>[7]</sup>. 表 5 给出不同物理量与产量相关场中显著相关的网格点数与总网格点数之比值(见表 5 中“过滤前”一行).

从表 5 中可见, 秋季大气环流与产量有较大的相关, 比较来说静力物理量即高度场上有较大面积的显著相关区, 最主要的相关区为负相关, 出现在  $60^{\circ}-70^{\circ}\text{N}, 50^{\circ}-110^{\circ}\text{E}$  之间的区域. 该地为乌拉尔山气候脊的地区. 当秋季该地高度有正异常出现时有利于极地冷空气南下, 使得北京地区气温偏低, 降水量偏少, 使来年小麦欠收. 反之亦然. 对所有作上述以 4.5 年为中心的带通过滤后求得各物理量相关场的情况列在表 5 中过滤后一行. 从中可见它们的显著相关区面积发生很大的变化. 表现更为突出的变化出现在动力物理量场上. 原来不十分强的关系变化为有显著的相关关系. 风速、动能和涡度等动力物理量相关场的显著相关区与总面积的比例由原来 2%—8% 提高至 19%—33%. 说明大气环流的动力物理量与北京产量在 4—6 年周期振荡存在密切关系.

表 5 物理量与产量相关场中显著相关的网格点数与总网格点数之比值

物理量 季节	高 度		纬 向 风		经 向 风		涡 度		动 能	
	秋	冬	秋	冬	秋	冬	秋	冬	秋	冬
过滤前(%)	11	2	8	2	8	2	6	2	6	3
过滤后(%)	0	10	19	31	29	31	27	28	21	33

图 4 显示冬季过滤后的动能场的相关区分布情况. 从图中可见, 范围最大的显著相关区分布于东亚到太平洋广大的中高纬地带( $45^{\circ}-75^{\circ}\text{N}, 65^{\circ}\text{E}-175^{\circ}\text{W}$ ), 在其范围中最高相关系数值为 0.71(处于  $55^{\circ}\text{N}, 105^{\circ}\text{E}$ , 约在贝加尔湖附近). 众所周知, 该地区是冬季西伯利亚高压经常活动的地区, 也是高空东亚大槽的气候位置. 可见冬季冷空气活动强弱是北京地区产量丰欠的主要因素之一. 第二个重要相关区是在  $175^{\circ}-95^{\circ}\text{W}, 45^{\circ}-75^{\circ}\text{N}$  高纬度地区, 它是一负相关区. 在此区域内负值最大的相关系数为 -0.63, 位于  $65^{\circ}\text{N}, 135^{\circ}\text{W}$ , 处于北美西北部阿留申高压东部, 也是气候高空脊区的位置. 第三个重要相关区是正相关区. 处于大西洋副热带高压带之中, 最高相关系数为 0.59, 位于  $35^{\circ}\text{N}, 25^{\circ}\text{W}$  附近. 说明阿留申低压和北大西洋副高也有一定的影响.

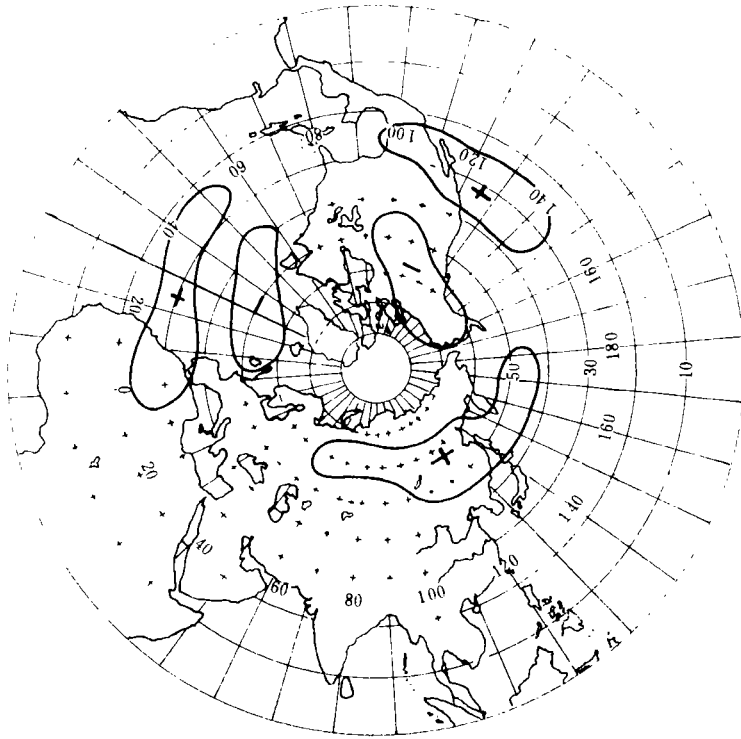


图4 冬季过滤后的动能与产量的相关场中显著相关区的分布

## 6 结论与讨论

本文用因子分析方法提取北京地区冬小麦气象产量的主要特征及代表序列,并对该序列和北京地区地面气象要素的关系用交叉谱进行研究.发现它们在前期秋冬季中的4—6年的周期振荡(中心周期为4.5年)中有显著的相关.当前期秋季和冬季的降水量和气温在振荡中处于正距平时,当年的气象产量为丰年,反之为欠年.进一步对该序列与大气环流的静力和动力物理量之间关系的研究,发现它们在同样的周期振荡中有十分强烈的表现,尤其表现在与动力物理量上.

本文的研究结果进一步证实“环流-降水-谷物”系统的存在,并揭示了其在短期气候振动(4—6年)上的规律性.尽管北京是华北的局部地区,但是无论从小麦产量上还是在气象要素上在华北地区中均有一定的代表性.因此这一规律性的揭示将给华北地区小麦产量趋势的短期预测提供了一定的依据.

事实上,海气相互作用过程中的 ENSO 现象其循环周期正变化在2—7年之间.因此“环流-降水-谷物”系统在这4—6年的频带上的振荡有可能与这种海气相互作用过程有关.当然有关这方面的机制原因还有待进一步研究.

## 参考文献

- 1 汪铎,张镔.我国北方和西南一些地区谷物天气产量变化与大型环流长期振动分析.气象学报,1983,41:410—470.
- 2 汪铎,张镔.我国“环流-天气气候-谷物天气产量”体系的长期振动.大气科学,1986,10:318—326.
- 3 汪铎,张镔.“环流-天气气候-农业年景”系统模式探讨.大气科学,1989,13:178—183.
- 4 黄嘉佑.气象统计分析与预报方法.北京:气象出版社,1990.p387.
- 5 黄嘉佑,李黄.气象中的谱分析.北京:气象出版社,1984.p318.
- 6 Anderson J. R. and Stevens D. E. Temporal variations of the tropical 40—50 day oscillation. *Mon. Wea. Rev.*, 1984,112:2431—2438.
- 7 黄嘉佑.气象要素场的显著性检验.气象,1989,15(4):3—8.

## A STUDY ON SHORT CLIMATE FLUCTUATION FOR “CIRCULATION-PRECIPITATION-CROP” IN BEIJING

Huang Jiayou Zhang Tan

(*Department of Geophysics, Peking University, Beijing 100871*)

Yan Mingyuan

(*Beijing Institute of Agricultural Sciences, Beijing 100081*)

### Abstract

In the paper, the main characteristics and representative sequence of the meteorological wheat production for winter in Beijing are extracted by using factor analysis. The cross spectra between the sequence and surface meteorological elements are studied. The results show that the significant correlation exists in the periodic fluctuation of 4—6 years (central at 4.5 years) in autumn and winter before current year. When the precipitation and temperature are positive departures in autumn and winter in a year, the wheat production in the periodic component will be rich the next year, and lean year adversely. Furthermore, the relationships between the meteorological production and synoptic system or static and dynamic physical factors at 500 hPa are analyzed. The results show that there is strong representation in the fluctuation at the same periodicity, especially in the dynamic elements. They prove the existence of “circulation-precipitation-crop” and reveal the regularity of its pattern at short climate fluctuation.

**Key words:** Meteorological wheat production; Factor analysis; Cross spectrum; Short climate fluctuation.