

# “环流-天气气候-农业年景”系统模式探讨

汪 铎 张 鐔\*

(大气数值模拟开放研究实验室)

## 提 要

本文从综合评述近几年国内外在“作物产量·天气气候·环流”方面所做的研究工作出发,针对用气象学方法预报农业产量中存在的一些问题,提出了“环流·天气气候·农业年景”系统模式,分析了系统模式几类尺度和模式的因子,讨论了系统模式的应用价值以及有待澄清的一些现象和问题。

## 一、引 言

70年代末80年代初随着农业气象预报的深入开拓,大气科学进一步分支,开始注意大气环流、天气气候、农业收成三者的关联,把它们看成一个系统来研究(以下简称CWH系统)。L. T. Steyaert (1978)曾提出一个基本设想<sup>[1]</sup>:大气环流的大尺度形势,如高空长波槽脊、半永久性气压中心、阻塞形势等,决定了大范围粮食作物产区的月气候类型。运用“EOF”分析,他发现加拿大与美国南部构成的南北气压差同美国大平原小麦所需要的降水量呈正相关(序列长度76年),由此建立了气压·小麦产量模式。A. Mostek (1981)研究了美国玉米产量与行星波支配下大尺度天气系统变化的关系<sup>[2]</sup>。近几年我国这方面的研究也相当活跃。汪铎(1981)运用天气学方法分析了太湖平原粮食作物丰歉两类年型的天气和环流特征差异<sup>[3]</sup>,随后初步给出了长江下游粮作年景预报的环流模式<sup>[4]</sup>。吉书琴(1982)提出了东北水稻产量的天气模式<sup>[5]</sup>。赵四强(1983)分析了欧亚高空环流和北太平洋海温与我国粮食产量的关系<sup>[6]</sup>,指出丰年(歉年)对应欧亚环流高指数(低指数)。蓝鸿第(1984)提出埃尔尼诺年我国东北粮作和日本水稻年景偏差<sup>[7]</sup>。最近, P. Handler (1984)运用115年长序列资料研究了美国玉米产量与赤道太平洋海面温度(SST)异常的相关<sup>[8]</sup>。汪铎和张鐔运用海平面气压场长序列资料(1871—1980)配合降水、温度和谷物产量资料,对我国东部主要产粮区的CWH系统初步做了系列分析<sup>[9-14], 1)</sup>,其中讨论了不同区域和不同时间尺度的CWH系统模式问题。然而这方面工作还不成熟,有不少环节和问题有必要提出来专门讨论和澄清。

## 二、关于系统模式分析

### (一) 农业产量时间序列的成分分析

某季作物的最终产量( $Y$ )从时间序列上看,可以认为是平稳变化项( $\bar{Y}$ )和显著波动

1986年9月29收到,1987年2月20日收到修改稿。

\*汪铎,浙江师范大学地理系;张鐔,北京大学地球物理系。

1)“作物年景的天气类型模式分析”(尚未发表)。

项( $\Delta Y$ )的合成(参看图1),即

$$Y = \bar{Y} + \Delta Y. \quad (1)$$

(1) 平稳变化项主要由三部分组成:

$$\bar{Y} = y_0 + y_t + y_c, \quad (2)$$

式中

$$y_t = \int_{t_0}^{t'} (\partial y_0 / \partial t) dt, \quad y_c = \partial y_0 / \partial C.$$

$y_0$  是初始值和边界值,它代表一个时期内该季作物生长季节中气候·土壤环境和农业结构这一系统处在平均状态下序列起点的产量水平。 $y_t$  是产量序列的趋势项,反映了随时间推移生产水平演变(如品种、栽培等农技因素的变革)对产量的影响,一般可采用产量趋势曲线的分段拟合来描述这一项<sup>[15]</sup>。 $y_c$  是气候因子( $C$ )发生变迁时引起农作物产量发生的长期效应,例如历史上大规模低频尺度(上百年至几百年)的冷暖、干湿变异,造成大范围农业产量在前后两个时期出现不同的水平,在几年或十几年较短时间内,可以看成  $y_c \rightarrow 0$ 。

(2) 显著波动项  $\Delta Y$  是产量对平稳项的逐年离差<sup>[16]</sup>,被认为由  $y_w$  和  $y_r$  两项组成:

$$\Delta Y = y_w + y_r. \quad (3)$$

$y_w$  通常称为天气产量或气象产量<sup>[17]</sup>,主要反映作物生长关键季节受异常天气影响(特别是各类农业气象灾害)引起的产量变化,时间尺度从几年至几十年。 $y_r$  是随机项,一般指非天气气候因子产生的噪声干扰。在天气正常,无灾害事件发生时,  $y_w \rightarrow 0$ ; 如果又忽略  $y_r$  时,则  $\Delta Y \rightarrow 0, Y = \bar{Y}$ 。

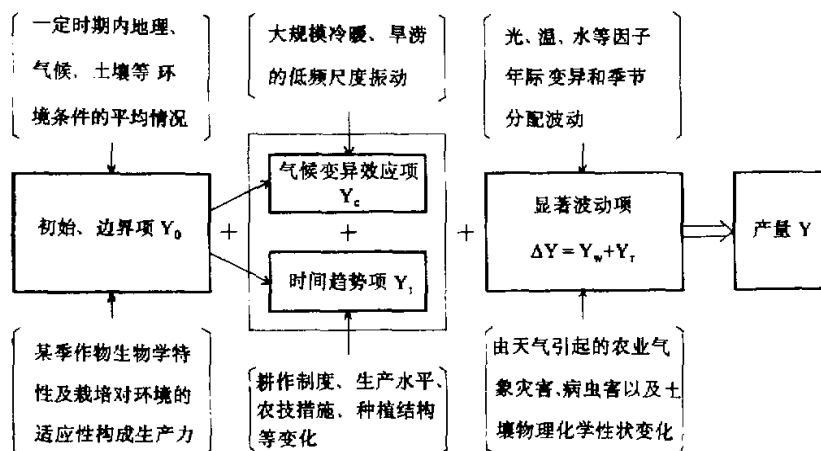


图1 农作物产量时间序列分析框图

又将  $y_w$  表达成

$$y_w = \sum_{i=1}^n (\partial \bar{Y} / \partial x_i) + \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \partial (\partial \bar{Y} / \partial x_i) / \partial x_j \quad (4)$$

$x_i$  是关键季节气象因子( $i=1, 2, \dots, n$ ),  $x_j$  是前期气象因子( $j=1, 2, \dots, m$ )。(4)

式右边第 2 项描述了前后期重要天气配置关系对产量可能产生的综合影响,在产量预报模式中常见到用组合因子来预测这一项的作用。作者曾经做过一些统计度验分析<sup>[18]</sup>,表明一些组合因子比单个因子的贡献大。

由于(4)式比较复杂,在尚未弄清其中微观细节前,不易直接求解。目前常用(1)式反推算历史产量波动序列,即  $\Delta Y = Y - \bar{Y}$ 。例如采用傅氏级数将产量序列分离为高、低频波动的方法<sup>[19]</sup>,可以滤去某一产量序列中的平稳变化项(看作以低频波成分为主),突出了显著波动项(看作以高频波成分为主)。但是不论运用哪一类统计方法,在处理上目前都还存在一些问题,实际产量又比较复杂。因此,把定量的产量波动变换为年景定性描述就比较容易接受,而且可以基本满足预测应用的需要。

## (二) 系统模式尺度系列

### 1. 低频模式

CWH 系统的低频模式中,对象的时间尺度是指较长一段时期(一般在 10 年以上),空间尺度上大范围农业气候区同大型环流相适应。文献[12]初步提出,我国 CWH 系统低频振动主要有 20—30 年、30—40 年、60—70 年等周期,呈带状自东南沿海向西北排列。低频模式运用了海平面气压场资料和地面气象资料的序列比较长的优越性,在一定程度上弥补了农作物产量资料序列较短的问题。近年来,在国内已注意到解决产量资料序列的长度问题。龚高法等(1983)运用史料记载评定了北京冬小麦收成 8 个等级的 234 年长序列<sup>[20]</sup>,并用来分析冬小麦产量与降水量的关系。笔者最近采用生长季水热因子模拟了长江三角洲水稻 5 级年景的近百年序列<sup>[21]</sup>,用来进一步分析了那里的 CWH 系统低频振动图象。如图 2,水稻年景、6—9 月雨水、7 月气温和 1 月 SNO 气压系统,这 4 条曲线的低频振动有一定的对应关系。由此可见,运用低频模式可以对(3)式中  $Y_t$  项作出有物理意义的判断。

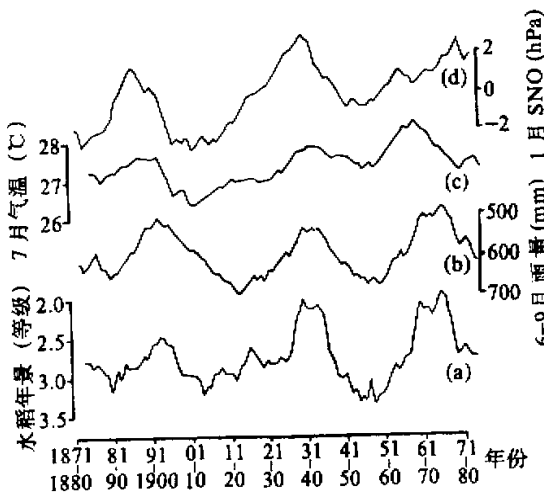


图 2 近百年长江三角洲 CWH 系统低频振动图象

此外, CWH 系统还可能更大尺度的甚低频振动,因受资料限制尚未系统地开发。竺可桢先生在物候-气候变化方面的研究是一开创,国外也有推演历史时期环流的某些研究。

### 2. 年景模式

CWH 系统的年景模式以作物年景为对象,主要分析年际振动图象。相对于低频振动而言,年景波动反映了一类高频波。以往研究指出<sup>[19,22]</sup>,环流、天气(降水和温度)、作物年景三者分别都表现有 2—3 年的短周期振动。但是,从三者相互配置来看,这

类振动是比较复杂的,主要是环流的短周期振动与天气·年景的短周期振动两者的关联表现出一种阶段性更替,即在一些阶段两者成正相关;另一些阶段两者成负相关。表1和表2分析的实例表明,高空环流或气压环流与年景的相关都有这类情况。

表1 1873—1976年间 1月 SNO 气压系统与长江三角洲水稻年景分阶段相关情况

| 阶 段     | 1873—1899年 | 1900—1941年 | 1942—1976年 |
|---------|------------|------------|------------|
| 正相关事件个数 | 3          | 12         | 2          |
| 负相关事件个数 | 5          | 3          | 7          |
| 符号优势    | (—)        | +(正相关)     | -(负相关)     |

表2 以500 hPa环流特征量为因子预报长江三角洲丰歉年景的效果分阶段分析

| 阶 段                                                                                                 | 50年代和80年代初前后    | 60年代和70年代前后      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|------------------|
| 因子A:4月副高西伸脊点经度<br>(稳定在 $105^{\circ}\text{E} \pm 5^{\circ}$ 报丰年,<br>明显偏离 $105^{\circ}\text{E}$ 的报歉年) | 报对占<br>优势 (8:1) | 报错占<br>优势 (1:7)  |
| 因子B:5月亚洲西风指数<br>( $\geq 1.2$ 报丰年, $<1.2$ 报歉年)                                                       | 报错占<br>优势 (2:5) | 报对占<br>优势 (12:1) |
| 因子C:11—6月北极涛强度距平<br>累计( $\geq 0$ 报丰年, $<0$ 报歉年)                                                     | 报对占<br>优势 (9:2) | 报错占<br>优势 (0:8)  |

注:表中括号内比例数指报对与报错之比。

因此,年景模式与低频振动有联系,在较长序列基础上弄清楚低频振动的图象和模式后,才有可能按不同阶段分析清楚CWH系统的短周期振动图象,这时取得的年景模式比较稳定可靠,有预报价值。

### 3. 季节模式

通常指与作物生长季节的尺度(如季度、月的过程)相应的CWH系统为季节模式,它描述了CWH系统的高频波成分。众所周知,作物产量形成的关键季节的异常天气对产量波动有重要贡献;这种异常天气类型与同期的大型环流形势有密切关联;而前后期的大型环流形势之间又有着某种关联。作者初步分析过大型环流的季节振动现象<sup>[23]</sup>,表3是长江下游早稻和晚稻生长季节前后期环流的相关分析。可见,由前期环流找出具有预报信息的因子,对于产量预报中应用季节模式是一个重要环节。

上述几类尺度往往在年、季和月的平均情况的演变中反映出来,实际上还存在更小尺度的宏观系统作用,例如江南晚稻齐穗期发生的秋季低温危害(冷湿型)可以在几天过

表3 长江下游双季稻生长季节前后期高空500 hPa环流特征量相关分析

| 对 象      | 亚洲西风指数( $\Delta I\%$ ) |                              | 西太平洋副高西伸脊点距平 |         |                               |                              | 西太平洋副高面积指数距平                 |          |                              |  |
|----------|------------------------|------------------------------|--------------|---------|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|----------|------------------------------|--|
|          | 1月                     | 3月 10月                       | 1月           | 1月      | 3月 7月                         | 5月 10月                       | 5月 7月                        | 3月       | 5月 10月                       |  |
|          | 与<br>7月                | $\Sigma$ 与 $\Sigma$<br>2月 9月 | 与<br>4月      | 与<br>6月 | $\Sigma$ 与 $\Sigma$<br>10月 6月 | $\Sigma$ 与 $\Sigma$<br>1月 6月 | $\Sigma$ 与 $\Sigma$<br>3月 5月 | 与<br>9月  | $\Sigma$ 与 $\Sigma$<br>1月 6月 |  |
| 相关<br>系数 | -0.3659*               | 0.3274*                      | 0.3624*      | 0.4263* | 0.4004*                       | 0.5611**                     | 0.6009**                     | 0.5386** | 0.7065**                     |  |

\*表示显著性水平为0.05; \*\*表示显著性水平为0.01

程中对产量发生明显影响<sup>[24]</sup>；西南季风盛行期梅雨显著时段会对早稻的子粒结构产生不利影响<sup>[25]</sup>；早稻灌浆期由副高环流造成的连续高温危害等，都是这一类尺度：5—15天左右。这类尺度的天气类型特点表现为引起严重的农业气象灾害。有关这方面的 CWH 系统模式研究还不多。

### (三) 系统模式的因子

#### 1. 因子的时空尺度

模式因子的时空尺度宜同系统模式的时空尺度相匹配。如低频模式中的因子应在较大空间上选择，其中作物产区和天气类型可同大范围农业气候区相比拟；环流因子一般采用北半球极涡、中高纬西风环流、副热带高压带等半球尺度的环流系统。年景模式中的环流因子尺度略小些，如西太平洋副高、蒙古冷高压等，作物产区的范围也相应小一些，如一省或数省相邻地区。季节模式中因子的尺度需要研究，初步看法是作物产区不小于一省内的气候分区；天气和环流不小于大尺度系统。

#### 2. 因子的组合

对我国东部广大农业区发生影响的天气气候一般采用降雨量和温度来表征。在考虑单项因子的作用和贡献时，也注意到了两个以上因子组合后产生的综合效果，这样可能更接近实际情况。因为天气影响作物产量是在多因子（包括同期因子和前后期因子）的综合作用下形成的。例如秋季低温危害是在低温和阴雨共同作用下产生的；其危害程度还同前期天气或后期温度有着密切关系。另外，环流因子的组合也开始受到注意，如南方涛动（SO）、南北涛动（SNO）、加拿大与美国南部的气压差等大型环流系统的研究和应用。

CWH 系统提出的因子组合不是简单的叠加，采用的方法和形式都需要研究。如运用经验正交函数（EOF）可以分析组合后新因子的贡献和主要成分<sup>[26]</sup>，主分量本身就可以看作组合因子，分析它同产量的相关性<sup>[2]</sup>。此外，分析发现组合的大型环流系统不是固定不变的。表 4 给出了部分环流系统随季节和影响地区不同，它们的振动周期和组合因子成分发生变动的情况。因子组合的方式和含义都值得进一步探讨。

表 4 大型环流系统的时空变动实例分析

|    | SNO 气压系统   |                    |             | SO 气压系统       |                       |       |
|----|------------|--------------------|-------------|---------------|-----------------------|-------|
|    | 低频振动<br>周期 | 组合因子(区域<br>气压场)    | 影响地区        | 低频振动<br>周期(a) | 组合因子(区域<br>气压场)       | 影响地区  |
| 1月 | 30—40      | 亚欧大陆中高纬<br>与澳洲北部   | 长江中下游       |               |                       |       |
| 4月 | 60—70      | 亚欧大陆中高纬<br>与南印度洋低纬 | 我国华北<br>和西南 | 20—30         | 中太平洋赤道附近<br>地区与澳洲附近地区 | 我国华南  |
| 7月 |            |                    |             | 30—40         | 北太平洋中部地<br>区与澳洲北部     | 长江中下游 |

### 三、研究系统模式的意义

#### (一) CWH 系统分析提出一些新情况

系统模式提出各类尺度的振动应分别处理和分析，然后配合使用。针对样本序列不足

引起长期预报模式不稳定的情况,提出应分阶段建立预报模式,可望获得较好效果。在系统分析的基础上研制几类尺度配套的、不同阶段的预报模式系列方案,从而对作物产量的低频波成分和高频波成分做综合预报,可以适应国民经济各部门的需要。

### (二) 系统模式在农业产量预报中应用

在粮食作物产量或年景预报的气象学方法中,系统模式提供了定性或半定量的趋势性背景分析,并且为制作预报模式提供了有价值的预报因子或信息,其中不少是有物理意义和生物意义的。另外,在经济作物预测方面国内外也开展了应用研究。M. D. Dennett 运用主分量分析给出了欧洲烟草和甜菜的产量-天气类型模式<sup>[2]</sup>,我国在预测毛竹出笋年型<sup>[28]</sup>、春桑叶产量预报<sup>[29]</sup>、麻作年景模式<sup>[30]</sup>、蔬菜缺菜等级预报<sup>[31]</sup>、柑橘年景分析<sup>[32]</sup>等工作中都在不同程度上反映了系统模式的分析方法,这些方面都有待进一步系统分析、深入研究。

### (三) 系统模式中的大型环流研究

日常气象业务和研究中的中长期预报是围绕常规问题分析环流形势,CWH 系统涉及的范围较广泛,在时间尺度和空间尺度上不受常规业务限制,这样,就有可能发现大型环流的一些新问题,提出一些新课题。譬如,设想运用史料中定情和农业收成的记载,通过 CWH 系统模式系列,可能模拟历史时期气候和环流的某些演变趋势,又如大型环流的组合系统(涛动)的提出和研究。

## 四、有待澄清的几个问题

(1) 系统模式着眼在宏观上处理分析,其中低频模式起到滤波作用,突出模式主导因子的持续性贡献,年景模式也起到某种程度的滤波效果,把降水、温度等因子同作物收成综合反映为年景,于是高频波作为低频波处理。季节模式描述了 CWH 系统的高频成分,是宏观同微观之间沟通的环节,目前,这几类尺度模式之间的联结尚不清楚,在某些环节上几类模式的图象会有不一致的现象。

(2) 已有的分析中,前期大型环流是同后期作物年景对应的,如 1 月、4 月 SNO 系统分别对应春、夏两季作物年景,10 月环流系统对应越冬作物年景,但是前后期环流和天气的关联及演变过程还不十分清楚。

(3) 如表 1、2 中列举的阶段性相反变化关系这类现象如何解释? 怎样处理一些具体细节,譬如最近的阶段性转向的确定,都还有待深入分析。

(4) 大型环流近百年长趋势变化在本世纪 30 年代出现的一次转折(由一个水平转为另一个水平),认为是 80—100 年周期低频振动的反映,这一点还需进一步研究论证。80 年代前后是否有迹象表明发生着另一次转折? 值得注意。

(5) 时间尺度更长的甚低频振动也需要开拓研究,例如 12 世纪至 14 世纪这类世界性寒冷期是否会导致广大地区农作物同步低产的问题,也希望通过 CWH 系统模式予以探讨澄清。

## 参 考 文 献

- [1] Steyaert, L. T. et al., 1978, *Agric. Meteorol.*, Vol. 19, 23—34.
- [2] Mostek, A. et al., 1981, *Agric. Meteorol.*, Vol. 25, 111—124.

- [ 3 ] 汪铎, 1981, 气象学报, 39 卷3 期, 349 — 360.
- [ 4 ] 汪铎、黄露璇、张铎, 1982, 气象, 4 期, 18 — 19.
- [ 5 ] 吉书琴, 1982, 气象, 10 期, 29 — 31.
- [ 6 ] 赵四强, 1983, 农业气象, 4 卷3 期, 1 — 5.
- [ 7 ] 蓝鸿第, 1984, 农业气象, 5 卷4 期, 31 — 35.
- [ 8 ] Handler, P., 1984, *Agric. For. Meteorol.*, Vol. 31, 25 — 32.
- [ 9 ] 汪铎、张铎, 1984, 气象学报, 42 卷1 期, 99 — 109.
- [ 10 ] 汪铎、张铎, 1983, 气象学报, 41 卷4 期, 460 — 471.
- [ 11 ] 汪铎、张铎, 1984, 热带气象, 创刊号, 47 — 57.
- [ 12 ] 汪铎、张铎, 1986, 大气科学, 10 卷3 期, 318 — 326.
- [ 13 ] 汪铎、张铎, 1985, 气象, 11 卷8 期, 22 — 25.
- [ 14 ] 汪铎、张铎, 1988, 大气科学, 12 卷2 期, 208 — 215.
- [ 15 ] 汪铎, 1982, 农业气象科学, 2 卷2 期, 30 — 35.
- [ 16 ] 王书裕, 1984, 气象学报, 42 卷3 期, 349 — 355.
- [ 17 ] 王馥棠, 1981, 农业气象科学, 第1 期, 6 — 9.
- [ 18 ] 汪铎、俞善贤, 1985, 浙江师范大学学报(自然科学版), 2 期, 72 — 77.
- [ 19 ] 吴元中, 1982, 农业气象, 3 卷2 期, 61 — 64.
- [ 20 ] 莫高法、张瑾璐、张丕远, 气象学报, 41 卷4 期, 444 — 451.
- [ 21 ] Wang Duo and Zhang Tan, 1987, *Agric. for. Meteorol.*, Vol. 39, 193 — 203.
- [ 22 ] 王馥棠, 1981, 气象学报, 39 卷3 期, 341 — 348.
- [ 23 ] 汪铎、张铎, 1984, 气象, 11 期, 10 — 13.
- [ 24 ] 汪铎、许宏根, 1983, 农业气象预报文集, 气象出版社, 44 — 48.
- [ 25 ] 汪铎、于中一、张铎, 1986, 浙江师范大学学报(自然科学版), 1 期, 104 — 109.
- [ 26 ] 汪铎, 1985, 农业气象, 6 卷4 期, 45 — 49.
- [ 27 ] Dennett, M. D. et al., 1980, *Agric. Meteorol.*, Vol. 21, 249 — 263.
- [ 28 ] 汪铎、方文龙, 1983, 气象, 9 期, 19 — 20.
- [ 29 ] 于中一、范柏松, 1982, 农业气象, 3 卷3 期, 47 — 49.
- [ 30 ] 孙金甬、汪铎, 1982, 中国麻作, 3 期, 22 — 24.
- [ 31 ] 吴元中、张东海, 1984, 农业气象, 5 卷2 期, 31 — 34.
- [ 32 ] 汪铎、郭文扬, 1987, 农业气象, 8 卷1 期, 15 — 18.