

东北地区大豆产量预报模式

赵洪凯

赵四强 王建林

(黑龙江省农业科学院) (国家气象局气象科学研究所)

摘 要

大气环流是形成大范围地区旱涝和温度异常,影响农作物生长发育和产量波动的主要原因。本文探讨了东北地区大豆单产与描述大气环流特征的综合指标——500hPa 纬带谱参数的关系。揭示了农作物生育前期500hPa月平均的纬带谱参数与农作物产量有很好的时滞相关,其相关机理是大气环流自身的时滞相关以及大气环流与长期天气过程的有机联系。用这些参数组建的 I_{DW} 预报方程,其历史拟合和外推都比较稳定,可以用于产量预报。

一、前 言

近十多年来,农作物产量预报的天气—统计方法发展很快。苏联 Е.А.Ахасарина 等人分析了高产年和低产年 500hPa 高度场^[1]的大气环流^[2]特征,并用于产量预报,取得了满意的结果^[1];苏联实验气象研究所还根据 7—9 月份北半球环流特征判断美国玉米生育后期的产量形成条件,对不同环流条件评分,按总评分估测美国玉米产量年景。结果表明用大气环流评分办法评定美国玉米产量年景是可行的^[2]。

天气—统计方法的依据是:农作物产量与生育期温度、降水、日照等气象条件密切相关,而这些因子的空间分布及时间演变又是由大气环流的中期演变规律或长期振动,以及海水温度等决定的。特别是大气环流的异常直接影响大范围地区的旱涝和温度异常,旱涝或温度异常必然造成农作物减产。本文基于这样的认识,探讨了东北地区大豆单产与描述大气环流特征的综合指标——500 hPa 月平均高度场纬带谱参数(系数、振幅、位相等)的关系,建立了东北地区大豆产量预报模式,试报检验结果表明,由于纬带谱参数包含的信息量大,能较全面地反映大豆生育期出现异常天气的前期大气环流特征,与大豆产量相关显著,可以较好地预报大豆产量的丰欠趋势。

(1) 5500米上空的气压场

(2) 围绕整个地球的大范围空气流动的平均情况

本文于1988年3月9日收到。

This paper was received in March 9, 1988

二、产量资料整理

东北地区(辽宁、吉林、黑龙江三省)是栽培大豆的典型地区,是我国大豆生产的商品粮基地。吉林省气象局丁士晟的研究指出:低温冷害在东北三省具有群发性,所以,东北三省粮豆产量的丰欠趋势也具有很好的一致性。将东北三省大豆单产(kg/亩下同)按面积加权平均得到的大豆单产可以代表东北地区的大豆单产(Y_D),计算公式为:

$$Y_D = \frac{\sum_{i=1}^3 Y_{Di} \cdot S_i}{\sum_{i=1}^3 S_i} \quad (1)$$

式中: Y_{Di} 、 S_i 分别为历年辽宁、吉林、黑龙江三省的大豆单产和种植面积。

众所周知,影响农作物产量的主要因素是社会生产力和天气气候的利弊。社会生产力包括农业技术、肥料、土壤、良种、政策等,在一定的社会背景条件下是相对稳定的,通常称由社会生产力决定的产量为时间趋势产量,1952—1984年 Y_D 的时间趋势产量(Y_t)分为两个时段,用二次多项式

$$Y_t = 92.7143 - 9.6310t + 0.9999t^2 \quad (1952-1959) \quad (2)$$

$$Y_t = 63.8874 - 0.4174t + 0.0273t^2 \quad (1960-1984) \quad (3)$$

拟合,自变量 t 为年序。

气象产量指数(I_{DW})表示天气气候条件对大豆产量的影响,即

$$I_{DW} = Y_D / Y_t \quad (4)$$

$I_{DW} > 1$ 表示天气气候条件适宜,实际产量高于时间趋势产量; $I_{DW} < 1$ 表示天气气候条件不适宜实际产量低于时间趋势产量。

表1给出东北地区1952—1984年的 Y_D 、 Y_t 和 I_{DW} 。

三、500hPa 月平均高度场纬带谱参数的计算

将北半球70—20°N 500hPa 月平均高度场 $H(x, \lambda)$ 沿经圈用车比雪夫多项式,沿纬圈用富氏级数展开。纵坐标 $x = 1, 2, \dots, 11$, 表示70—20°N 纬带内自北向南展开的空间步长为5个纬距,横坐标 $\lambda = 0, 1, 2, \dots, 35$, 表示沿纬圈自西向东展开的

空间步长为10个经度、即 $\omega = \frac{2\pi}{36}$, 于是有

$$H(x, \lambda) = \sum_{l,k} \phi_l(x) (A_{lk} \cos k\omega\lambda + B_{lk} \sin k\omega\lambda) \quad (5)$$

$$A_{lD} = \frac{\sum_{x=1}^{11} \sum_{\lambda=0}^{35} H(x, \lambda) \phi_l(x)}{36 \sum_{x=1}^{11} \phi_l^2(x)} \quad (6)$$

表 1 东北地区1952—1984年 Y_D 、 Y_t 、 I_{DW}
Table 1 Y_D Y_t and I_{DW} from 1952 through 1984 in the North-East Region

年 (Year)	Y_D	Y_t	I_{DW}	年 (Year)	Y_D	Y_t	I_{DW}
1952	82.5	84.1	0.975	1969	61.0	70.8	0.862
1953	82.5	77.5	1.065	1970	85.5	71.8	1.191
1954	69.0	72.8	0.948	1971	81.5	73.8	1.120
1955	68.5	71.2	0.962	1972	58.5	72.9	0.792
1965	77.0	69.6	1.106	1973	84.5	75.1	1.125
1957	65.0	70.9	0.917	1974	77.0	76.3	1.009
1958	74.0	74.3	0.996	1975	84.5	77.5	1.090
1959	81.0	80.0	1.013	1976	56.5	78.9	0.716
1960	57.0	64.3	0.886	1977	62.0	80.2	0.773
1961	52.5	64.8	0.810	1978	82.5	81.7	1.010
1962	60.0	65.4	0.917	1979	72.5	83.1	0.872
1963	71.0	66.0	1.076	1980	84.0	84.7	0.992
1964	64.0	66.7	0.956	1981	77.0	86.3	0.892
1965	71.5	67.4	1.061	1982	78.5	87.9	0.893
1966	85.5	68.1	1.256	1983	101.5	89.6	1.133
1967	79.0	69.0	1.145	1984	113.0	91.4	1.236
1968	83.0	69.9	1.187				

$$A_{lk} = \frac{2 \sum_{x=1}^{11} \sum_{\lambda=0}^{35} H(x, \lambda) \phi_l(x) \cos k \omega \lambda}{36 \sum_{x=1}^{11} \phi_l^2(x)} \quad l, k \neq 0 \tag{7}$$

$$A_{lk} = \frac{2 \sum_{x=1}^{11} \sum_{\lambda=0}^{35} H(x, \lambda) \phi_l(x) \sin k \omega \lambda}{36 \sum_{x=1}^{11} \phi_l^2(x)} \quad l, k \neq 0 \tag{8}$$

(5) — (8) 式中, ϕ_l 为车比雪夫多项式, l 为 ϕ_l 的阶数, k 为一个纬圈内正弦 或余弦波的波数, A_{lk} 、 B_{lk} 是混合多项式展开系数。由 A_{lk} 、 E_{lk} 计算展开范围内月平均高度场振幅 (C_{lk}) 和位相 (ϕ_{lk}) 的公式为

$$C_{lk} = \sqrt{A_{lk}^2 + B_{lk}^2} \tag{9}$$

$$\phi_{lk} = \arctan A_{lk}/B_{lk} \tag{10}$$

农作物的生育期通常为几个月, 所以, 研究异常天气气候对农作物产量的影响, 主要应考虑长期天气过程, 而构成长期天气过程的主导系统是波数为 1 — 3 的超长波。因

此, 本文取 $l = 0, 1, 2, 3, k = 0, 1, 2, 3, 4$, 则月平均高度场纬带谱参数 $A_{lk}, B_{lk}, C_{lk}, \phi_{lk}$ 各有 20 种组合, 每种组合都具有一定的天气学意义⁽³⁾, 它们代表了北半球中高纬度大气环流的特征。本文计算了 1951—1986 年逐月纬带谱展开系数、振幅和位相, 展开质量的相对指标 $R^2 = 0.012$, 均方根误差为 3 位势什米⁽³⁾。

四、东北地区大豆产量与纬带谱参数的关系

东北地区大豆产量的 I_{DW} 与大豆生育期前期(上一年 6—12 月, 当年 1—5 月) 500hPa

表 2 I_{DW} 与谱参数的相关系数 (r)

Table 2 The coefficients between I_{WD} and spectral parameters

月 (Month)	A_{lk}	r	月 (Month)	B_{lk}	r	月 (Month)	C_{lk}	r	月 (Month)	ϕ_{lk}	r
2	A_{02}	-0.369	2	B_{03}	-0.402	3	C_{04}	0.392	1	ϕ_{32}	0.562
4	A_{21}	0.353	4	B_{04}	0.418	4	C_{04}	-0.398	3	ϕ_{24}	-0.394
7	A_{22}	-0.354	4	B_{24}	-0.499	4	C_{24}	-0.419	11	ϕ_{31}	0.405
11	A_{03}	-0.380	4	B_{34}	0.420	5	C_{31}	0.400	11	ϕ_{14}	-0.402
11	A_{20}	0.354	11	B_{31}	-0.377	7	C_{21}	0.427	9	ϕ_{24}	0.395

表 3 谱参数与 5—9 月温度 (T) 降水 (R) 的相关系数 (r)

Table 3 The correlative coefficients (r) between spectral parameters and temperature and precipitation from May through september

谱 参 数 (Spectral parameter)	沈 阳 (r)	长 春 (r)	哈 尔 滨 (r)
1 月 ϕ_{32} (Jan.)	8 月 T 0.3687	8 月 T 0.4575 7 月 R 0.3075	8 月 T 0.3191
2 月 B_{03} (Feb.)	5 月 T -0.5131 5—9 月 T -0.5282	5 月 T -0.3769 5—9 月 T -0.4783	6 月 T -0.3801 5—9 月 T -0.3938
4 月 B_{04} (Apr.)	5 月 T 0.3211	5 月 T 0.4133 5 月 R -0.4127	5 月 T 0.3681
5 月 C_{31} (May.)	8 月 T 0.3388 7 月 R 0.4309	8 月 T 0.3054	8 月 T 0.3740 5—9 月 T 0.3907
9 月 ϕ_{24} (Seq.)	5 月 T 0.4478 5—9 月 T 0.3052	5 月 T 0.3056 5 月 R -0.0158	

(3) 气象上常用的一种高度单位, 相当于单位质量气块, 当重力加速度为 9.8 米/秒² 时, 上升 10 米所做的功。

月平均高度场纬带谱参数的相关系数通过 0.05 信度检验 ($r \geq 0.344$) 的谱参数列于表 2, **表示通过 0.01 信度检验 ($r \geq 443$)。表 3 给出了表 2 中部分谱参数与沈阳、长春、哈尔滨 5—9 月温度、降水的相关系数。

参考文献〔4, 5〕的研究指出, 东北地区粮豆生产的不利气象条件是生育期间 5—9 月的低温冷害, 表 3 中的 ϕ_{32} 、 B_{04} 、 C_{31} 、 ϕ_{24} 与大豆产量正相关, 与 5—9 月温度也呈正相关; E_{03} 与大豆产量负相关, 与 5—9 月温度也呈负相关, 表明温度的影响贯穿在大豆生育的始终。此外, 水也是大豆生产的主要限制因子, 在大豆的主要营养生长期 (7 月份) 以及开花、结荚、鼓粒期是需水最多的时期, 降水量的多少与产量关系极大。表 3 中 B_{04} 、 ϕ_{24} 与大豆产量正相关, 与 5 月降水负相关; C_{31} 、 ϕ_{32} 与大豆产量正相关, 与 7 月降水也呈正相关。表 2 和表 3 表明生育期前期大气环流的状态与大豆生育期间温度、降水存在的时滞相关与文献〔4, 5〕的研究结果一致, 很好地解释了表 2 中谱参数与 I_{DW} 的相关关系, 谱参数正是通过它所反映的大气环流与生育期温度、降水的相关关系才与大豆产量发生联系的。

五、单产预报模式

1. I_{DW} 的预报方程: 建模样本长度 $n = 33$, 预报对象为 1952—1984 年 I_{DW} , 预备因子为表 2 中的 20 个谱参数, 经过逐步回归分析组建的预报方程为

$$\begin{aligned} \hat{I}_{DW} = & 0.699 - 0.0257 A_{03}(11\text{月}) - 0.0189 B_{03}(2\text{月}) \\ & - 0.6582 B_{24}(4\text{月}) + 2.5013 C_{31}(5\text{月}) \\ & + 0.5435 C_{21}(7\text{月}) + 0.003 \phi_{32}(1\text{月}) \end{aligned} \quad (11)$$

(11) 式中 $A_{03}(11\text{月})$ 为上一年 11 月 $l = 0$ 、 $k = 3$ 的超长波为余弦波的权重系数, $E_{03}(2\text{月})$ 为当年 2 月 $l = 0$ 、 $k = 3$ 的超长波为正弦波的权重系数, $B_{24}(4\text{月})$ 为当年 4 月 $l = 2$ 、 $k = 4$ 的超长波为正弦波的权重系数, $C_{31}(5\text{月})$ 为当年 5 月 $l = 3$ 、 $k = 1$ 的超长波振幅, C_{21} 为上一年 7 月 $l = 2$ 、 $k = 1$ 的超长波振幅, $\phi_{32}(1\text{月})$ 为当年 1 月 $l = 3$ 、 $k = 2$ 的超长波位相。(11) 式的复相关系数 $\rho = 0.8703$, 剩余标准差 $RSD = 0.0757$, $F = 15.53^{**}$, **表示回归效果极显著。图 1 给出了预报方程的历史拟合和实况, 平均相对误差为 5.75%, 由 (11) 式外推 1985、1986 两年的 I_{DW} 分别为 0.908 和 1.167。

2. 预报 Y_t : 由 (3) 式外推 1985、1986 (t 分别为 26 和 27) 年 Y_t 为 92.2 kg/亩、95.0 kg/亩。

3. 预报 Y_D : 据 (4) 式有 $Y_D = I_{DW} Y_t$, 由 1985、1986 年 \hat{I}_{DW} 和 \hat{Y}_t 计算 1985、1986 年 \hat{Y}_D 为 84.6 kg/亩、110.9 kg/亩, 1985 年比 1984 年减产 28.4 kg/亩, 1986 年比 1985 年增产 10.4 kg/亩, 实况为 1985 年比 1984 年减产 12.5 kg/亩, 1986 年比 1985 年增产 13.0 kg/亩。预报趋势正确, 两年预报误差分别为 -15.9 kg/亩、2.6 kg/亩。

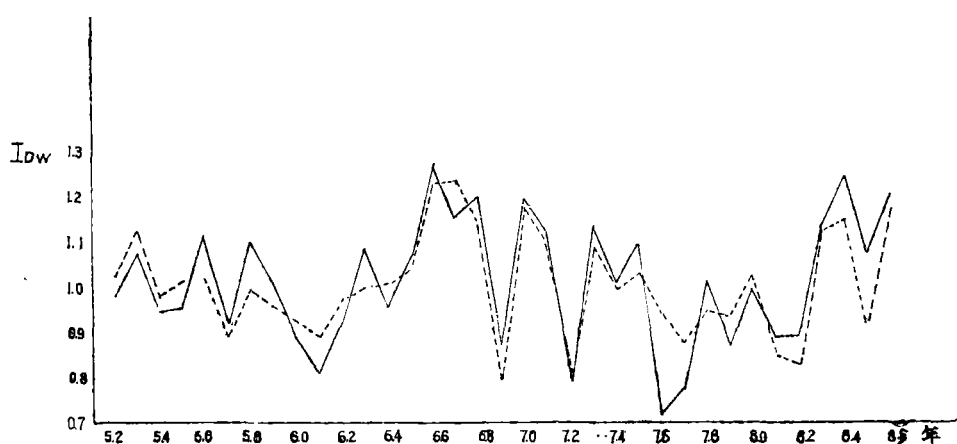


图1 1952—1986年东北地区 I_{DW} 、 \hat{I}_{DW}

(实线为 I_{DW} , 虚线为 \hat{I}_{DW} , • 为预报)

六、小结和讨论

本文通过 500hPa 月平均高度场纬带谱参数与我国东北地区大豆单产的相关分析, 揭示了农作物生育期前期 500hPa 月平均高度场纬带谱参数与农作物产量有很好的时滞相关, 其相关的机理是大气环流自身的时滞相关以及大气环流与长期天气过程的有机联系。用车比雪夫多项式和富氏级数混合展开 500 hPa 月平均高度场, 可以综合考虑大气环流的纬向变化和经向变化, 得到的谱参数浓缩了展开范围内大气环流的大量信息。所以, 用这些谱参数组建的 I_{DW} 预报方程, 其历史拟合和外推预报都比较稳定, 可以用于产量预报。

直接用前期 500hPa 月平均高度场谱参数预报农作物产量, 预报因子是前期已经出现的 500 hPa 月平均高度场实况, 用已编好的程序计算实况的谱参数, 资料的获取和应用都简单方便。本模式最迟出现的因子是当年 5 月 C_{31} , 6 月初即可得到 5 月份月平均高度场, 并做出预报, 预报时效延长。谱参数的天气学意义虽然清楚, 但本模式中每个因子的意义尚需进一步研究探索。

参 考 文 献

- 〔1〕 В. М. Пасов и др. Синоптико-статистический метод прогноза урожая зерновых культур до сева. Тр. НЭМ ВШП. 13 (91), 1979
- 〔2〕 О. Д. Спиротенко и др. Развитие теоретических исследований в агрометеорологии. Тр. ВНИИСХМ, вып. 1. 1980.
- 〔3〕 章基嘉等, 1981, 用混合多项式展开气象要素场的方法及其应用, 南京气象学院学报, (2)
- 〔4〕 丁士威, 1983, 东北地区低温冷害的气候分析, 东北夏季低温冷害预报文集, 气象出版社
- 〔5〕 F·S·达莫塔, 1981, 大豆与天气, 气象出版社

A MODEL FOR FORECASTING SOYBEAN YIELD IN THE NORTH-EAST REGION

Zhao Hongkai

(Helongjiang Academy of Agricultural)

Zhao Siqiang Wang Jianlin

*(The Academy of Meteorological Sciences, National Bureau
of Meteorological Science)*

Abstract

Atmospheric circulation is a decisive factor causing temperature difference, drought or waterlogging in a large area, other words, it is a main factor affecting crop growth and yield. This paper describes the relationship between soybean yield per unit area and the composite index of atmospheric circulation feature—the parameters of latitude stripe spectrum at 500 hpa in the North-East region and there is a good time lag correlation between crop yield and the parameters of latitude stripe spectrum of field monthly mean during early growth period of crops. The mechanism of the correlation is the self time lag correlation of atmospheric circulation and the organic connection of atmospheric circulation with the climate over a long period. An equation was established with the parameters related to latitude stripe spectrum, named I_{DW} and it could be applied for soybean yield forecast in the North-East region because it fitted the past situations and could be extrapolated for soybean yield well.