

## 辽东山区雨日分布特征及其对玉米产量的影响\*

毕伯钧 于系民

(辽宁省本溪气象台) (辽宁省气象科学研究所)

### 提 要

本文利用辽东山区宽甸、桓仁、新宾和清原四个站 1956—1975 年雨日资料和玉米产量资料,研究了该地区雨日分布特征及其对玉米产量的影响。根据雨日统计结果,提出配合山区雨日数学模型方法,得出  $ax/c_1, ax^2/c_2, \dots, ax^i/c_i, ax^n/c_n$  形式的数学模型。依据作物生育期(5—9月)雨日持续期配合玉米产量资料,采用 Friedman 非参数检验方法,揭示出 5 天以上雨日序列数对玉米产量有显著影响。

### 一、引 言

降水是一个地区气候特征的重要体现。作物产量的高低不仅取决于降水量的多少,而且与降水的可利用性有关。么枕生<sup>[1]</sup>曾指出:“作物的歉收往往是连续干旱或连续淫雨所造成的”。因此,探讨雨日分布特征,对指导农业生产有着重要的意义。国内外学者<sup>[2-3]</sup>在雨日分布研究中做了很多有益的工作。例如, W. C. Yap<sup>[3]</sup>曾结合橡胶生产对马来亚干湿期的持续性做过研究。到目前为止,在国内还没有见到对雨日分布数学模型配合方法研究的报导,本文提出山区雨日数学模型的一种配合方法;并依据作物生育期(5—9月)雨日持续期结合玉米产量,采用 Friedman 非参数检验方法,揭示出连续 5 天以上雨日序列数对玉米产量有显著影响。

### 二、资料来源及处理

雨日资料取自辽东山区桓仁、宽甸、新宾、清原四个站 1956—1975 年共计 20 年降水资料,雨日按气象观测规范标准即  $\geq 0.1$  mm,地面凝结水(露、雾、霜)量虽然  $\geq 0.1$  mm 仍不参加统计。玉米产量资料取自辽宁省统计局,本研究均以玉米气候产量为依据,玉米气候产量采用滑动平均方法求得。

### 三、雨日分布特征及数学模型的建立

辽东山区位于长白山区,居于北纬 40—43° 之间,包括宽甸、桓仁、新宾、清原等县,属于中温带大陆性季风气候,雨量充沛,年雨量在 800—1100 mm 之间。全年雨(雪)日季节分布是冬季最少,夏季最多,秋季多于春季。雨日持续期长短,全年或各月份一般是雨日 1

\* 本文于 1983 年 5 月 13 日收到, 1984 年 1 月 24 日收到修改稿。

天的频数最多,雨日持续 2 天次之, 3 天, 4 天……依次减少,其规律按指数递减(图 1)。这种递减规律与热带雨林气候比较<sup>[3]</sup>,辽东山区递减的幅度较大。雨日持续序列数在同一年里,各月份的分布是 7, 8 两月最多, 6 月和 9 月份次之, 10 月、5 月份较少。

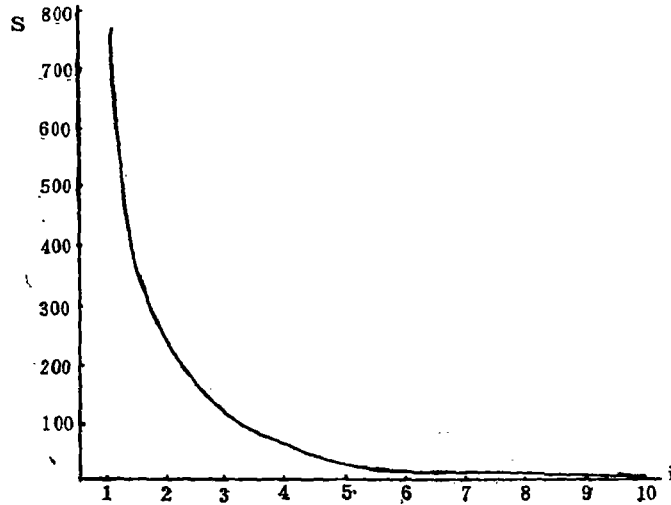


图 1 宽甸实测雨日序列频数与持续天数  
(S: 雨日序列频数 i: 雨日持续天数)

雨日分布的数学模型是建立在当地雨日分布特征和实测数据基础上的。本文是随机取出宽甸、桓仁、新宾和清原四个站代表辽东山区,建立雨日分布的数学模型。全年雨(雪)日 1 天, 2 天, …… $i$  天, …… $n$  天的序列数可用一种数学模型  $\alpha x^i/c_i$  表示,即

$\alpha x/c_1$  为雨日 1 天的序列数,

$\alpha x^2/c_2$  为雨日持续 2 天的序列数,

⋮

$\alpha x^i/c_i$  为雨日持续  $i$  天的序列数,

$\alpha x^n/c_n$  为雨日持续  $n$  天的序列数。

在模型  $\alpha x^i/c_i$  中, $\alpha$  和  $x$  对于一个测站来说,均是不变数,其中  $\alpha$  为大于 1 的正数, $x$  为小于 1 的正数,这样,

$$\alpha x > \alpha x^2 > \cdots > \alpha x^i \cdots > \alpha x^n \quad (1)$$

显然,真分数  $x$  的幂加大时,使数列的绝对值降得过快,而无法配合序列数的下降,于是, $\alpha x^n$  式分别除以  $c_1, c_2 \cdots c_i \cdots c_n$ ,我们把  $c_i$  称为订正系数,且有:

$$c_{i-1} < c_i \quad (2)$$

若有了  $c_i$  值订正, $\alpha x^i/c_i$  组成的序列数可以与实际观测的雨日序列数相配合,拟合效果为最佳。

若我们已知 1956—1975 年共计 20 年雨日序列数  $S$  和雨日总数  $N$ ,可用一种数学方法求出  $\alpha$  和  $x$  值。Fisher<sup>[4]</sup>指出, $\alpha$  和  $x$  值可通过以下联立方程得出,其联立方程式为:

$$\begin{cases} S = \alpha \ln(1 + N/\alpha) & (3) \\ N = \alpha x / (1 - x) & (4) \end{cases}$$

(3)、(4)式为一个超越方程。为求其解,我们做以下变换,即用 $N$ 除以(3)式的两边得:

$$S/N = \frac{\alpha}{N} \ln\left(1 + \frac{N}{\alpha}\right) \quad (5)$$

令

$$\alpha = \frac{S}{N} \quad (6)$$

$$E = \frac{N}{\alpha} \quad (7)$$

则得出:

$$\alpha = \frac{1}{E} \ln(1 + E) \quad (8)$$

即

$$\alpha E = \ln(1 + E) \quad (9)$$

于是有

$$y = \alpha E \quad (10)$$

$$y = \ln(1 + E) \quad (11)$$

(10)、(11)两式分别表示出 $y$ 与 $E$ 的线性关系及 $y$ 与 $(1 + E)$ 的对数关系。我们采用牛顿逼近法<sup>[6]</sup>,以 FORTRAN 语言程序计算出 $E$ 值。将求出的 $E$ 值代入(7)式得出

$$\alpha = \frac{N}{E} \quad (12)$$

由(4)式得

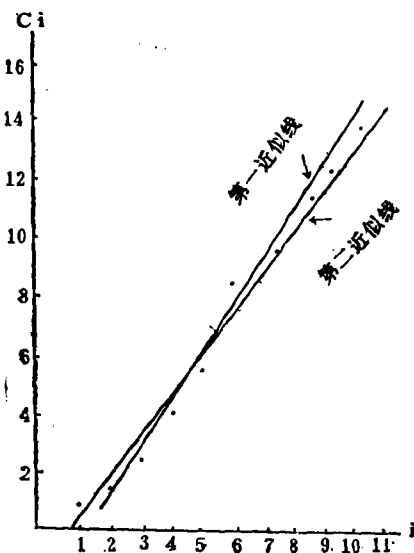


图 2 订正系数 $C_i$ 值与持续天数 $i$ 的关系

$$x = \frac{N}{N + \alpha} \quad (13)$$

由(12)、(13)式得

$$x = \frac{N}{N + \frac{N}{E}} \quad (14)$$

故 $\alpha$ ,  $x$ 值求出。

于是得出辽东山区雨日持续序列的数学模型为:

雨日 1 天的序列数 $S_1$ 的表达式:

$$S_1 = \alpha x / c_1 = \frac{N}{E} \cdot \frac{N}{N + \frac{N}{E}} \cdot \frac{1}{c_1} \quad (15)$$

雨日持续 2 天的序列数 $S_2$ 的表达式:

$$S_2 = \alpha x^2 / c_2 = \frac{N}{E} \cdot \left( \frac{N}{N + \frac{N}{E}} \right)^2 \cdot \frac{1}{c_2} \quad (16)$$

雨日持续  $i$  天的序列数  $S_i$  的表达式:

$$S_i = \alpha x^i / c_i = \frac{N}{E} \cdot \left( \frac{N}{N + \frac{N}{E}} \right)^i \cdot \frac{1}{c_i} \quad (17)$$

雨日持续  $n$  天的序列数  $S_n$  的表达式:

$$S_n = \alpha x^n / c_n = \frac{N}{E} \cdot \left( \frac{N}{N + \frac{N}{E}} \right)^n \cdot \frac{1}{c_n} \quad (18)$$

我们现以宽甸县为例, 用配合出的雨日持续序列数学模型, 求出各雨日序列数。

雨日序列数  $S$  为各雨日序列数之和, 即:

$$S = \sum_{i=1}^n S_i \quad (19)$$

雨日总数  $N$  为各雨日的序列数  $S_i$  与持续天数  $i$  乘积之和, 即:

$$N = \sum_{i=1}^n S_i \cdot i \quad (20)$$

根据 1956—1975 年降水实测资料求出:

$$S = 1176,$$

$$N = 2310,$$

通过计算得出:

$$E = 2.55$$

把  $E = 2.55$  代入 (12)、(13) 式得到

$$\alpha = 905.8824$$

$$x = 0.718$$

订正系数  $C_i$  值求算步骤:

订正系数  $C_i$  值求算, 我们采用 Mood<sup>[6]</sup> 迭代程序完成。其步骤如下:

(1) 根据实测结果, 我们把  $C_i$  值(垂直轴)和  $i$  值(水平轴)作样本数据散布图。

(2) 经  $i$  的中值(本文为 5.5)标出中值线, 其中值线两侧点数相等, 则中值线左侧为第 I 组观察值, 右侧为第 II 组观察值。

(3) 确定 I、II 两组中每一组内的  $i$  的中值和  $C_i$  的中值, 共确定 4 个中值。

(4) 对于 I 组观察值中, 绘出表示  $x$  的中值和  $y$  的中值交叉点, 第 II 组观察值中绘出同样的点。

(5) 绘出连接第(4)步所得两交叉点的直线, 即为所求的第一近似线。

(6) 因各点子与第(5)步所得直线的垂直偏差的中值(在两组中)不是零, 故将直线作必要调整, 直到偏差等于零为止, 绘出第二近似线(图 2)。即所求的  $C_i$  与  $i$  的回归线。

第二近似线与横轴( $i$ )所交锐角  $\alpha$  的正切为:

$$\tan \alpha = 11.6 \div 9.6 = 1.2083$$

按此比值计算横轴  $i$  (持续天数) 每增加 1 天, 则  $C_i$  值相应增加 1.2083, 经计算得出:

$$\begin{aligned} C_1 &= 0.83, C_2 = C_1 + 1.2083 = 2.0383, \\ C_3 &= C_2 + 1.2083 = 3.2466, C_4 = C_3 + 1.2083 = 4.4549, \\ C_5 &= C_4 + 1.2083 = 5.6632, C_6 = C_5 + 1.2083 = 6.8715, \\ C_7 &= C_6 + 1.2083 = 8.0798, C_8 = C_7 + 1.2083 = 9.2881, \\ C_9 &= C_8 + 1.2083 = 10.4964, C_{10} = C_9 + 1.2083 = 11.7047, \\ C_{11} &= C_{10} + 1.2083 = 12.9130. \end{aligned}$$

将求得的  $\alpha$ ,  $x$  和  $C_i$  值代入雨日持续序列数学模型  $S_i = \alpha x^i / C_i$ , 可得出各雨日的序列数, 即:

$$\begin{aligned} S_1 &= 783.6, S_2 = 229.1, S_3 = 103.3, \\ S_4 &= 54.0, S_5 = 30.5, S_6 = 18.1, \\ S_7 &= 11.0, S_8 = 6.8, S_9 = 4.4, \\ S_{10} &= 2.8, S_{11} = 1.8. \end{aligned}$$

通过雨日分布数学模型计算各雨日序列数与实测各雨日序列数进行了比较, 计算结果与实测值相接近, 效果良好, 现以宽甸县为例, 见表 1。

表 1 宽甸县各雨日序列数实测值与计算值比较

序列数	$s_1$	$s_2$	$s_3$	$s_4$	$s_5$	$s_6$	$s_7$	$s_8$	$s_9$	$s_{10}$
实测值	748	217	108	52	28	15	10	6	3	2
计算值	783.6	229.1	103.3	54.0	30.5	18.1	11.0	6.8	4.4	2.8

#### 四、作物生育期(5—9月)雨日持续 5 天以上序列数与玉米产量的关系

辽东山区流传着一种怕涝不怕旱的说法, 即涝年减产, 旱年丰产。我们以辽东山区的宽甸、桓仁、新宾和清原四个县 20 年的降水资料和玉米产量资料, 在不考虑降水量的情况下, 分析了作物生育期 5—9 月雨日持续天数与玉米产量的统计关系。本文所用产量资料是去掉时间趋势项以后的气候产量。我们采用了 Friedman 非参数检验方法, 揭示出辽东山区 5 天以上的雨日序列数对玉米产量有显著影响。

在 Friedman 非参数检验中, 做如下假定:

(1) 数据由容量为  $K$  ( $=5$ ) 和  $b$  ( $=4$ ) 个相互独立的样本构成。典型的观察值  $x_{ij}$  是  $i$  个样本第  $j$  个观察值。这里行表示“区组”, 列表示“处理”。

(2) 所讨论的变量是连续的, 在“区组”和“处理”之间没有交互作用。

(3) 每一个“区组”内的观察值, 可按大小排列成秩。

假设:

$H_0$ : 在一区组内的各总体是恒同的。

$H_1$ : 至少有一种处理比其它种处理有取得较大值的倾向。

检验统计量:

为了计算 Friedman 检验的统计量, 先将玉米气候产量转换成“秩”。其 Friedman 检验统计量计算式为:

$$\chi_r^2 = \frac{12}{b \cdot K(K+1)} \cdot \sum_{j=1}^K R_j^2 - 3b(K+1) \quad (20)$$

式中:  $r$  为置信水平,

$R_j$  是第  $j$  列的秩和,

$K$  为容量数(本文  $K=5$ ),

$b$  为独立样本数(本文  $b=4$ )。

宽甸、桓仁、新宾和清原雨日持续 5 天以上序列数与玉米气候产量, 列成表 2。

根据表 2 中玉米气候产量的高低换成“秩”, 得表 3。

表 2 雨日 5 天以上序列数与玉米气候产量

时间: 5—9 月, 单位: 斤/亩

序列数 \ 地点	1	2	3	4	5
宽甸	52.8	6.6	7.7	-3.3	-27.0
桓仁	44.0	40.6	2.3	-51.2	-72.5
新宾	27.5	56.0	23.0	-44.8	-52.3
清原	45.3	42.8	18.0	-15.8	-75.7

表 3 雨日 5 天以上序列数与玉米气候产量的“秩”

序列数 \ 地点	$j=1$	$j=2$	$j=3$	$j=4$	$j=5$
宽甸 ( $i=1$ )	5	3	4	2	1
桓仁 ( $i=2$ )	5	4	3	2	1
新宾 ( $i=3$ )	4	5	3	2	1
清原 ( $i=4$ )	5	4	3	2	1

$R_j$ (秩和)如下:

$$R_1 = 5 + 5 + 4 + 5 = 19, R_2 = 3 + 4 + 5 + 4 = 16,$$

$$R_3 = 4 + 3 + 3 + 3 = 13, R_4 = 2 + 2 + 2 + 2 = 8,$$

$$R_5 = 1 + 1 + 1 + 1 = 4.$$

将  $K=5$ ,  $b=4$ ,  $R_j$  代入检验统计量(20)式得

$$\chi_r^2 = 14.4$$

从  $\chi^2$ ——分布表<sup>[7]</sup>查自由度  $K=5-1=4$ , 表列  $\chi_{\alpha}^2$  值, 若取置信水平  $\alpha=0.01$ , 则  $\chi_{0.01}^2 = 13.277$ 。即:

$$\chi_r^2 (=14.4) > \chi_{0.01}^2 (=13.277)$$

故拒绝  $H_0$ , 表明 5 天以上雨日序列数对玉米产量影响显著。

经检验得出, 辽东山区宽甸、桓仁、新宾和清原四个县作物生育期(5—9 月)雨日持续:

5 天以上序列数对玉米产量有显著的影响。显然,雨日连续 5 天以上序列数越多,则玉米产量越低。统计结果表明,辽东山区在玉米生育期间连续阴雨天气是造成该地区玉米减产的一个重要因素之一。

辽东山区热量条件较差, $\geq 10^{\circ}\text{C}$  积温为 2700—3100 $^{\circ}\text{C}$ ,因此,该地区以中早熟品种为主。根据玉米物候观测资料,宽甸等四个县一般在 4 月中旬播种,5 月初出苗,6 月初拔节,而 7 月份正处在孕穗至吐丝阶段,8 月上中旬灌浆乳熟。雨日 5 天以上序列数在玉米哪个生育期对产量影响最大,我们统计了宽甸县历年 5—9 月各月雨日 5 天以上序列数与玉米气候产量的关系。我们采用定性相关分析方法。例如,7 月份雨日 5 天以上序列数与玉米气候产量的关系,列成表 4。

表 4 7 月份雨日 5 天以上序列数与玉米产量的关系

类 别 (K)		雨 日 5 天 以 上 序 列 数		
		$\leq 1$ $n_1$	$> 2$ $n_2$	$n_+$
年	高 产 年 1	$n_{11}(7)$	$n_{12}(2)$	$n_+(9)$
	低 产 年 2	$n_{21}(2)$	$n_{22}(9)$	$n_+(11)$
景	$n \cdot K$	$n \cdot 1(9)$	$n \cdot 2(11)$	$n(20)$

根据表 4 统计结果进行定性相关分析,定性相关系数  $r = \frac{n_+ - n_-}{N}$ ,  $n_+(n_-)$  为两类现正(反)符号的次数,  $N$  为总次数。计算结果  $r_7 = 0.60$ 。按列联表 4 用  $\chi^2$  检验,当  $r = .S = 2$  时,

$$\chi^2 = \frac{n(n_{11} \cdot n_{22} - n_{12} \cdot n_{21})^2}{n_1 \cdot n_2 \cdot n \cdot 1 \cdot n \cdot 2}$$

计算结果  $\chi^2 = 7.103$ 。当自由度  $f = (r-1)(S-1) = 1$  时,查表得  $\chi^2_{\alpha=0.01} = 6.64$ ,即  $\chi^2 > \chi^2_{\alpha=0.01}$ 。通过定性相关分析和  $\chi^2$  显著性检验,表明 7 月份雨日 5 天以上序列数对玉米产量有显著影响,显著水平较高。同样,对各时期雨日 5 天以上序列数和玉米产量进行定性相关分析结果,关系均不显著。经统计分析得出,辽东山区 7 月份雨日 5 天以上序列数是影响玉米产量的关键期,该期为孕穗至吐丝期。

## 五、讨 论

本文根据当地雨日统计结果,建立了雨日分布的数学模型,为探索该地区雨日分布特征,进行旱、涝分析以及长期预报是一种有意义尝试。由于数学模型配合时站点少,时间序列仅 20 年,致使雨日序列频数较少,因此对配合时  $\alpha$ ,  $x$  和  $C_i$  值受到一定影响,造成实测值与计算值仍有少量误差。但是,该模型的配合方法,对探讨雨日分布规律仍有普遍意义。本文从统计分析中揭示出一个农业气候问题,这就是 5 天以上雨日序列数对玉米产量有显著的影响,从而找出了影响辽东山区玉米产量的一个因素,无疑对指导农业生产有一定意义。本文只考虑雨日序列数,而没有考虑降雨量值的影响,两者如何结合分析,有待今后去深入探讨。

## 参 考 文 献

- [1] 么枕生, 气候统计, 162—193, 科学出版社, 1963。  
[2] 朱炳海, 中国气候, 165, 科学出版社, 1963。  
[3] Yap, W. C., The persistence of wet and dry spells in Sungei Buloh, *Selangor Meteorological Magazine*, 102, 240—245, 1973.  
[4] Fisher, R. A., Graphical and mathematical methods of rapid solving the simultaneous equations of sequences, *Journal of Animal Ecology*, 12, 42—44, 1943.  
[5] 清华大学, 北京大学, 计算方法(上册), 142—145, 科学出版社, 1975。  
[6] Mood, A. M., Introduction to the theory of statistics, New York, McGraw-Hill, 1950.  
[7] M·费史著, 王福保译, 概率论及数理统计, 上海科学技术出版社, 1978。

**SOME CHARACTERISTICS OF WET DAYS  
DISTRIBUTIONS AND THEIR EFFECTS  
ON THE YIELD OF MAIZE IN  
THE MOUNTAINOUS REGION  
OF EAST LIAONING PROVINCE**

Bi Bojun

(*Benxi Meteorological Observatory, Liaoning Province*)

Yu Ximin

(*Institute of Meteorology, Liaoning Province*)

Abstract

In this paper, some characteristics of the wet days distributions and their effects on the yield of maize during 1956-1975 were investigated, for counties Huanren, Xinbin, Qingyuan and Kuandian. A statistical model which fits sequences of wet days in this region was developed and the relation between the wet-day sequences in the growth period (May—Sep.) and the yield was analysed and the effects of sequences with length equal to or greater than 5 days on yields were found significant using Friedman test.