

## 华北平原降水量对冬小麦产量的影响\*

盧其堯

(中国科学院地理研究所)

### 提 要

本文根据华北平原 1955—1957 年 11 个地点的冬小麦产量和降水量资料,利用 R. A. Fisher 等人提出的正交多项式方法<sup>[1,3]</sup>,计算了华北平原降水量对冬小麦产量的效果,得到三点初步结果:①生长期降水总量与冬小麦产量之间存在高度相关,②在生长期中的任何时间,“附加”降水都使产量增加,③“附加”降水所产生的最大的良好效果出现在越冬始期和开花期附近,此时每 1 毫米“附加”降水可以使产量增加约为 0.4—0.45 斤/亩。

### 一、前 言

华北平原是我国冬小麦的主要产区,实践经验表明,这一地区降水量对冬小麦产量有重大影响,但直到目前为止,对这种关系还缺乏定量的计算。本文的目的即在于给出这一地区降水量对冬小麦产量的影响的定量计算结果。

任何一种气象因子对作物产量的影响都是很复杂的,研究这种影响时,不但要考虑它在生长期中的总量,而且也要考虑它在生长期中的分配情况。为了详细分析作物生长期内各个时段的降水量对产量的影响,用一般的方法求其回归相关,不但运算手续十分繁琐,而且在短序列的资料情况下也难得出正确的结果。英国学者 R. A. Fisher 在研究罗萨姆斯特德 (Rothamsted) 试验站历年冬小麦产量与降水量的关系时,提出了回归积分 (regression integral) 的概念<sup>[1]</sup>。这一方法以后在许多国家得到应用,取得了良好的结果<sup>[2-4]</sup>。

R. A. Fisher 的方法本来是用于计算某一个地点的生长期降水量对作物产量的影响,而且为了得到比较理想的结果,还需要较长年代的资料序列。J. W. Hopkins<sup>[2]</sup> 在研究加拿大西部降水量与温度对春小麦产量的影响时,由于缺乏长序列的产量资料,他曾采用多点资料进行计算,显然,这样得出的结果可以代表这些点所分布的某一地区的平均情况,但对某一具体地点来说,则并不一定完全吻合;在他的研究中,仍然是以单点各年中降水、温度与产量的对应资料为计算基础的。在我国目前的情况下,华北平原的产量资料不但年代很短,而且很不整齐,用 J. W. Hopkins 的办法也有困难。但是我们发现,在华北平原地区,在同一年中,各地生长期中的降水量不同,冬小麦的产量也有差异,两者之间有着相当密切的关系。我们根据 1955—1957 年 3 年的资料,大体上按照站点的地理分布,选择了 11 个地点,共 31 个站年(表 1)<sup>1)</sup>,以同一年份冬小麦生长期的降水量和产量的地理

\* 本文 1962 年 8 月 22 日收到, 1963 年 2 月收到修改稿。

1) 其中保定和邯郸两地因缺乏 1954 年冬季的降水量资料,故在 1954—1955 年度中未能加入计算。

表 1 冬小麦产量(Y)与降水分配系数( $\rho_i$ )

地 点	Y (斤/亩)	$\rho_0$	$\rho_1$	$\rho_2$	$\rho_3$	$\rho_4$	$\rho_5$	
1954—1955 年								
河北	滄县	65.3	117.2	-312.4	16,563.2	-588.0	12,013.8	-61,362.2
	德州	75.8	127.9	-1,510.5	13,825.3	-63,645.5	9,531.5	-234,692.9
	惠民	81.9	147.1	-1,845.5	19,632.1	-54,808.5	11,793.1	-200,729.1
山东	禹城	87.5	150.9	-1,911.5	20,595.3	-104,773.5	14,091.1	-306,137.7
	菏泽	113.0	203.3	-604.9	18,614.9	6,294.7	9,431.1	-159,903.5
	临沂	100.3	208.2	-697.0	23,928.6	20,781.0	13,586.6	-47,251.8
河南	郑州	95.0	233.5	-822.5	9,672.7	-78,783.5	3,971.9	-172,559.6
	商丘	115.4	282.8	-1,766.2	10,504.4	-39,829.4	3,007.4	-281,760.8
江苏	徐州	121.6	233.3	-1,611.7	10,970.3	-9,671.9	2,011.9	-231,614.3
总 和		855.8	1704.2	-11,082.2	144,306.8	-325,024.6	79,438.4	-1696,011.9
平 均		95.09	193.36	-1,231.36	16,034.09	-36,113.84	8,826.49	-188,445.77
1955—1956 年								
河北	保定	90.7	110.3	1,327.7	12,512.9	5,683.9	2,859.1	-84,849.5
	滄县	86.2	97.0	1,063.6	7,131.4	-3,988.8	-74.6	-61,210.8
	邯郸	123.9	165.7	898.5	10,631.5	-24,646.5	9,140.7	-110,178.9
	德州	105.6	108.1	1,276.7	13,032.7	27,286.9	7,557.5	20,203.3
山东	惠民	104.8	109.4	1,516.6	12,372.8	20,673.2	2,636.6	-55,649.8
	禹城	88.6	90.8	782.8	7,368.8	-24,180.4	3,007.0	-45,848.2
	菏泽	118.3	157.3	1,435.1	9,364.3	-30,102.3	6,190.1	104,528.7
	临沂	130.2	173.5	1,272.5	2,263.3	-41,490.5	-5,951.9	147,784.3
河南	郑州	120.0	216.1	796.3	2,732.5	-109,450.9	-1,022.5	-181,929.1
	商丘	110.6	187.2	2,084.6	6,403.2	-5,507.8	2,542.6	173,488.4
江苏	徐州	125.0	231.4	2,439.2	8,143.6	-45,754.6	-9,157.6	118,602.2
总 和		1,203.9	1,646.8	14,893.6	91,957.0	-231,477.8	17,737.0	24,940.6
平 均		109.45	149.71	1,353.96	8,359.73	-21,043.44	1,612.45	2,267.33
1956—1957 年								
河北	保定	92.0	93.3	11.9	3,318.9	-43,767.7	-8,273.7	57,760.1
	滄县	64.0	97.6	-220.6	4,124.2	-54,729.2	-2,615.8	-16,653.0
	邯郸	93.0	88.8	518.6	1,389.6	-45,541.8	-3,754.6	-114,674.4
	德州	107.5	114.1	269.3	-204.5	-46,158.9	-4,721.5	-27,952.3
山东	惠民	72.4	114.0	-19.6	3,598.2	-20,098.2	-1,967.2	87,309.6
	禹城	74.0	115.5	450.9	577.7	-50,011.7	-4,494.9	65,029.3
	菏泽	122.6	134.1	642.1	4,686.3	-20,717.3	-1,124.3	-60,101.9
	临沂	141.9	208.5	1,655.7	5,852.7	6,939.9	2,351.3	-96,173.1
河南	郑州	116.9	186.6	1,864.0	865.8	-69,966.0	-10,308.2	-180,792.0
	商丘	114.0	235.1	2,299.1	7,064.9	24,655.7	2,728.7	-144,637.3
江苏	徐州	131.0	177.4	1,185.2	-1,081.4	-11,223.6	829.4	-203,254.8
总 和		1,129.3	1,565.0	8,656.6	30,192.4	-330,618.8	-31,350.8	-634,139.8
平 均		102.66	142.27	786.96	2,744.76	-30,056.25	-2,850.07	-57,649.07

分布的对应资料为基础,用 R. A. Fisher 等人的方法进行了计算。此外,为了验证起见,我们又根据河南省郑州 1950—1957 年 8 年冬小麦生长期的降水量与产量的资料进行了计算,也得到大致相同的结果(限于篇幅,文中未列出)。

## 二、计算方法

如果把生长期划分为若干个无穷小的时段,则生长期中各时段的降水量与冬小麦产量的关系可用下列回归积分表示<sup>[1]</sup>:

$$y = C + \int_0^T a(t)r(t)dt. \quad (1)$$

式中  $y$  是产量的估计值;  $C$  是一个常数;  $r(t)dt$  是  $t$  到  $t + dt$  时段内的降水量;  $a(t) = \frac{\Delta Y}{\Delta r}(t)$  表示  $t$  时间的降水量与最后产量之间的生理关系的一个时间函数,即生长期不同时段内每单位“附加”降水 (additional rainfall) 对产量的效果。  $a(t)$  求得以后,常数  $C$  就可以由(1)式根据产量和降水量的平均值的条件来确定。很明显,(1)式也可以作为产量的预报方程<sup>1)</sup>,因为,只要有生长期各时段降水量预报的资料,代入(1)式就可以作出未来的产量估计值  $y$ 。在根据多点资料进行计算的情况下,要确定  $C$  是困难的;不过,本文的目的并不在于求得(1)式,而是在于求出  $a(t)$ ,以便确定冬小麦生长期不同时段内降水对产量的效果,为冬小麦的合理灌溉与经济用水提供依据。

由于  $a(t)$  通常是一个变化缓慢的连续函数,因此可以相当精确地接近于一个用时间表示的多项式的少数几项。最初, R. A. Fisher 曾用了一组正交标准时间函数  $T_i$ ,把  $T_i$  直接展开<sup>2)</sup>,这样计算很麻烦;后来, F. E. Davis 和 J. E. Pallesen<sup>[3]</sup> 为使计算简化,改用正交非标准函数  $\xi_i$ ,根据正交非标准函数与正交标准函数的关系,把  $\xi_i$  化为正交标准函数,用以代替  $T_i$ ,各项系数也作同样的变换,因为  $\xi_i$  的值有现成的表可查<sup>[5]</sup>,所以计算就很方便。用  $\xi_i$  表示的  $a(t)$  如下<sup>3)</sup>:

$$a = a_0\xi_0 + a_1\xi_1 + \dots, \quad (2)$$

式中  $a_i$  是偏回归系数。(2)代入(1)得到:

$$\begin{aligned} y &= C + \int_0^T (a_0\xi_0 + a_1\xi_1 + \dots)r dt \\ &= C + a_0 \int_0^T \xi_0 r dt + a_1 \int_0^T \xi_1 r dt + \dots \end{aligned} \quad (3)$$

式中的  $\int_0^T \xi_i r dt$ , 可以用  $\xi_i$  配合降水数列,根据实际降水资料求得。用  $\xi_i$  表示的  $r(t)$  如下:

$$r = \rho_0\xi_0 + \rho_1\xi_1 + \dots \quad (4)$$

式中  $\rho_i = \int_0^T \xi_i r dt$ , 称为降水分配系数。

1) 我们对郑州单点的计算中曾求出(1)式,用每年的实际降水资料代入(1)式后,求得的每年产量的估计值与产量的实际值几乎完全吻合。

2) 展开方法见文献[1]。

3) 这里已经是正交标准多项式。





据河南省郑州 1950—1957 年 8 年资料的计算结果,复相关系数更高,  $R = 0.964$ 。

现在,再进一步测验各个偏回归系数的显著性,以便确定每一个偏回归系数的贡献。用  $t$  测验法进行测验,测验结果:在 6 个偏回归系数中,只有  $\alpha_0$  是高度显著的,  $\alpha_1 \cdots \alpha_5$  都不显著,这表明:在华北地区中,冬小麦的产量主要决定于生长期中的降水总量。

表 4 冬小麦产量的变量分析

变异原因	自由度	平方和	变 量	F
迴 归	6	7403.18	1233.86	6.005
偏 差	22	4520.51	205.48	
总 和	28	11923.69		

#### 四、结果的讨论

在图 1 上首先可以看到:整个曲线都在  $O$  线以上,也就是说,在整个生长期的任何时段中降水都感到不足,如果降水量有所增加,都可以对冬小麦产量产生正效果,即使产量增加(根据河南省郑州 8 年资料计算也得到同样结果)。这就是偏回归系数  $\alpha_0$  的高度显著性的反映,而生产实践经验和试验结果<sup>[7]</sup>也都证明了这一点。前面说过,偏回归系数  $\alpha_1 \cdots \alpha_5$  是不显著的,这表示由于生长期中降水总量不能满足小麦的需要,因而,不论生长期中降水分配的情况如何,都起不了什么决定性作用;尽管如此,但是生长期中降水量的分配情况对产量的潜在影响还是可以看得出来,例如在图 1 上,生长期各时段中降水量增加对产量所起的效果的大小并不相同。

由图 1 可见,冬小麦播种出苗以后,麦苗生长、分蘖,需要水分,“附加”降水对产量的正效果也就迅速增加,大致在进入越冬时达到第一个最大值,这时每 1 毫米“附加”降水可以使产量平均增加 0.45 斤/亩。越冬期因冬小麦停止生长,气温也很低,田间耗水量小,故曲线下降,“附加”降水所产生的效果减小,到翌年返青前后达最低值。春季小麦拔节以后,迅速生长,需水量大,“附加”降水所产生的正效果又迅速增加,到开花期附近达到第二个最大值,此时每 1 毫米“附加”降水可以使产量平均增加将近 0.40 斤/亩。此后,由于小麦渐近成熟,对水分的需要相对减小,故曲线又下降。由图 1 看出,越冬始期和开花期附近进行灌水对冬小麦产量将会有最大的效果。

华北地区有一句农谚:“麦收八、十、三场雨”,指出农历八、十、三月(即阳历 9、11、4 月)有雨小麦就会有较好的收成;而“春雨贵如油”的农谚更生动的说明华北地区春季雨水的重要性。八月有雨,可保证全苗,有利分蘖。冬灌是我国农民长期生产实践所创造的經驗,十月正是冬灌的时间。三月也正是华北地区冬小麦拔节—抽穗、开花期间,拔节—抽穗期间是小麦茎秆发育、穗部器官形成的阶段,需要大量水分,加之春季温度高、风大,水分消耗剧烈,此时灌水对小麦丰收有重要作用;而开花、灌浆期是需水强度最大的时期,这时灌水可以增强叶片光合作用强度,提高叶片生命活动能力和光合生产率,促进光合产物的迅速转化和向穗部输送、积累,使籽粒饱满度、千粒重等性状显著改善,从而获得增产。这些经验和事实,与图 1 上曲线的变化以及曲线最高峰所在的时期是非常吻合的。

根据灌溉试验的资料<sup>[7]</sup>,华北平原地区在一般年份中冬小麦整个生长期中的耗水量减降水量,按亏缺 175 公方/亩计算,而由图 1,整个生长期中每 1 毫米“附加”降水对产量的效果平均为 0.31 斤/亩,因此,水分得到满足以后,产量可以提高 81 斤/亩。由表 1 可

見,目前华北平原地区冬小麦大面积的平均产量大致在 100 斤/亩上下,这說明,单单由于灌溉一項措施,即可使現有产量提高 80%。可以想象到,在干旱的年份以及按照不同发育期的需水情况进行灌溉,效果还会更大些。

### 五、結 語

华北平原降水量对冬小麦产量的影响,根据本文的計算,得到下列三点初步結果:

1. 生长期降水总量与冬小麦产量之間存在高度相关。
2. 在生长期中的任何時間,“附加”降水都使产量增加。
3. “附加”降水所产生的最大的良好效果出現在越冬始期和开花期附近,此时每 1 毫米“附加”降水可以使产量增加約为 0.4—0.45 斤/亩。

### 参 考 文 献

- [1] Fisher, R. A., The influence of rainfall on the yield of wheat at Rothamsted, Roy. Soc. [London], *Phil. Trans. Ser. B*, 213 (1924).
- [2] Hopkins, J. W., Weather and wheat yield in western Canada. I. Influence of rainfall and temperature during the growing season on plot yields, *Canad. Jour. Res.* No. 12, 1935.
- [3] Davis, F. E., and Pallesen, J. E., Effect of the amount and distribution of rainfall and evaporation during the growing season on yields of corn and spring wheat, *J. Agri. Res.* Vol. 60(1), 1940.
- [4] 松田昭美, 暖地における水稻栽培と气象要因の統計学的研究(1), 农业气象 15 卷 1 号, 1959 年。
- [5] Fisher, R. A., and Yates, F., Statistical tables for biological, agricultural, and medical research, London and Edinburgh, 1938.
- [6] Fisher, R. A., Statistical methods for research workers. Ed. 13, 1958.
- [7] 金善宝主編, 中国小麦栽培学(上册), 农业出版社出版, 1961 年。

## THE INFLUENCE OF RAINFALL ON THE YIELD OF WINTER WHEAT IN NORTH CHINA

LU CHI-YAO

(Institute of Geography, Academia Sinica)

### ABSTRACT

The influence of rainfall on the yield of winter wheat in North China has been estimated by the application of R. A. Fisher's method<sup>[1,3]</sup> of orthogonal polynomials. Data of winter wheat yield during 1955—57 of 11 localities in North China have been used.

The results show:

- 1) a high correlation between the total rainfall of the growing season and the yield,
- 2) an increase in the yield caused by an additional rainfall at any time during the growing season,
- 3) the highest effect of additional rainfall on the yield occurs during early wintering and around blooming stages. During these two stages every additional millimeter of rainfall may increase 0.4—0.45 catty per mou.