

# 降水因子与小麦产量最优回归模型的探讨\*

张正斌 山 仑 王德轩

(中国科学院水土保持研究所·陕西杨陵·712100)  
水利部

**摘 要** 通过对陕西省关中及延安地区 58 个县(区)的 14 个降水因子和小麦产量进行相关和多元逐步回归分析,结果表明:就秦岭以北、榆林地区以南的降雨场而言,小麦生育期间的各月降水,除 2 月份以外,均与小麦产量成显著正相关;而休闲期间的 6、7、8 三月降水与小麦产量成显著负相关。得到了由 1 月、4 月、8 月降水和干燥度 4 个降水因子与小麦产量构成的最优回归模型。最后揭示了降水并不是在延安北部、关中东部和西部旱源及秦岭北坡沿线各地小麦增产的限制因子,而在关中中部及延安南部,降水增产作用得到一定程度的发挥。

**关键词** 降水因子 小麦产量 最优回归模型

## Optimum Regression Model Between Rainfall and Wheat Yield

Zhang Zhengbin Shan Lun Wang Dexuan

(Institute of Soil and Water Conservation, the Chinese Academy of Sciences and the Ministry of Water Resources, 712100, Yangling District, Xianyang Municipality, Shaanxi Province)

**Abstract** Through correlation analysis to rainfall and wheat yield in Shaanxi province, an optimum regression model of them is established. It is indicated that in the north of Yanan, the west and east of rainfed highland in Guanzhong plain and along the north slop line of the Qinling mountains, the yield-increasing of rainfall is not normally brought into play, but in the middle part of Guanzhong plain and the south of Yanan, this effect brings into play to a certain extent. And the corresponding yield-increasing measures for wheat in various areas of this province are put forward.

**Keywords** rainfall; wheat yield; optimum regression model

在干旱半干旱地区,降水是影响农业生产的一个重要因素,它直接决定着作物布局和生产潜力。本文根据 1980~1986 年陕西省农业统计年鉴资料,对秦岭以北、榆林地区以南 58 个县(区)的多年降水资料(1950~1986 年的平均值)和多年小麦单产资料(1980~1986 年的平均值)进行分析,探讨小麦产量与降水因子间的相互关系及最优回归模型,旨在了解影响陕西省粮食生产的主要降水因子及降水生产潜力,为粮食生产提供科学依据。

### 1 降水场概况

陕西省降水场分布规律是南部最多,愈北愈少,延安北部为 500mm 左右,延安南部和渭

北旱塬地区为 550~660mm, 关中平原为 600~700mm。四季分配不均, 夏季降水最多, 秋次之, 春又次之, 冬最少。各地夏季降水均占年降水量的 40%~50% 以上, 愈北夏雨率愈高。秋季降水约占年降水量的 20%~30% 以上, 是陕西省冬小麦底墒积蓄的主要来源。春季降水均占全年降水量的 15%~25%, 冬季降水仅占全降水量的 2%~3%。主要代表地区降水季节分配如表 1 所示。

表 1 主要代表地区降水季节分配表

站名	春季 (占全年降水量%)	夏季 (占全年降水量%)	秋季 (占全年降水量%)	冬季 (占全年降水量%)
延安	16	58	24	2
大荔	23	46	28	3
西安	25	41	31	3
宝鸡	22	44	32	3

## 2 结果分析

### 2.1 相关系数分析

通过对小麦产量与 1~12 月降水量和年降雨量及干燥度 14 个降水因子的简单相关分析, 结果表明: 就秦岭以北, 榆林地区以南的降雨场和小麦单产的空间与地理分布关系趋势来看有:

(1) 小麦产量与年降水量(0.086911)和 2 月降水(0.116344)相关不显著。说明年降水量较多的县(区)并非小麦产量就高, 如蓝田(720.3mm, 2154.75kg/hm<sup>2</sup>)和太白县(751.8mm, 1364.48kg/hm<sup>2</sup>)就是如此。小麦产量的高低还与地貌、土壤肥力和灌溉条件及栽培管理有很大的关系。

(2) 小麦产量与 8 月(-0.813664\*\*\*); 7 月(-0.675579\*\*\*)和 6 月(-0.364331\*\*)降水成极显著负相关。说明在夏季降水多的地县, 小麦单产反而较低。如陕北和渭北旱塬东部县(区)就是如此。该地区小麦休闲期降水很多, 且多为大雨暴雨。由于在这些沟壑纵横, 农耕地以坡地为主的地、县, 水土流失极为严重, 因而并没有为小麦底墒积蓄大量有效水分, 并且由于大暴雨冲走了大量的表土及营养元素和有机质。加之这些地县冬季高寒多风, 春季干旱缺水, 小麦生育期间降水又少, 不能满足小麦正常生长发育要求, 在土壤瘠薄, 耕作粗放的情况下, 广种薄收, 小麦每 hm<sup>2</sup> 产量普遍较低。

(3) 小麦产量与 11 月(0.698595\*\*\*); 4 月(0.656632\*\*\*); 10 月(0.655995\*\*\*)降水和干燥度(0.595559\*\*\*), 及 1 月(0.669219\*\*\*); 5 月(0.576939\*\*\*); 3 月(0.544888\*\*\*)和 12 月(0.451426\*\*)降水成极显著正相关; 与 9 月降水(0.263108\*)成显著正相关(显著水平: 5.0%—\*, 1.0%—\*\*, 0.1%—\*\*\*)。这说明小麦从播种至越冬期(9 月至 1 月)和拔节至抽穗期(3 月至 5 月)间的降水是决定陕西省小麦单产高低的重要因子。其中分蘖期(10 月至 11 月)和孕穗期(4 月)的降水尤为重要, 和小麦产量的相关系数最大。由此可以看出, 小麦生育期降水多的县(区)小麦产量一般也较高。在春秋降水较多, 而夏季降水相对较少的关中和渭北旱塬西部, 水热与小麦生长发育同步, 有较多的降水在小麦生育期间得以充分利用, 加之土壤肥沃, 灌溉方便等其它较好的生产条件, 小麦产量一般较高。

(4) 由以上分析可知, 就关中平原和渭北旱塬两大粮仓来说, 决定小麦生长发育状况及产

量潜力的是除2月份以外的生育期各月降水(9月至来年5月),并不是人们通常笼统认为的年降雨量,小麦产量与6、7、8三月降水量成极显著负相关;夏季降水多的县(区)小麦反而低产。因此在全省要获得小麦大面积丰产,主要取决于各地小麦生育期间的有效降水量及在不同生育阶段间的分配比例。同时也启示我们,在小麦生育期间有效降水不足的县(区),或遇旱少雨时,及时进行人工降雨和有限水资源的节水灌溉,如喷灌和滴灌等,是获得小麦高产的有效途径。

## 2.2 降水因子与小麦产量的最优回归模型

以上14个降水因子对小麦产量虽都有一定的决定作用和影响,但必定还有主次之分。为了挑选出作用显著的因子,建立精确的预报模型,通过多元逐步回归分析,得到如下最优回归模型:

$$\hat{y} = -83.269 + 77.45x_3 + 30.6x_6 - 16.485x_{10} + 1437.223x_{15}$$

方差分析如表2所示, $F$ 值为55.074,偏差概率为0,达极显著水平。说明此回归模型能准确地反映4个降水因子与小麦产量的回归预报关系。

此方程的意义为:就降雨场和小麦产量的空间地理分布趋势关系而言,1月和4月降水每增加1mm,小麦产量分别增加77.45kg/hm<sup>2</sup>和30.6kg/hm<sup>2</sup>,每增加一个单位的干燥度,小麦产量增加1437.223kg/hm<sup>2</sup>。

表2 方差分析表

项目	平方和	自由度	均方	F值	概率
回归	587438.31	4	146859.56	55.074	0.0
残差	141328.56	53	2666.58		
总和	728766.88	57	12785.38		

经过变量选择后,如表3所示,小麦产量与8月、1月和4月降水及干燥度4个降水因子的复相关系数为0.8978。它们共同决定了小麦产量变异的80.6%。其中8月降水占66.2%,在很大程度上决定了小麦产量的变异。而1月和4月降水及干燥度分别只决定了小麦产量变异的9.5%和3.6%及1.29%。

由于标准回归系数消除了量纲的影响,因此它能直观反映自变量对因变量的回归预报作用。偏相关也叫净相关,是指消除其它因子以后,

表3 复相关系数和决定系数表

项目	复相关系数	决定系数	决定系数变化
$x_{10}$ 8月降水	0.8137	0.6620	0.6620
$x_3$ 1月降水	0.8701	0.7570	0.0950
$x_{15}$ 干燥度	0.8775	0.7699	0.0129
$x_6$ 4月降水	0.8975	0.8061	0.0361

某个因子与小麦产量间的线性相关。从表4中可以看出,以上4个降水因子对小麦产量的回归预报作用为:4月降水>干燥度>8月降水>1月降水。其中4月降水、8月降水和干燥度3个因子与小麦产量的偏相关均达极显著水平。说明这3个因子与小麦产量有着内在的和独立的真实线性相关关系。因此,它们对小麦产量的回归预报作用较大。而1月降水与小麦产量的偏相关不显著,故回归预报作用较小。

## 2.3 降水预测产量分析

利用以上最优回归模型对各地小麦降水产量进行预测,我们可以得出如下结论。如表5所示。

表4 标准回归系数和偏相关系数表

项 目	标准回归系数	偏相关系数	T 值	概率
$x_3$ 1月降水	0.14011	0.2025	1.5056	0.1381
$x_6$ 4月降水	0.37600	0.3964	3.1429	0.0027
$x_{10}$ 8月降水	-0.33526	-0.3602	-2.8109	0.0069
$x_{15}$ 干燥度	0.34695	0.4198	3.3675	0.0014

表5 实际产量和预测产量表

kg/hm<sup>2</sup>

地名	实际产量	预测产量	偏差	地名	实际产量	预测产量	偏差
吴旗县	588.38	885.45	-297.07	千阳县	1721.85	1937.25	-215.40
安塞县	629.63	830.55	-200.92	凤 县	1086.38	1326.17	-290.40
子长县	593.40	855.60	-262.20	眉 县	2470.50	2799.45	-328.95
延川县	686.85	1422.90	-736.05	礼泉县	2484.38	2650.58	-166.20
延长县	834.00	932.40	-98.40	周至县	2865.75	2974.80	-109.05
宜川县	868.50	946.05	-77.05	长安县	2773.50	3127.13	-353.63
麟游县	918.53	2033.45	-1114.87	合阳县	2115.75	2134.13	-18.38
耀 县	1622.25	2407.13	-784.88	白水县	1636.50	1757.85	-121.35
华阴县	2200.50	2479.28	-278.78	乾 县	2532.15	2679.15	-147.00
华 县	2367.00	2610.15	-243.15	永寿县	1738.50	2081.63	-343.13
蓝田县	2154.75	2555.63	-400.88	宝鸡县	2436.00	2574.08	-138.08
灞桥区	2904.75	2988.15	-83.40	铜川郊区	1478.25	1286.25	192.00
韩城市	2043.00	2094.90	-51.90	延安市	919.50	697.28	222.23
富平县	2319.75	2479.05	-159.30	志丹县	694.58	614.18	80.40
淳化县	1473.00	1784.10	-311.10	甘泉县	1002.00	571.05	730.95
太白县	1364.48	1366.20	-1.72	黄陵县	1217.25	1144.13	73.12
潼关县	1953.00	2450.55	-497.55	黄龙县	1088.40	878.33	210.08
澄城县	1864.50	1916.10	-69.60	宜君县	1038.75	1020.30	18.45
彬 县	1737.38	2120.25	-382.88	陇 县	1720.50	1212.60	507.90
渭滨区	2230.13	2180.63	49.50	岐山县	2905.50	2338.20	567.30
兴平市	3454.65	2680.65	774.00	扶风县	3125.78	2727.53	398.25
三原县	2873.10	2680.80	192.30	武功县	2832.38	2618.18	214.20
蒲城县	2051.25	2011.20	40.05	秦都区	3201.00	3029.02	171.98
洛川县	1333.50	1195.13	137.77	户 县	3366.75	3192.90	173.85
富 县	1598.25	1150.13	448.13	高陵县	3787.13	2928.45	858.68
长武县	2154.75	1668.00	486.75	泾阳县	3093.53	2703.60	389.93
旬邑县	1759.88	1515.45	244.43	临潼县	3072.75	2887.73	185.03
金台区	2939.25	2180.63	758.63	渭南市	2930.63	2751.68	178.95
凤翔县	2424.00	2161.80	262.20	大荔县	2614.50	2579.55	34.95

在延安北部的黄土丘陵沟壑区,关中东部旱塬和西部旱塬,渭北高塬沟壑区和秦岭山脉北坡沿线各县,降水预测产量在不同程度上高于实际产量。说明在这些地区,降水并不是目前生产状况下小麦产量达到高产水平的限制因子。在这些地区降水增产作用仍未完全发挥。主要是因为,在这些地区农耕地以坡地为主,土层瘠薄质地很差, (下转第50页)

型, A, B 区谱带与 7859-18 和运 78-2 相似, 而 C 区谱带与陕合 6 号等几个旱地品种相似。从水分胁迫后单叶干重和单株鲜重以及经济性状等指标进行综合评价, 咸农 68-3 的抗旱性尚属过渡类型, 在生产中它的抗旱性也有争议, 此结果与同工酶谱分析有一定吻合性。

以上结果表明, 拔节期小麦功能叶过氧化物酶同工酶对水分胁迫的响应是比较敏感的, 某些同工酶酶活性的增加与小麦的抗旱性具有一定的正相关关系, 同时表明, 过氧化物酶在拔节期冬小麦对水分胁迫的响应中起着积极的作用。

#### 参 考 文 献

- 1 孔祥瑞. 自由基及其分子生物学研究进展. 生物科学动态, 1984(4):11~18
- 2 Edward H Lee, Jesse H Bennett. Superoxide Dismutase. Plant physiol. 1982, 62:1444~1449
- 3 Fisher K S et al. Drought Resistance in Crop with Emphasis on Rice. 1983. 377~399
- 4 Irwin Fridovich. The Biology of Oxygen Radicals. Science. 1978. 201:875~880
- 5 Mali P C, Mehta S C. Effect of Drought on Proteins and Isoenzymes in Rice during Germination. phytochem, 1977, 16:543~546
- 6 Stutte C A, Todd G W. Some Enzyme and Protein Changes Associated with Water Stress in Wheat Leaves. Plant physiol. 1969, 39:379~386

~~~~~  
(上接第 34 页)

加之耕作粗放, 水土流失极为严重, 蓄水保水保肥能力很差, 不能充分贮蓄和经济利用有效降水, 造成了“有水干旱”现象。且山区经济落后, 化肥投入量有限, 多是广种薄收, 撂荒轮作, 生产力低下, 没有发挥现有条件下的降水生产潜力。因此, 在这些山区和丘陵沟壑区, 兴修梯田, 推广水土保持耕作法, 最大限度的利用有效降水, 同时增加化肥投入, 以肥调水, 小麦产量就易于再上一个新台阶。

在延安南部的洛川塬, 黄龙山和子午岭山地, 渭北黄土高原沟壑区、丘陵沟壑区西北边沿 3 县, 关中平原渭河流域两岸, 降水预测产量在不同程度上低于实际产量。说明在目前生产状况下, 降水增产作用在这些地区得到了一定程度的发挥。其高产主要是通过种植优良品种, 增施肥料和扩大灌溉面积, 采用先进科学技术和其它环境因子作用而获得的。因此, 在这些地区, 小麦要进一步高产, 首先要选用矮秆抗病耐水肥高产潜力大的优良品种, 同时进一步扩大灌溉面积, 合理灌溉, 提高水分利用效率, 增加肥料投入, 加强病虫害的防治, 采用先进的科学技术指导小麦生产, 这样才能进一步挖掘这些农业历史悠久地区的生产潜力。