

# 固原 30 年粮食产量变化及 技术进步贡献的数量分析

徐学选 陈国良

中国科学院  
(水土保持研究所·杨陵·712100)  
水利部

马国忠

(固原县农业现代化基地办·宁夏固原·756000)

**摘 要** 运用时间序列与多元回归分析法,对固原县 30 年粮食单产变化及技术进步贡献进行了较系统的分析,结果表明:(1)该县粮食产量在 30 年中经历了三个阶级:60 年代中后期,单产徘徊于  $450\sim 750\text{kg}/\text{hm}^2$ ,技术退步,导致减产的贡献显著大于气候不利造成减产的贡献。70 年代至 80 年代初,单产在  $750\sim 1\,200\text{kg}/\text{hm}^2$  徘徊,并有其技术水平对产量增加的贡献为 46%,接近于气候不利带来的负增产(54%)。1983 年至 1993 年,粮食有明显增长,单产基本稳定进入  $1\,200\text{kg}/\text{hm}^2$ 。技术水平对产量增加贡献占 79.2%,而气候不利的负增产仅占 20.2%,技术水平的贡献明显大于气候的影响。(2)从 1970 年始,粮食单产变化中各技术水平因子的贡献分别为:良种 32.2%、化肥 26.5%、牧业与农肥 24.4%,农田基建 16.8%。在 1983~1993 年间,技术进步占到单产提高的 48.67%、生产条件改善为 31.13%,其余为气候带来的负增产贡献。

**关键词** 时间序列 气候影响 技术进步 贡献份额

## The Variation Features of Grain Yield in Guyuan County in Recent 30 Years and the Contribution of Associated Factors

Xu Xuexuan Chen Guoliang

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

Ma Guozhong

(Guyuan County's Office of Agriculture Modernization, Guyuan, Ningxia, 756000)

**Abstract** The long historical unit grain yields in Guyuan were analysed by using single factor's multi-times regression, and multi-factors regression, the variation features of unit yield in recent 30 years and their relationships with the associated factors were also analyzed. The results show that: ① The variation classed into three stages: In mid-late 60's unit yield varied around  $450\sim 750\text{kg}/\text{hm}^2$ , with technique retrogression and unfavourable climate. In 70's~80's, unit yield fluctuated around  $750\sim 1\,200\text{kg}/\text{hm}^2$ , with some technique's development. In late

90's the unit yield reached at 1 200kg/hm<sup>2</sup> with the largely contribution of technique's development ②Began at 1970, the contribution factors of technique on unit yield's variation are that: among total contribution of technique factors, poultry (manure) 24.4%, chemical fertilizer 26.5%, improved varieties 32.2%, terrace field 16.8% during 1983~1993, Influence of factors on increasing unit yield was divided as follow: 48.67% was from technique development, 31.13% was contributed by improved produce condition, and others 20.2% came from oscillated climate.

**Key words** time order climate influence technique development share of contribution

宁南固原县,近30年来,粮食生产取得较大幅度提高,由1964年1hm<sup>2</sup>的621kg提高到1993年1 320kg,为满足全县45万人口生活,并将在今后达到小康水平起到了坚实的基础作用,另一方面,我们也应看到最低单产(1hm<sup>2</sup>)只有210kg,最高达1 320kg。分析气候波动带来的系统振荡及影响单产水平的因子贡献量,以寻求提高粮食单产的高效途径及掌握粮食单产水平的理论期望,在评价和认识当地生产力及实践中促进粮食单产上水平均有指示意义。本文利用固原县30年粮食单产数据,24年的生产因子情况(包括家畜、化肥、良种、梯田),分析了全县单产及其影响因子,其目的在于包括总结30年来固原县粮食生产的真实水平,寻求提高途径。粮食单产受那些因素影响,影响程度如何,目前单产随时间如何变化,这一变化能否满足全县人口的需求,探讨以上问题,其必要性和重要性都是显而易见的。

## 1 研究方法

对固原县粮食单产进行时间——单产序列分析,运用多项式回归,模拟时间——单产水平方程,求其期望值,代表技术水平值,并用实际单产量——技术单产,求得气候单产,分析气候单产,气候、技术水平对单产的影响。

利用技术单产与实际生产中各因子投入量(化肥、良种、梯田面积、家畜)进行多元回归统计,分析各因子投入对单产提高的影响,对增加投入的方向和今后单产提高有指导作用。

## 2 研究对象的基本情况

### 2.1 研究区自然气候条件

固原县年平均降水467.9mm,干燥度1.6,平均气温6.2℃,≥10℃积温(>80%保证率)为2 150~2 360℃,生长期130~142d,干旱发生频率64%,并常有霜冻、冰雹、水灾等气候灾害,气候区划为温凉半干旱区。

### 2.2 粮食生产情况

几十年来,固原县粮播面积在8.33~11.20万hm<sup>2</sup>之间,逐年呈下降趋势,其种植作物有:冬小麦、春小麦、糜谷、玉米、莜麦、豌豆、马铃薯等。其单产水平50年代前徘徊在450~750kg/hm<sup>2</sup>,60年代645kg/hm<sup>2</sup>,70年代618kg/hm<sup>2</sup>,1980~1984年平均774kg,1985~1989年为915kg/hm<sup>2</sup>,进入90年代平均达1 170kg/hm<sup>2</sup>,出现较大幅度提高。

另一方面,单产年际变率大,变幅在210~1 320kg/hm<sup>2</sup>,制约了其它产业发展。为此,全县在农业投资上不断加强,大家畜由5~6万头发展到9.56万头,化肥投入由400t提高到16 835t,提高342倍,良种面积已占播种面积80%,农机总动力由355万马力增加到11 360万马力,并大

搞农田基建。农业基础地位得到很大程度加强。尽管如此,单产低而不稳,气候波动造成粮缺仍有不同程度地发生,在投入的效益上尚不理想。

### 3 结果与分析

#### 3.1 单产——时间模型的建立

对固原县 1964~1993 年粮食单产进行多项式回归分析(数据见表 1),并对单产的三年滑动平均及技术产量、实际产量作图 1。

多项式回归方程:

$$Y_{it} = Y_t + Y_o \quad (1)$$

$$Y_t = 7210 - 188.4t + 1.35t^2 \quad (2)$$

$Y_{it}$  为实际单产; $t$  为年代的后两位; $Y_t$  为技术单产; $Y_o$  为气候单产。气候单产  $Y_o = Y_t - Y_{it}$ ,正值反映气候有利,负值表示气候灾害造成减产。

方程②检验: $F = 10.98, F_1 = 22.56, F_2 = 5.97, Se = \pm 199.2, F(1, 25)0.05 = 4.24, F(2, 257)0.01 = 4.18$  均达 95% 显著水平,可以用来计算,得到气候产量  $Y_o$ 、技术产量  $Y_t$  列入表 1,并作图 1。

表 1 固原县粮食作物单产——时间序列计算表

kg/hm<sup>2</sup>

年 代	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978
单 产	615	750	555	720	615	615	570	690	525	210	825	780	525	630	885
回归 $Y_t$	672.8	659.1	647.1	638.7	632.6	629.1	628.4	630.3	635.0	642.3	652.4	665.1	680.6	698.7	719.2
气候 $Y_o$	-57.8	90.9	-92.6	81.3	-17.6	-14.1	-58.3	59.4	-110.0	-432.3	172.7	114.9	-155.6	-68.7	165.4
幅度 %	-8.6	13.8	-14.3	12.7	-2.8	-2.2	-9.3	9.4	-17.3	-67.3	26.5	17.3	-22.9	9.8	23.0
年 代	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
单 产	540	885	570	375	990	1050	1005	1050	480	915	1200	1245	1215	900	1320
回归 $Y_t$	743.1	768.8	798.3	830.0	864.3	901.4	941.1	983.6	1028.7	1076.6	1127.6	1180.4	1236.3	1295.0	1356.3
气候 $Y_o$	-203.1	110.1	-288.3	-455.0	125.7	148.7	63.9	66.5	-548.7	-161.6	72.9	64.7	-21.3	-395.0	-36.3
幅度 %	-27.3	15.1	-28.6	-60.3	14.5	16.5	6.8	6.8	-53.3	15.0	6.5	5.5	-1.7	-30.5	-2.60

对方程②求一阶偏导,得到单产增加率方程,  $Y'_t = -188.4 + 2.70t = 0$ , 令  $Y'_t = 0$ , 得到  $t = 70$ , 证明,固原县单产的技术增量是从 1970 年后不断增加。

对方程②求二阶偏导,得单产增加率速度,  $Y''_t = 2.7$ , 表明从 1970 年始,固原县粮食单产水平以加速度 2.70kg/a 的叠加速度增加,逐年单产的增加幅度加大,使从 1970—1993 年技术单产由 628kg 提高到 1356kg。

#### 3.2 气候产量分析

从气候产量  $Y_o$  变化引起的单产振荡率(表 1),我们可以划分气候年型为适宜性气候、正常型气候、灾害型气候。其标准为单产振幅  $\pm 10\%$  内为正常型,  $>10\%$  为适宜型,减产率  $>10\%$  为灾害型。从 1964~1993 年共 9 年适宜型,12 年正常型,9 年灾害型,其中单产增幅  $>20\%$  的大丰年共 2 年,发生在 1974、1978 年。减产幅度  $>30\%$  的为重灾年,共 4 年,发生在 1973、1982、1987、1992 年,减产幅度分别为 67%,60.3%,53.3%,30.5%。参考固原县统计年鉴,此 4 年均发生特大干旱,成灾面积均超过 6 万 hm<sup>2</sup>,比平均成灾面积 2.52 万 hm<sup>2</sup> 大许多。而丰收的 2 年其全县未有成灾地块。正常型大都遭受较轻程度的旱灾、冰雹等,证明模拟可靠。

固原县人均占有粮一直在 230~300kg 之间,大灾的 4 年人均占有粮分别只有 76.5kg,95.6kg,98.3kg,和略高 100kg,一定程度造成了粮荒,在多变低水环境下,干旱是一长期现象存在的固原县,采取什么措施以提高单产稳定率,保证人民生活、将是一个艰巨任务。

## 4 影响单产提高的因子分析

从1964~1993年的30年间单产情况(见表), 可以看到其在经过1964~1982年徘徊之后, 产量有很大提高。依据稳定性与突变性结合, 我们可把近30年单产变化划分为3个阶段: 从1964~1982年, 单产在210~750kg/hm<sup>2</sup>内起伏不定属原阶段; 1983~1988年, 单产渐升, 进入750~1200kg/hm<sup>2</sup>台阶, 为第二阶段; 1988年后, 单产较稳定跨入1200kg, 划分为第三阶段。1993年技术单产水平达1356kg, 这一巨大成绩必然蕴含了丰富的内涵, 其增产机制, 增产因子的贡献仍有必要做进一步分析。

### 4.1 农业技术水平与气候条件对单产贡献的分析

农业技术水平对单产的贡献量可用公式(3)计算:

$$\Delta Y_t = \begin{cases} t_2 \\ t_1 \end{cases} 7201 - 188.4t + 1.35t^2 \quad (3)$$

气候条件等对实际单产的贡献量可用公式计算:

$$S = \sum_{i=t_1}^{t_2} /Y_0(i) \quad (4)$$

$$S' = \sum_{i=t_1}^{t_2} Y_0(i) \quad (5)$$

$\Delta Y$  表示  $t$  时段内技术水平提高带来的技术单产提高量之和。

$S$  表示  $t$  时段内气候波动产生的产量波动量之和;

$S'$  表示  $t$  时段内气候波动产生的对实际产量的影响量之和。

为了说明两因素(技术水平, 气候因素)对实际单产波动的贡献和对实际单产提高的贡献, 我们采用公式6, 7, 8, 9, 计算并作表2

$$R_y = \Delta Y_t / (\Delta Y_t + S) \cdot 100\% \quad (6)$$

$$R_{y_0} = S / (\Delta Y_t + S) \cdot 100\% \quad (7)$$

$$R = \Delta Y_t / (\Delta Y_t + /S'/) \cdot 100\% \quad (8)$$

$$R' = S' / (\Delta Y_t + /S'/) \cdot 100\% \quad (9)$$

据表2, 在对单产变化的影响中, 从以上三个阶段数字说明, 在1964~1970年, 技术是退步的, 它占对实际产量波动影响的33.7%; 到1971~1982年, 技术水平提高, 对单产变化起着促进其增产的作用, 占总变化量的25.8%, 随着1983~1993年技术不断进步, 它影响产量变化已达总变化的56.6%。

由于气候波动影响产量变化的作用是双向的, 即增产和减产, 为了表示它对单产提高的作用、和技术水平提高带来的单产提高, 需要把气候波动影响部分合并为增产一个方向, 然后再作比较。见表2对单产变化趋势的贡献部分: 在第一阶段, 单产不断减降低, 技术退步占78%, 气候不利占22%; 第二阶段, 技术水平提高, 影响单产增加的趋势占46%, 而气候不利引起减产的趋势占54%; 第三阶段, 技术进步引起增产的趋势为79.8%, 而气候不利造成减产的趋势为20.2%。故在三个阶段中, 气候波动造成了一定程度减产, 所以第二阶段为重, 随着技术水平的提高, 气候波动是造成的减产影响逐渐减小。

表2 各因素不同时段对粮食单产的变化和提高的平均相对贡献(%)

时段	技术增量 $\Delta Y_t$	气候增量 $S$	对单产 $S'$	波动贡献			
				$R_w$	$R_{w'}$	$R$	$10R'$
1964~1970年	-14	27.5	-4	-33.7	66.3	-78.0	-22.0
1971~1982年	53	152.1	-62.6	25.8	74.2	46.0	-54.0
1983~1993年	148.1	113.7	-37.6	56.6	43.4	79.8	-20.2

注:“-”号表示起减产作用。

#### 4.2 影响农业技术水平的因子贡献分析

4.2.1 影响因子的回归方程建立 影响单产的技术因素很多,它们对单产的贡献有直接的,也有间接的。这里选择了以下6个因素,代表众多生产条件硬件因子对产量贡献进行综合分析。它们是:畜牧业(大家畜)、化肥、良种、农田基建(梯田)、水浇地、农业机械(总动力)等,对6因子与单产进行多元回归统计(数据见表3)。

表3 各年生产因子与数据表

年代	1970	1971	72	73	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981
大家畜(头)	6.38	6.28	6.16	5.81	5.23	5.29	5.11	5.10	5.21	5.43	5.75	6.56
化肥(t)	470	1023	399	400	773	1185	3220	524	696.1	672.5	658	632.5
梯田万hm <sup>2</sup>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
良种覆盖率	0.05	0.05	0.05	0.50	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
年代	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
大家畜(头)	7.05	7.06	7.75	8.55	10.10	9.57	9.30	9.16	9.28	9.19	9.40	9.56
化肥(t)	1313.7	1635	4654	5359	6461	6880	7755	11909	15326	15215	12960	16835
梯田万hm <sup>2</sup>	0.51	0.51	0.51	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	1.58	1.58	1.58	1.58
良种覆盖率	0.10	0.15	0.18	0.22	0.30	0.36	0.44	0.48	0.60	0.70	0.75	0.80

注:大家畜代表农肥与牧业,梯田代表农田建设,农机总动力、水浇地由于统计不显著畜牧未列入

其回归模型为:

$$Y = 461.7 - 31.7X_1 + 1.09 \times 10^{-2}X_2 + 292.8X_3 + 4.2X_4 \quad (10)$$

$Y$ —单产水平理论单产; $X_1$ :—大牲畜(万头); $X_2$ :—化肥投入量(t); $X_3$ :—良种推广率(%); $X_4$ :—梯田面积(hm<sup>2</sup>)。

回归方程经检验: $R = 0.997$ ,  $F = 581.9$ , 方程达0.01显著水平,表明此方程可用来分析因子对单产的影响。

方程的一次系数代表每单位因子水平变化带来的单产反应程度,但由于量纲不同、尚难以比较各因子贡献大小。它可以量化为每个因子变化后,带来的产量反应,如良种覆盖率: $X_3$ 系数为292.8,表明每提高1%的良种面积,单产将增加2.928kg,从1980~1993年,良种率由10%提到80%,单良种对单产的提高在13年间已达到205kg。

4.2.2 因子贡献大小排序 为了判明各因子对产量 $Y$ 的影响大小,尚需对方程③的系数标准化。

标准化后 $B'_i$ 分别为 $B'_{X_1} = 0.244$ ,  $B'_{X_2} = 0.265$ ,  $B'_{X_3} = 0.322$ ,  $B'_{X_4} = 0.168$ 第 $i$ 个因子 $\sum B'_i = 99.9\%$

根据 $B'_i$ 大小,可直接得到各因子对技术产量的贡献份额。

固原县从1970~1993年,粮食技术单产由41.89kg提高到90.42kg,提高1.18倍,这一成绩的取得,除了栽培技术措施导入外,其生产条件,投入的贡献按如下分配:农肥因素占24.4%,化肥占26.5%,良种占32.2%,梯田占16.8%。

以上分析表明,农肥的变化对产量影响额为24.4%,而化肥、良种、梯田这些主要在80年代才导入生产系统的总贡献已占到75.6%,从80年代开始,粮食单产有较大幅度提高,其主要成

绩是这些新因素导入引起的,特别是良种的作用尤其明显,今后应进一步加强以良种推广为中心的服务体系,大搞农田基本建设、增加化肥投入。另一个启示是,从80年代后,由于一两个新因素的导入,其单产提高很大,今后应注意向农田注入新的因素,现在有苗头的是:白色革命——地膜、径流农业——窑窖集流技术。无疑在今后将起到更大作用。

#### 4.3 技术进步对单产增加的贡献

在1983~1993年间,技术水平对单产提高的贡献占79.8%,而这主要是由4个因素带来的,它们分别为:良种33.2%、化肥26.5%、牧业(农肥)24.4%,农田基建(梯田)16.8%。而这4个因素在此期间的进步为:良种由5%覆盖率,提高到80%、增加率为93.8%;化肥由于其原技术(浅施)仅带来20%增产,而新技术(深施)效益达增产100%,故其科技贡献由其总贡献26.5%的80%求得,牧业对单产提高的贡献主要表现为农肥的增加,(由于大家畜变化基本反映牧业的羊、猪等的增加带来农肥的增加,故以大家畜为因子计算),而农肥增加主要产生于单产增加,农副产品增加,它是化肥、良种等新技术产生效益的次生效益。在此阶段农肥增加量与1970~1980年增加了约35.6%,那么农肥中科技进步带来的效应为 $24.4\% \times 35.6\%$ ,合8.69%。农田基建贡献不计入科技进步中。

综上所述,四个因素中的科技进步成份(K)为: $K = 0.332 \times 0.938 + 0.265 \times 0.80 + 0.869 = 60.99\%$

由此,科技进步贡献为 $W = K \times 79.8\% = 48.67\%$ 。

由上所得:固原县粮食单产在1983~1993年间跃上平均单产 $1200\text{kg}/\text{hm}^2$ 台阶,科技进步在其增产中起了48.67%的贡献。同时,生产条件改善的贡献为79.8%~48.67%,即贡献为31.13,其余20.2%为气候贡献。

### 5. 结论:

(1) 30年来单产强烈地受气候波动而振荡,其灾害性气候往往会造成较大幅度减产,尤以旱灾为重,单产波动率达30%~67%之高。

(2) 固原县粮食单产在1964~1993年间经历了3个阶段,即1964~1970年,单产徘徊在 $450 \sim 750\text{kg}/\text{hm}^2$ 、1971~1982年,单产为 $750 \sim 1200\text{kg}/\text{hm}^2$ ,1983~1993年单产较稳定超过 $1200\text{kg}/\text{hm}^2$ ;其中生产技术水平与气候波动对单产的贡献特点各不相同,以技术生活水平的增产贡献由逐渐增强,气候波动对单产变动影响减弱为特征。

(3) 技术水平的对单产增加的贡献,可认为是生产因子变化引起的,各生产因子的贡献分别为:良种32.2%,化肥26.5%,农肥24.4%、农田建设16.8%,它们构成了技术水平对单产的总贡献。

(4) 三个时间,技术水平和气候因素对单产增加和变化的贡献是不同的,在1983~1993年间,其技术水平的增产贡献为79.8%,其中技术进步贡献占到48.67%,生产条件改善占31.13%,气候的负增产贡献为20.2%。

(5) 单产水平提高进入80年代更加明显,这于从80年代始导入的良种、梯田等新因素的贡献密切相关,今后应注意加强良种化,整修农田,寻求和导入新的因素,使单产不断提高。

存在问题:本文仅对提高单产的硬件措施进行了分析,面对科技投入(如模式栽培、施肥技术、集团承包技术的贡献)未进行分析,它们无疑对生产起重要作用。

(下转第207页)

场应采取封育、补播、翻耕等方式进行改良充分发掘草地的生产力。三是搞好农副秸秆的加工利用,大力推广氨化、青贮技术,麦草经过氨化粗蛋白质可从2%提高到10%,青贮技术可以把玉米秸秆的营养损失减少到最低程度,以解决冬春季饲草供给。

(3)对牧业内部要以市场为导向不断的调整畜群、畜种结构,引进优良品种,提高畜种质量,同时必须打破传统的粗放的养殖方式,推广优质、快速、高效的养殖技术,缩短养殖周期,推广牛、羊、猪快速育肥技术。羔羊当年育肥出栏,采取放牧补饲相结合,推广配合饲料和塑料大棚保温养殖技术。

#### 参考文献

- 1 中国草地科学研究与发展战略. 中国科学技术出版社,1991
- 2 王继武. 半干旱黄土丘陵区建设人工草地技术的研究. 中国水土保持,1988
- 3 王继武、祁德才. 提高畜牧业生产的途径和技术的研究. 水土保持学报,1991
- 4 中国科学院. 宁夏回族自治区固原县综合考察队. 黄土高原典型地区宁夏固原县农业区划与应用,宁夏人民出版社,1986

(上接第201页)

#### 参考文献

- 1 魏淑秋编著. 农业气象学,福州:福建科学技术出版社,1985
- 2 宁夏固原县科委. 固原县科技发展规划,1991.9
- 3 张宇. 近40年来我国粮食产量变化特征初步分析. 中国农业气象,1995,16(3):1~4
- 4 夏恩君,王培志等. 农业技术进步贡献份额与技术效率的测算分析. 农业系统科学与综合研究,1995,11(3):173~176