

# 绥米地区作物产量与水肥生产要素的关系

蒋定生 帅启富 刘乐融

(中国科学院西北水土保持研究所)

## 一、前言

农作物的产品 $y$ 可以看作是许多生产因素的函数:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (1)$$

这里,  $y$ —农作物的产量或者别的任何出产物, 譬如糖、蛋白质等等;

$x_1, x_2, \dots, x_n$ —外界环境因素。

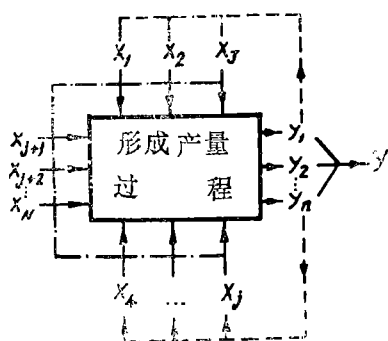
农作物产品形成过程是十分复杂的生物学过程。目前, 生物科学还不可能根据环境参数来计算植物的生物合成物。

从控制论原理出发, 可以把作物产品形成过程看作一个“黑箱”, 而把农作物在外界环境影

响下形成产品的整个系统当成输入—输出变换模型, 以研究输入植物“黑箱”各因素与输出产品之间的相互关系(图1)。

本文试图从这一原理出发, 来研究绥米地区几种主要农作物(谷子、马铃薯和大豆)的产量与生产要素的关系。一切影响农作物产量的因子, 大抵可以划分为两大类: 第一类因子与耕作水平有关(如施肥、耕作措施、品种、倒茬等); 第二类即是气象因子。人们不可能对所有与产量有关的生产因子进行分析。鉴于本区光温资源比较丰富, 因而在生产要素中, 我们仅选取水、肥两方面的因子来进行研究。

谷子、马铃薯和大豆, 是绥米地区主要种植作物。自七十年代至今, 上述三种作物的种植面积已占总播种面积的50%左右。这些作物收成的丰歉, 与本区人民的生活水平息息相关。



$y$ —农作物的产品;

$x_1, x_2, \dots, x_j$ —属于可以调节的外界环境因子;

$x_{j+1}, x_{j+2}, \dots, x_n$ —不可调节的因子;

$y_1, y_2, \dots, y_n$ —中间输变量, 由此对可调节因子产生反馈;

—·—·— 一反馈符号;

—·—·— 一因子相互联系的符号。

图1 外界环境对农作物产品的影响框图

建国以来, 谷子、马铃薯与大豆的单位面积产量在逐步提高, 特别是1976年以后, 由于品种的改良, 化肥投入量的增多, 以及在农村推行新的经济政策等原因, 这三种作物的单产有很大的增长。据米脂县1982年统计, 其单产分别达到227.7斤、322.9斤(已折算成粮食)和149.3斤的较高水平, 但是产量年际波动很大。图2绘出了米脂县谷子的全县平均单产年际变化, 应用“重心描绘法”可求出生产水平线(图中虚线), 位于这条曲线上的点子是时间趋势产量 $y_t$ , 而与这条线的正负离差可认为是天气条件影响所致, 或者称为气象产量 $y_w$ 。30多年来, 本区上述三种作物的平均气象产量的相对增产率 $\frac{y_w}{y_t} \times 100$  (%) 一般都在21—27.5%之间。陕北素有“十年

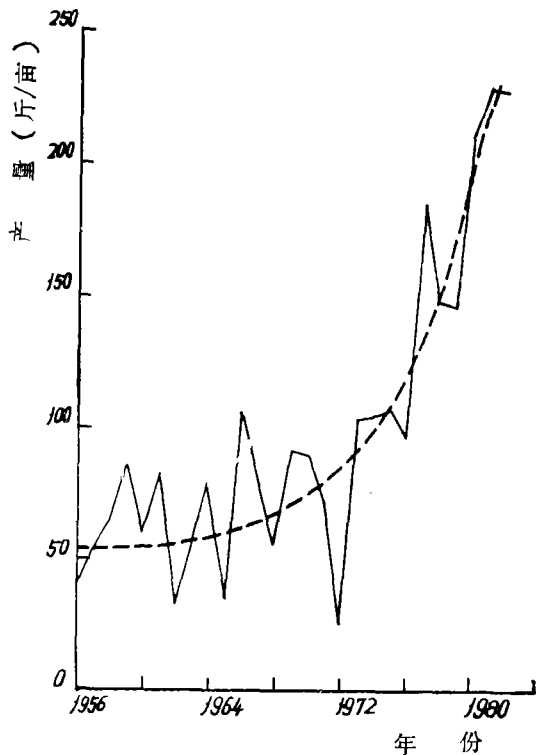


图2 米脂县谷子平均单产年际变化图

县不同时期降水量超过多年平均值每10毫米对谷子产量所产生的影响。可以看出，横座标以上曲线有明显的两个峰区：

第一个峰区介于6月10日至6月30日之间。绥米地区的谷子一般是5月中下旬播种，这时正值谷子长苗期，雨季尚未到来，夏旱常有发生。因此6月中下旬雨量正距平有利谷子捉苗和保苗，这时的降水对谷子产量的作用是正效应。此时每增加10毫米降水，可使谷子单产约增加9.2斤，相当于多年平均的9.5%。在下边的统计分析中，我们将把这一时期的降水量定为第一生产因素 $x_1$ 。

第二峰区约介于7月11日至8月10日之间，这时段正值谷子孕穗期。有关资料表明，谷子的孕穗期对水分十分敏感，水分的缺乏或过多，对产量影响很大，故被叫做水分临界期。分析表明，在绥米地区，这个时段的降水对谷子产量的作用也是正效应，每超过多年平均值10毫米的降水，可使谷子单产约增加2.5—8.5斤，相当于多年平均单产的2.6—8.8%。在统计分析中，将这一时段的降水量定为第二生产因素 $x_2$ 。

**2、马铃薯、大豆产量与降水。**运用同样方法，自图4可以找出马铃薯的水分敏感期是6月10日至7月10日和7月21日至8月20日，它们分别相当于马铃薯种子萌发期至幼苗初期和开花至块茎形成期。这期间的降水量对马铃薯的影响最大。分析中，这两个生产因素分别定为 $x_3$ 及 $x_4$ 。

大豆的水分敏感期为6月25日至7月15日和9月1日至9月20日，在生育期上，它们分别处于分枝至始花和鼓粒至成熟阶段，将这期间的降水量分别定为 $x_5$ 及 $x_6$ 。

九春旱”，“三年两伏旱”之说，气象产量的变化主要由降水造成。可见，探讨本区水、肥生产因素对作物产量的影响，并对其产量趋势进行预测，趋利避害，为使这些作物持续保持增产势头提出决策，有着一定意义。

本文所采用的粮食产量、降水量和施肥量等方面的样本取自米脂县。

## 二、降水对谷子等农作物产量的影响

**1、谷子产量与降水。**产量与各时期降雨的相关性取决于关键期（或临界期）和实际降雨量的变化范围。图3给出了米脂

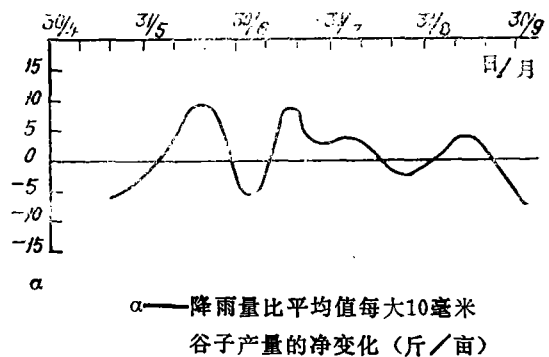
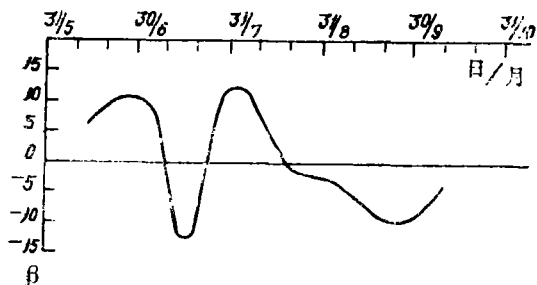
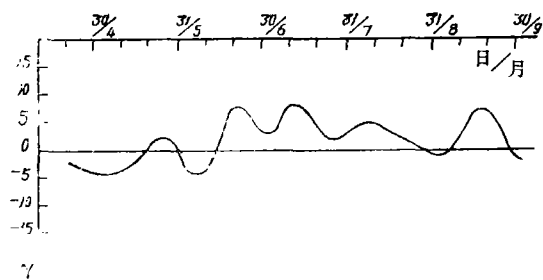


图3 不同时期降水量正距平对谷子产量的影响



β—降水量比平均值每大10毫米  
大豆产量的净变化 (斤/亩)



γ—降水量比平均值每大10毫米  
马铃薯产量的净变化 (斤/亩)

图 4、不同时期降雨量正距平对马铃薯和大豆产量的影响

### 三、肥料对谷子等农作物产量的影响

肥料等耕作水平对产量起着决定性的影响，在很大程度上决定着产量的高低。俗有“收多收少在于肥”的说法。但要在具体年份里估计出这种影响的程度是很困难的。

通常用这样的假说来作近似处理，即肥料等耕作水平是逐步演变的，其逐步影响是平缓的，有一定规律可循。图 2 中的作物时间趋势产量就是这种演变的规律。这样就可以将这种或那种关系式按现有的肥料资料去逼近产量的时间变化。

缓米地区肥料构成中有化肥和农家肥两种，且以农家肥为大宗。六十年代初，化肥亩施量平均不到 1 斤，七十年代初上升到 3.1 斤/亩，施用量不大。七十年代中期至今，化肥施用量有很大的发展，1982 年统计，平均亩施量达到 28.3 斤，和 1956 年相比，增加了 187.7 倍。数十年来，农家肥增长比较缓慢，自 1956 年的 24.8 斤/亩（折算成化肥）增至 1982 年的 49.1 斤/亩，27 年翻了一番。

通过相关分析，已求出三种作物的时间趋势产量  $y_t$  与肥料施用量之间的关系式：

$$\text{对于谷子 } y_t = -39.88 + 3.13x_7 \quad (r = 0.9656) \quad (1)$$

$$\text{对于马铃薯 } y_t = -62.19 + 4.69x_7 \quad (r = 0.9906) \quad (2)$$

$$\text{对于大豆 } y_t = -15.66 + 2.12x_7 \quad (r = 0.9780) \quad (3)$$

式中： $y_t$ ——作物的时间趋势产量，斤/亩；

$x_7$ ——化肥与有机肥的总施用量，斤/亩。

可以看出，作物的时间趋势产量与施肥量之间的关系是相当密切的。

### 四、作物产量与水肥生产要素的关系

为了比较各生产要素在谷子、马铃薯和大豆产量形成中的作用和影响程度，找出影响这些作物产量形成的主要矛盾，用逐步回归方法对上述几个与产量相关显著、农业意义比较明显的生产因子进行筛选。由逐步回归建立的缓米地区谷子、马铃薯和大豆产量方程列入表 1。表中  $y_s$  为实际产量，其它符号涵义同前。

从下表可以看出，在信度（显著性水平）相同的情况下，三种作物的产量方程中所包括的生产因素是不同的。对谷子来说，亩施肥量  $x_7$ ，6 月中下旬的总降雨量  $x_1$ ，和 7 月 11 日至 8 月 10 日的总降雨量  $x_2$ ，均进入方程。经检验表明，在这三个因素中，亩施肥量起着主导作用，其次是 6 月中下旬的总降雨量，再次是 7 月中下旬和 8 月上旬的总降雨量。对于马铃薯，在信度为 0.25

的情况下也有三个因素进入产量方程，即亩施肥量 $x_7$ ，6月中下旬至7月上旬的总降雨量 $x_3$ 和7月下旬与8月上中旬降雨总量 $x_4$ ；而在信度为0.10的情况下，只有 $x_7$ 进入方程，其它两个因素被剔除。这说明，施肥量的多少乃是决定本区马铃薯产量高低至关重要的因素，而6月中旬至8月上中旬这期间的降雨量，一般年份已能满足马铃薯正常生长发育要求，不是决定产量的主导因素。因此，为要提高本区马铃薯的单位面积产量，要特别注意增加施肥量。对大豆而言，在两种显著性水平情况下，都只有两个因素进入产量方程，即亩施肥量 $x_7$ 和6月25日至7月15日这时段的降雨总量 $x_5$ ，9月上中旬总降雨量这一生产因素被剔除。近年，本区的大豆播种面积已超过17万亩，单产在100斤左右，为了提高大豆的单位面积产量，今后要增加大豆的施肥量和注意6月下旬至7月中旬大豆花期的蓄水保墒工作。

绥米地区作物产量方程分析结果总表

作物	信度	回归方程	复相关系数	根方差
谷子	0.25	$y_s = -48.46 + 0.6046x_1 + 0.1390x_2 + 2.5417x_7$	0.9214	24.1257
	0.10	$y_s = -48.46 + 0.6046x_1 + 0.1390x_2 + 2.5417x_7$	0.9214	24.1257
马铃薯	0.25	$y_s = 33.58 + 0.2570x_3 + 0.1938x_4 + 8.1286x_7$	0.9304	36.0686
	0.10	$y_s = 67.81 + 8.9938x_7$	0.9164	37.8072
大豆	0.25	$y_s = -25.19 + 0.3798x_5 + 1.7697x_7$	0.8260	26.4185
	0.10	$y_s = -25.19 + 0.3798x_5 + 1.7697x_7$	0.8260	26.4185

## 五、时间趋势产量模型

一个地区的时间趋势产量，随耕作水平（如品种、施肥量、耕耘方式、轮作制度等）而变化。一般说来，耕作水平是逐步演变的。起初（如建国初期），由于耕作水平比较粗放，产量增长缓慢；随着科学技术的不断发展，施肥量（特别是化肥）增多，新品种的繁育和推广，农药的施用，耕作技术的改良，导致产量大幅度增长；经过一段时期之后，如果耕作水平再没有新的突破，那末即使是在正常的气候条件之下，产量也不会再有显著的增长，而渐趋平稳饱和。正如图2曲线所表明的那样，时间趋势产量的变化似一“S”形曲线，其整个过程大体可分

(1) 缓慢增长段；(2) 显著增长段；(3) 饱和段。

不难发现，时间趋势产量曲线与Verhulst人口模型的计算曲线十分相似。1837年，德国数学—生物学家Verhulst对Malthusian提出的人口增长、生物繁殖模型进行了修正，得到了著名的V氏模型：

$$P(t) = \frac{ap_0}{bp_0 + (a - bp_0)e^{-a(t-t_0)}} \quad (4a)$$

$$\text{或 } P(t) = \frac{\frac{a}{b}}{1 + \left(\frac{a}{bp_0} - 1\right)e^{-a(t-t_0)}} \quad (4b)$$

该模型可用来预测生物繁殖、植物生长预测和人口预测等。

式中： $p(t)$ ——在给定区域内， $t$ 时间的人口（生物）数量；

$t_0$ 和 $t$ ——统计初终时间；

$a$ 和 $b$ ——统称为生存系数或活力系数。

式（4）的关键在于确定系数 $a$ 、 $b$ 。

经分析，已得出本区谷子等农作物的时间趋势产量模型如下：

$$\text{对于谷子 } y_t = \frac{255}{1 + 6.96075e^{-0.110093(t-t_0)}} \quad (r = 0.864117) \quad (5)$$

$$\text{对于马铃薯 } y_t = \frac{380}{1 + 7.48329e^{-0.11258(t-t_0)}} \quad (r = 0.927181) \quad (6)$$

$$\text{对于大豆 } y_t = \frac{210}{1 + 5.64346e^{-0.088448(t-t_0)}} \quad (r = 0.897781) \quad (7)$$

1982年，本区谷子、马铃薯和大豆的时间趋势产量分别为225、314和164斤/亩。从式（5）—（6）可以看出，当 $t \rightarrow \infty$ 时，上述三种作物的趋势产量分别为255、380和210斤/亩。根据模型计算，2000年时，上述三种作物的趋势产量可达242、361和188斤/亩，与极限产量十分接近。可见，这些作物的产量正处在饱和段，年递增率已由1977年显著增长期上限的14—21%下降到1982年的3.2—4.5%。因此，为使本区粮食生产继续保持较大增长的势头，必须趁早采取对策，从现在起，抓好品种的更新换代和肥料建设工作，进一步提高耕作水平；否则，要使本区的粮食生产再有较大幅度的增长那将是很困难的。

## 六、讨 论

1、从逐步回归分析结果来看，施肥水平乃是决定本区谷子、马铃薯和大豆等农作物产量高低的主要矛盾，关键期降雨量的多寡是次要的，“薄、早、粗”是本区农业发展的严重障碍。米脂年平均降水量为450毫米，每人平均径流量约750立方米，加之地形破碎，农地与水源高差很大，除少数河滩川地、沟台地可以引水适时补充作物需水外，一般农耕地都不具备灌溉条件，需水全靠天然降水补充。“水路”不通，这是典型的旱作农业区。因此，提高本区旱地作物产量的主要措施，应是培肥地力，改良品种和建设基本农田。

2、分析时间趋势产量表明，本区谷子等作物产量已进入饱和阶段，年递增速率已显著下降，必须立即做好品种更新换代和肥料建设工作，以使粮食生产能持续保持增长的势头。