

## 农机动力总量分析模型 在农业机械化系统分析中的应用

傅泽田<sup>①</sup> 穆维松

(中国农业大学农业工程研究院)

**摘要** 分析了影响农业机械化发展的主要因素,包括种植业劳均负担的作业面积、农民的人均收入水平及农业的集约化程度;建立了农业机械化发展的农机动力总量分析模型,该模型反应了农机总动力与劳均播种面积、农民的收入水平及粮食单产水平的关系。

**关键词** 农业机械化; 农机动力总量; 分析

**中图分类号** S 231

## Application of Agricultural Machinery Gross Power Analysis Model in Analysis of Agricultural Mechanization System

Fu Zetian Mu Weisong

(Institute of Agricultural Engineering, CAU)

**Abstract** The development of agricultural mechanization is affected mainly by sown area per labor, income per capita and yield per hectare. These key factors and their influences on the agricultural mechanization were discussed. The agricultural machinery gross power analysis model used in the development of agricultural mechanization is set up to show the relationship between the agricultural machinery gross power and those key factors.

**Key words** agricultural mechanization; agricultural machinery gross power; analysis

农机动力指标是反映农业机械化发展水平的一个重要指标,因此分析影响农机动力指标与其影响因素的关系非常重要。构造农机动力总量预测模型的目的在于分析主导因素对农机动力水平发展的影响程度,并通过简捷单一的 logistic 函数关系模拟动力总量成长的全过程,进而探索出农业机械化发展的某些规律。

### 1 主导因素的选择

农业机械化是提高农业劳动生产率、发展农村生产力的重要手段,它的发展受众多因素如工业化发展水平、自然条件、社会及经济发展水平的影响。如何定量分析各种影响因素对农业机械化发展的作用,并把重要的影响因素转化为可量化的经济指标,是农业机械化系统分析的重要内容。在实际分析中,确定分析指标的数量,建立各指标与农业机械化发展的函数类型及关系是关键。笔者认为:在我国目前的技术条件和社会经济水平条件下,影响农业机械化发展

收稿日期:1998-07-06

<sup>①</sup>傅泽田,北京清华东路 17 号 中国农业大学(东校区)121 信箱,100083

的主导因素可以归纳为 3 个指标:

- 1) 种植业劳均负担的耕地面积(这主要是针对种植业机械化而言);
- 2) 农民年人均收入水平;
- 3) 农业集约化程度。

我国目前所处的技术时代已不同于农业机械化发展的早期,工业、教育、科学技术发展水平,能源和其他基础设施建设水平等因素虽然影响农业机械化发展的过程和效果,但已不是限制农业机械化发展的主要因素。就某一区域而言,农业机械化能不能发展,关键看农业生产对它有没有需求和经济条件上有没有可行性。这种需求和经济的可能程度可以归纳为 4 点:

- 1) 扩大生产能力,补充人、畜力不足,或增加已有生产规模的要求;
- 2) 降低生产成本、减少损失和增加经营收入的需求;
- 3) 改善生活和劳动条件,追求舒适、体面和更多的发展机会的要求;
- 4) 农业技术进步的要求,即某些新技术、新的管理手段对生产手段的特殊要求。

这 4 个方面的需求构成了促使农业机械化发展的微观动因。

由此可知,无论产生农业机械化发展的宏观动因是什么,诸如农业资源的富足、产业结构的调整、社会对农产品需求的扩张、投资能力的增强和科学技术的发展,等等,这些因素在微观层次上的反映都必然演化为农民对农业机械化的需求和社会经济的发展,其进程的快与慢和程度的强与弱都与农业劳动力平均负担的播种面积、人均收入水平和农业生产的集约化水平有着紧密的联系和内在的逻辑关系,选择这 3 个指标作为在总量层次上分析农业机械化发展趋势的主导因素,将有助于避免农业机械化定性与定量分析的盲目性。

## 2 农机动力总量分析模型的建立

### 2.1 3 元 logistic 模型

logistic 函数是生物学上用来描述单一动物种群的生长过程的函数<sup>[1]</sup>。其特点是种群开始生长较为缓慢,以后随着条件的变化,在一段时间内增长速度加快,当达到某一界限后,增长速度又趋于缓慢,最后停止增长。这种特点不仅是动物种群生长受限于空间及生长条件约束的一种规律的表现,而且为社会经济领域的其他事物所具有。农业机械化的发展也具有这种 logistic 生长特点:在初始阶段,由于工业化水平较低,其增长的速度比较缓慢;其后,随着工业化进程的加快、工业生产能力的加强、产业结构的调整、经济水平的不断提高和生产规模的扩大,其发展速度逐渐加快;当基本实现主要农业生产过程的机械化后,或动力的保有量达到一定水平,或受限于某些技术时代周期律的约束,其发展速度又会逐渐减慢,最终会在某一技术经济条件下停止增长,处于数量饱和状态。

根据前述对主导因素的分析 and 这些因素与农业机械动力总量水平相互作用的基本规律,笔者构造了农业机械动力总量 logistic 模型:

$$Y = \frac{c}{1 + \exp(a_0 x_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3)} \quad (1)$$

式中:Y 为拖拉机动力数或台数,或者是机械化作业水平,这里选择拖拉机动力(万 kW)作为反映农业机械化水平的总量指标;c 为拖拉机总动力发展在一定阶段的极限值,万 kW; $x_0$  为农民人均收入水平,元·a<sup>-1</sup>; $x_1$  为种植业劳均粮食播种面积, hm<sup>2</sup>; $x_2$  为粮食单产, kg; $a_0, a_1, a_2,$

$a_3$  和  $c$  为常数项。

这里农民人均收入反应了某一区域的经济水平和工业化程度;种植业劳均播种面积反映的是农业生产规模;粮食单产水平则是农业经营集约化水平的体现。

## 2.2 农机动力总量预测模型的参数估计

建立农机动力总量预测模型的关键在于求出模型参数  $a_0, a_1, a_2, a_3$  和  $c$ 。从式(1)可知模型具有4个变量,但有5个待估计参数,因此,其参数估计过程比一般的多元回归方程更为复杂。对式(1)变形得

$$(c-Y)/Y = \exp(a_0x_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3)$$

两边取对数得

$$\ln[(c-Y)/Y] = a_0x_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3$$

令  $Y' = \ln[(c-Y)/Y]$ , 则

$$Y' = a_0x_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3 \quad (2)$$

从式(2)的形式看它是一个典型的多元线性回归问题,但由于  $Y'$  中不仅包含着变量  $Y$ , 且含有常数项  $c$  ( $c$  本身的含义是:  $Y$  的发展极限), 这样使得式(2)的参数估计不能简单地用最小二乘法解决。这里采用了求解非线性函数最优化的搜索法的原理, 对  $c$  值估计进行优化。其过程是: 首先用倒数和法求出  $c$  的初始值, 将样本容量  $n$  的统计数据按时间序列排列后分为3等份, 若数据点数不是3的倍数, 可舍去最初几项, 使剩余几项能够3等分, 则数据点数  $r = n/3$ , 经推导求得  $c = r[S_1 - D_1^2 / (D_1 - D_2)]^{-1}$ , 有

$$S_1 = \sum_{i=1}^r y_i^{-1} \quad S_2 = \sum_{i=r+1}^{2r} y_i^{-1} \quad S_3 = \sum_{i=2r+1}^{3r} y_i^{-1}$$

$y_i^{-1}$  为  $y_i$  的倒数, 有  $D_1 = S_1 - S_2, D_2 = S_2 - S_3$ 。按倒数和法求出  $c$  后, 检验  $c$  是否能够表示  $Y$  在给定时段的发展极限: 若可以, 则可对式(2)用最小二乘法作出对  $a_0, a_1, a_2$  和  $a_3$  的参数估计; 若不行, 则给  $c$  一定的步长  $\Delta$ , 并根据专家的判断变换  $\Delta$  的大小, 导出比较合理的  $c$ 。每确定一个  $c$  则对式(2)用最小二乘法求出一组  $a_0, a_1, a_2$  和  $a_3$  的估计值, 直到求出理想的  $c$  值及  $a_0, a_1, a_2$  和  $a_3$ , 并使对  $a_0, a_1, a_2$  和  $a_3$  的参数估计不仅符合最小二乘法的规则, 而且符合多元线性回归方程的其他统计检验时, 便最终确定了总量预测模型的参数<sup>[2]</sup>。

在实际分析中, 笔者选用了1981~1993年全国拖拉机动力  $Y$ 、农民人均纯收入  $x_0$ 、种植业劳均粮食播种面积  $x_1$  和粮食单产  $x_2$  的统计数据为样本(见表1)。

表1 我国历年拖拉机总动力、人均纯收入、粮食播种面积和粮食单产统计表

年份	$Y$ /万 kW	$x_0$ /(元·a <sup>-1</sup> )	$x_1$ /hm <sup>2</sup>	$x_2$ /kg	年份	$Y$ /万 kW	$x_0$ /(元·a <sup>-1</sup> )	$x_1$ /hm <sup>2</sup>	$x_2$ /kg
1981	4 369.9	223.4	7.1	188.5	1988	8 358.7	544.9	6.91	242
1982	4 693	270.1	6.97	208	1989	8 827.5	601.5	6.776	246
1983	5 200	309.8	6.67	226.5	1990	9 162	629.8	6.67	265
1984	5 775	355.3	6.83	240.5	1991	9 396	708.6	6.56	262
1985	6 228.2	397.6	7.1	232	1992	9 528	784	6.57	272
1986	6 950	423.8	7.1	235	1993	9 747.8	838	6.67	275.4
1987	7 739	462.6	7.04	242					

说明: 数据取自《中国农业年鉴》。

根据前述方法共求出 32 组不同的  $c, a_0, a_1, a_2$  和  $a_3$ , 根据优化标准和统计检验, 优选出比较满意的一组参数估计值:  $a_0 = -0.00165, a_1 = -0.3728, a_2 = -0.00788, a_3 = 5.592, c = 17002.46$  万 kW, 则我国拖拉机总动力的预测模型为

$$Y = \frac{c}{1 + \exp(-0.00165x_0 - 0.3728x_1 - 0.00788x_2 + 5.592)} \quad (3)$$

其中多元线性回归模型的偏差平方和  $q = 0.1418$ , 平均标准偏差  $s = 0.1046$ , 复相关系数  $r = 0.9739$ , 回归平方和  $u = 2.6082$ , 人均纯收入的偏相关系数  $\nu(0) = 0.9931$ , 劳均粮食播种面积的偏相关系数  $\nu(1) = 0.9992$ , 粮食单产的偏相关系数  $\nu(2) = 0.9985$ 。对多元线性回归模型进行  $F$  检验, 用计算机求出  $F = 55.1617$ , 取  $\alpha = 0.01$ , 自由度为 3 和 9, 查表得  $\lambda = 6.99, F > \lambda$ , 说明  $Y'$  与  $x_0, x_1$  和  $x_2$  都具有线性相关关系, 这也说明了用模型(3)来分析拖拉机总动力与其主导因素的关系是可靠的。

### 3 农机动力总量模型分析

#### 3.1 农机动力总量发展预测与分析

首先, 笔者对 1995, 2000, 2005 和 2010 年的农民年人均纯收入、劳均粮食播种面积和粮食单产水平进行了预测。其中农民年人均纯收入、劳均粮食播种面积的值是用系统动力学模型<sup>[2]</sup>进行预测的, 粮食单产水平预测值是用一元线性回归得到的。然后, 再利用总量分析模型进行计算, 得到拖拉机总动力的预测值, 见表 2。可以看出: 2010 年拖拉机动力预测值 17 246.9 万 kW, 与系统动力学模型的预测结果(以下称规划值)基本相符; 1995 年拖拉机动力的预测值 10 818.9 万 kW, 比实际值 10 235.2 万 kW<sup>[3]</sup>稍大; 2000 和 2005 年拖拉机动力预测值也较规划值大。造成这种差异的主要原因是: 在制定 1995~2010 年农业机械化的发展规划时, 考虑到现在老、旧拖拉机占我国拖拉机保有量的比例较大, 因此在系统动力学模型中加大了 1995~2005 年间拖拉机动力的报废率及折旧率, 但到 2005 年这种情况将有较大的改观。由此可以看出, 用总量分析模型来预测总动力的发展规律基本上是可靠的。

表 2 用总量分析模型计算所得的预测值

年份	拖拉机总动力/万 kW	人均纯收入/(元·a <sup>-1</sup> )	劳均播种面积/hm <sup>2</sup>	粮食单产/kg
1995	10 818.9	923	0.441	282
2000	13 749.2	1 520	0.461	306
2005	16 781.7	2 115	0.653	330
2010	17 246.9	2 764	0.722	354

#### 3.2 主导因素的弹性分析

所谓主导因素的弹性是指主导因素指标以某一百分比增长引起的拖拉机总动力增长的百分比。根据这一概念, 若设农村人均收入的弹性系数为  $\alpha$ , 劳均负担的播种面积的弹性系数为  $\beta$ , 粮食单产的弹性系数为  $\gamma$ , 则其计算公式如下:

$$\alpha = \partial Y_{x_0} / \partial x_0 Y = [-a_0 x_0 \exp(a_0 x_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3)] [1 + \exp(a_0 x_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3)]^{-1}$$

$$\beta = \partial Y_{x_1} / \partial x_1 Y = [-a_1 x_1 \exp(a_0 x_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3)] [1 + \exp(a_0 x_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3)]^{-1}$$

$$\gamma = \partial Y_{x_2} / \partial x_2 Y = [-a_2 x_2 \exp(a_0 x_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3)] [1 + \exp(a_0 x_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3)]^{-1}$$

根据上式, 用 1981~1993 年人均收入、劳均播种面积和粮食单产的平均值求出它们对拖

拉机总动力指标增长的弹性值: $\alpha=0.48048$ , $\beta=1.47678$ , $\gamma=1.09565$ 。

由上述计算结果可以看出:

1)人均收入、劳均播种面积和粮食单产的弹性值都是正值,这说明拖拉机动力与人均收入、劳均负担的播种面积和粮食单产的关系十分密切,它随着这三者的增长而增长。

2) $\beta>\gamma>1>\alpha$ ,说明拖拉机动力指标对劳均播种面积的增长反映最敏感,弹性最大。这也从理论上解释了为什么农业规模经营对发展农业机械化有那么重要的作用。其次是对粮食单产的增长较敏感,其弹性系数也大于1,这说明即使经营面积扩大受到一定的限制,只要提高单产,必然导致投入的增加,因此需要机械化手段保证投入的时间和效率。

3)人均收入的弹性值小于为1,说明仅有人均收入的增长而没有劳均播种面积的增长及粮食单产提高的要求,拖拉机动力的增长是缓慢的,一旦农业劳均负担的播种面积出现大面积增长和提高粮食单产要求迫切,或者三者同步增长,农业机械化就会有较快的增长。

反过来,也可以这样解释农机总动力指标对主导因素的影响:随着拖拉机动力水平的提高,机械化作业项目的不断增多,作业效率的不断提高,每个劳动力能够负担的耕地面积会不断增加,即从事种植业的劳动力数量就会减少,结果使原有的农村种植业劳动力出现剩余,转移到其他产业的劳动力数量增多,农民的经济收入提高,生活逐步改善,农村经济基础得到加强和巩固。农村经济基础雄厚了,农民向农机化投入的资金就会增多,从而改善原有的农机配套设备,提高拖拉机动力水平和机械化程度,促进农业机械化的进一步发展。

### 参 考 文 献

- 1 傅家骥,全允桓. 工业技术经济学. 北京:清华大学出版社,1992. 311~313
- 2 穆维松. 农业机械化发展水平评价指标体系的研究与应用:[学位论文]. 北京:北京农业工程大学,1996
- 3 中国农业年鉴(1996). 北京:中国农业出版社,1996. 397