

农机产品拥有量的非线性特性研究

陈丽能 谢永良 陈秉钧
(金华理工学院) (浙江大学)

摘 要 农机产品的社会拥有量预测是农机产品市场预测的基础。该文建立了描述农机产品社会拥有量的演化方程,并指出该方程具有非线性混沌特性。在简要介绍描述混沌程度的典型参数关联维数和柯尔莫哥夫熵的定义的基础上,计算了基于时间序列的中国农机产品拥有量(以大中型拖拉机和联合收割机为例)的关联维数和柯尔莫哥夫熵,结果表明中国农机市场发展确实存在混沌。最后指出农机产品拥有量长期预测的困难,建议改进传统的预测方法。

关键词 农机产品 非线性 混沌 分数维

农机产品拥有量的发展是一个内部存在不确定因素、多重因果反馈和非线性相互作用机制的复杂系统。该系统受到自然条件、社会经济、政治、文化等多种因素的影响。其复杂程度远远超出一般的物理系统。研究农机产品拥有量的非线性动力学特征,有助于进一步提高人们对农业机械化发展规律的认识与把握,并有利于农机产品的宏观管理。本文基于非线性理论来研究农机产品社会拥有量发展的非线性特性。

1 农机产品社会拥有量的非线性混沌特性

1.1 农机产品社会拥有量的混沌特征

我们知道,某类农机产品社会拥有量增加量等于该年的市场销售量减去同年的这类农机产品淘汰量之差值。设 t 时刻社会对某种农机产品的拥有量为 x , dt 时间内该产品拥有量的增量为 dx ,产品的相对增长率为 a , $a = (dx/dt)/x$,该指标反映了产品进入市场的难易程度,经整理得

$$\frac{dx}{dt} = ax \quad (1)$$

考虑到产量还受社会需求影响,这种影响可用饱和程度表示。设 m 为该产品的社会饱和量,则 x/m 表示已满足的需求,而 $(1 - x/m)$ 则为未满足的需求。于是模型为

$$\frac{dx}{dt} = ax \left(1 - \frac{x}{m}\right) \quad (2)$$

对(2)式进行离散化处理,且令 $dt=1$, $u = a+1$, $y_k = ax_k/[(a+1)m]$, $k=1,2,\dots$,变形得

$$y_{k+1} = uy_k(1 - y_k) \quad k = 0, 1, 2, \dots \quad (3)$$

由稳定性理论可知,当 $1 < u < 3$,系统(3)才是稳定的。然而随着 u 的变化,系统(3)会出现下列不同的状态^[1]:

当 $1 < u < 3$,系统(3)仍是稳定的,系统最后收敛于稳定不动点 $\zeta = (u-1)/u$ 。

收稿日期: 1998-11-20

陈丽能, 副教授, 金华市宾虹路 金华理工学院, 321000

当 $3 < u < 1 + \sqrt{6}$ 时, 系统(3)对于任意初始值 x_0 , 随 $N \rightarrow \infty$, 迭代序列无限趋近于 ξ_1, ξ_2 , ξ_1, ξ_2 即出现周期 2 解, ξ_1, ξ_2 交替出现。

当 $u > 1 + \sqrt{6}$ 后, 周期 2 解又变得不稳定, 出现周期 4 解。随着 u 的不断增大又依次出现周期 8 解、周期 16 解……即出现倍周期分岔现象。

当 $u = 3.569945972$ 时, 系统不再出现倍周期分岔而无周期, 即出现混沌。

从以上所知, 系统(3)的行为受到 u 的制约, 即系统对初始条件的依赖性敏感的; 也是系统出现混沌的关键因素。只要初始条件有微小扰动, 系统的演化轨迹会以指数速度分离。混沌系统的运动轨迹形成一种新的、有别于普通几何体的吸引子——奇怪吸引子, 它具有分形特性, 即可以用分数维来描述系统的复杂程度。混沌不同于随机, 是因为它存在能反映宇宙本质的普适常数: 费根鲍姆(Feigenbaum)常数^[1]。系统在走向混沌的过程中出现分岔, 形成分岔谱。奇怪吸引子和分岔谱都具有自相似属性, 这为研究复杂系统提供了有力的理论依据。

1.2 描述混沌程度的物理量

对系统混沌程度进行描述的参数很多: Lyapunov 指数、各种维数(相似维数、信息维数、关联维数、容量维数等等)和系统的柯尔莫哥夫熵(Kolmogorov 熵)来描述。本文仅介绍关联维数、柯尔莫哥夫熵, 其它参数见文献[1, 2]。

1.2.1 关联维数

维数是一个描述系统自由度多少的量。维数越大, 表明系统制约因素就越多。若分形中某两点之间的距离为 δ , 其关联函数为 $C(\delta)$, 则关联维数为:

$$D_g = \lim_{\delta \rightarrow 0} \frac{\ln C(\delta)}{\ln \delta} \quad (4)$$

式中 $C(\delta) = \frac{1}{N^2} \sum_{i,j=1}^N H(\delta - |x_i - x_j|)$, $\{x_i, i=1, 2, \dots, N\}$ 为系统的一个解序列, 或者看作是吸引子上的一个相空间, 而

$$H(\delta - |x_i - x_j|) = \begin{cases} 1, & |x_i - x_j| \leq \delta \\ 0, & |x_i - x_j| > \delta \end{cases}$$

1.2.2 柯尔莫哥夫熵

柯尔莫哥夫熵是描述系统混沌程度的一种熵。如有一个 N 维的动态系统, 假定状态空间被分割成 m 个边长为 ϵ 的 n 维正方体盒子, 对于状态空间的一个吸引子和一条落在吸引域中轨道 $x(t)$, 如果 $p(i_1 i_2, \dots, i_m)$ 是 $x(\Delta t)$ 落在盒 i_1 中, $x(2\Delta t)$ 落在盒 i_2 中, $\dots, x(m\Delta t)$ 落在盒 i_m 中的联合概率, 则柯尔莫哥夫熵为

$$K = - \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \lim_{m \rightarrow \infty} \lim_{\epsilon \rightarrow 0} \frac{1}{m \Delta t} \sum_{i_1 i_2 \dots i_m} p(i_1 i_2 \dots i_m) \ln p(i_1 i_2 \dots i_m) \quad (5)$$

利用柯尔莫哥夫熵可以判断系统的有序和无序。如果系统有序则 $K=0$; 如果系统是随机系统, 则 $K=\infty$; 如果系统是混沌系统, 则 $0 < K < \infty$, 且 K 越大, 系统的混沌程度越严重。

2 中国农机产品社会拥有量的混沌特征

混沌理论认为, 混沌系统的时间序列的不规则主要是源于系统的内在随机性, 从理论上讲, 只要一个系统的时间序列足够长, 总是能够分析系统的运动特性。判断一个系统是否混沌, 最简单的方法是求得其时间序列的柯尔莫哥夫熵 K , 根据 K 的大小来判断。因此若知道系统的关联维数 D_g , 就可以知道影响本系统运动的因素的多少, 并提取主要因素。本文因受统计资

料的限制,采用近似方法计算。

2 1 关联维数 D_g 和柯尔莫哥夫熵 K 的估算

2 2 1 关联维数 D_g 的估算

基本思想是^[3]: 首先根据时间序列重构相空间,即将时间序列 $\{x_i, i=1, 2, \dots, n\}$ 重新排列,建立一个 m 维的相量空间 $X(t) = \{X(t), X(t+\tau), \dots, X(t+(m-1)\tau)\}$, 其中 τ 是时间延迟,它是时间序列的时间间隔 Δt 的整数倍。 τ 的选择保证所建立的相空间是线性无关的。建立相空间后任给一个小距离 ϵ , 计算有多少对欧氏空间距离小于 ϵ , 它们占总点对数的比例是 $C(\epsilon)$ 。 $C(\epsilon)$ 随 ϵ 的增加, 在无标度区内有

$$C(\epsilon) = c \epsilon^{D_g} \tag{6}$$

式中的 c 是不随 ϵ 变化的常数。显然, 把(6)式两边取对数, 可以看出 D_g 是双对数图上的斜率。

在实际计算中, ϵ 的选择较为关键, ϵ 太大或太小都不能测得关联维数 D_g 。再加上实际的研究对象的时间序列的量纲不一样, 取 ϵ 的大小跨度就很大, 不易找到标度区。本文采用的如下算法: 在 $m=2$ 时, 重构向量空间 $\{x_1, x_2\}, \{x_2, x_3\}, \{x_3, x_4\}, \dots, \{x_{n-1}, x_n\}$, 先除以几个数量级, 使所有数据都在 1 以下, 然后取一个微小距离 ϵ , 如果测得的 $C(\epsilon)$ 为 0, 则 ϵ 扩大到先前的 1.5 倍。如此循环, 直到找到 $C(\epsilon)$ 不为 0, 分别记下 $\ln C(\epsilon)$ 和 $\ln \epsilon$ 的值, 然后再使 ϵ 按一定步长规律递增, 在此过程中一一记下 $\ln C(\epsilon)$ 和 $\ln \epsilon$ 的值, 最后根据最小二乘法求得 D_g 。再令 $m=3$, 重构相空间 $\{x_1, x_2, x_3\}, \{x_2, x_3, x_4\}, \{x_3, x_4, x_5\}, \dots, \{x_{n-2}, x_{n-1}, x_n\}$, 重复上述的算法, 最后也求得 D_g 。这样每令 m 增加 1, 重构相空间步骤, 比较相应求得的 D_g 。若前后两次的求得 D_g 的差值小于误差 ϵ_1 , 则认为 D_g 即为所求的关联维数, 此时的 m 是饱和嵌入维数, 记为 m 。若 m 不存在, 表明系统是一个随机系统; 若 m 存在则表明系统是一个有限维的非随机系统。

2 2 2 柯尔莫哥夫熵 K 的估算

在无标度区内给一个 ϵ , 对 $m=2, 4, 6, 8, \dots$, 求出 $C(\epsilon)$, 再根据公式

$$K(\epsilon, m) = \frac{1}{2} \frac{\ln C(\epsilon, m)}{\ln(\epsilon m + 2)} \tag{7}$$

计算出 $K(\epsilon, m)$, 并求出 $K(\epsilon, m)$ 关于 m 的稳定值。改变标度 ϵ 再求出 $K(\epsilon, m)$, 对不同标度 ϵ 求出的 $K(\epsilon, m)$ 取平均值得 K 。

2 2 我国主要农机产品拥有量系统的 D_g 和 K

本文研究我国主要农机产品大中型拖拉机、联合收割机的时间序列的年末拥有量变化, 原始数据见文献[4, 5]。表 1 是计算所得的 D_g, m 和 K 值。

从表 1 看出, 我国主要农机产品大中型拖拉机、联合收割机的年末拥有量、净增长率的时间序列都存在关联维数 D_g 、饱和嵌入维数 m ; 该序列的 2 阶柯尔莫哥夫熵 K 存在, 且都是一个正数, 这表明中国农机产品社会拥有量

表 1 我国农机产品大中型拖拉机、联合收割机社会拥有量时间序列的关联维数 D_g 、饱和嵌入维数 m 和估算值 K (1952~1996 年)

Tab 1 The evaluation of correlation dimension D_g and saturation embedded dimension m and Kolmogorov entropy K of social possessions series time of large medium tractor and combine harvester in China (1952~1996)				
数据类型	大中型拖拉机 年末拥有量	大中型拖拉机 净增长率	联合收割机 年末拥有量	联合收割机 净增长率
D_g	0.946456	1.077988	0.4740988	1.180498
m	7	6	4	5
K	0.418938	0.409797	0.394728	0.359672
$1/K$	2.386988	2.440230	2.533545	2.780310

系统并不是一个随机系统, 也不是一个确定系统, 而是一个混沌系统; 大中型拖拉机年末拥有量的 K 值较联合收割机的 K 值稍大, 表明前者发展系统的混沌程度较后者大, 但总体上说差别不是很大。无论是大中型拖拉机还是联合收割机, 考察各自的年末拥有量和净增长率的 K 值都变化不大, 表明两者系统的随机性活动的一致性; 从关联维数 D_g 、饱和嵌入维数 m 的估算值看, 大中型拖拉机的年末拥有量的关联维数 D_g 较联合收割机的年末拥有量的关联维数 D_g 大, 但都小于 1, 前者的饱和维数为 7, 后者的饱和维数为 4, 按混沌理论讲, 表明中国农机产品社会拥有系统的内部影响这两个变量的因素不一样, 影响前者的因素较后者多, 影响大中型拖拉机的年末拥有量的因素可能有 7 个, 而后者为 4 个。考察大中型拖拉机和联合收割机各自年末拥有量和净增长率的关联维数 D_g 、饱和嵌入维数 m , 发现差别不大, 这表明影响年末拥有量和净增长率的因子是一致的。

计算结果与实际情况基本相符。影响农机产品社会拥有量的因素较多, 受生产自然条件(土壤、田块大小)、生产组织形式(集体生产制还是以家庭承包为基础的生产制)、消费者的购买能力、劳动力转移情况、经营规模、机器本身的折旧率、配套基础设施及售后服务的完善程度等影响, 另外, 个体农机的自身特殊性也制约着农机产品市场占有率, 比如就适用范围而言, 大中型拖拉机比联合收割机窄。从原始统计资料看, 大中型拖拉机在 1988 年后基本处于负增长, 这是由于农村的生产组织形式发生了变化, 尤其是国有农场。而联合收割机在 1978 年后基本上保持持续增长的势头(只有 1985、1986 两年负增长), 近几年来呈加速发展趋势, 这是由于生产组织方式的稳定, 再加上农村劳动力转移速度加快尤其东部沿海地区, 农户收入增加, 购买农机成为可能。

3 我国主要农机大中型拖拉机、联合收割机社会拥有量的时间序列混沌特征对预测和系统动力学建模的影响

总的看来, 农机市场社会拥有量作为一个系统, 是确定性和随机性因素共同起作用的结果。一方面说明有规律可循, 另一方面也说明系统的行为对初始条件较为敏感, 要对它们长期预测是有困难的。

2 阶柯尔莫哥夫熵 K 表示分形的信息流率, $1/K$ 表示系统可预测的最大年限。要准确预测大中型拖拉机和联合收割机的年末拥有量的年限为 2 年, 最长不超过 3 年。这主要是系统发展的影响因素较多: 影响因素越多, 混沌程度越严重, 随机性越大, 可准确预测时间越短。由于混沌普遍存在, 因此要准确预测系统, 就必须改进传统的预测方法。近几年来, 组合预测和具有“大规模并行计算”、“良好的自适应学习”和“容错能力强”特点的神经网络在预测领域应用越来越广。实践证明^[6], 神经网络预测、组合预测适合于非线性系统的预测应用。在用系统动力学仿真研究时, 应尽可能多地考虑一些因果关系, 应该说饱和嵌入维数 m 对提高建模质量具有重要意义。在实际预测时建议这样做: 如有可能先考察系统的关联维数 D_g 、饱和嵌入维数 m 和柯尔莫哥夫熵 K , 从饱和嵌入维数 m 可以知道影响因素的多寡, 通过提高建模的复杂度来实现提高预测精度; $1/K$ 则反映准确预测时间的长短, 有助于正确地分析预测结果。避免因对预测结果的认识不足, 给管理造成不必要的损失。

4 结 论

1) 通过建立农机产品拥有量的非线性动力学模型, 对模型进行稳定性分析证明该系统存

在着混沌,进一步对我国农机产品社会拥有量的时间序列的关联维数 D_g 、饱和嵌入维数 m 和柯尔莫哥夫熵 K 进行实例计算分析,证明该系统的混沌特性较强,这说明人们经常用常规方法对农机产品拥有量进行中长期预测是困难的,而必须寻求并运用更对症的预测方法,比如神经网络、组合预测等来提高预测精度。

2) 在计算表征被测系统混沌特性的物理量关联维数 D_g 时,寻求标度区是重要的,本文提出寻找标度区的计算方法被证明有效。

3) 预测农机产品社会拥有量实际上也是预测农机产品市场销售情况,这不但对农机产品开发与工业生产是重要的,对于农机产品运用与管理也都是重要的。本文论证并指出农机行业对该系统预测的重视,为进一步研究并正确预测该系统的方法起到抛砖引玉的作用。

参 考 文 献

- 1 王东生,曹磊编著.混沌、分形及其应用.合肥:中国科学技术大学出版社,1995.25~138
- 2 张济忠.分形.北京:清华大学出版社,1995.46~66
- 3 王放,李后强著.非线性人口学导论.成都:四川大学出版社,1995.317
- 4 中华人民共和国农业部编.中国农村经济统计大全资料(49~86).北京:农业出版社,1989.308~311
- 5 国家统计局编.中国统计年鉴(1987~1997).北京:中国统计出版社
- 6 陈秉钧,上官儒.基于神经网络的组合预测及应用.农业工程学报,1997,13(2):51~55

Study on Nonlinear Property of Agricultural Machinery Products Possessions

Chen Lineng

(Jinhua College of Science and Technology, Jinhua, 321000)

Xie Yongliang Chen Bingjun

(Zhejiang University, Hangzhou)

Abstract The prediction of social possessions of agricultural machinery products is the base for that of the markets. An equation for describing the evolution of agricultural machinery products possessions was established and then its nonlinear chaos property with the theory of stability was pointed out. After simply introducing the definitions of typical parameters to describe the level of chaos, the values of correlation dimension and saturation embedded dimension of the agricultural machinery possessions based on time series in China were calculated. The results showed that chaos truly exists in the agricultural machinery products possessions. Factors of influencing every agricultural machinery product social possession are many and different. It is difficult to make its long-term precise prediction and it is advised to improve the traditional prediction methods.

Key words agricultural machinery products, nonlinear, chaos, fractal dimension