

# 混沌理论的预测原理<sup>\*</sup>

刘 洪

(南京大学商学院, 博士、教授、博士生导师 南京 210093)

**摘要** 传统的技术经济预测原理与方法, 面对复杂和不确定性现象的发生, 其局限性日益显露出来, 制约了人们预测的能力。以混沌理论为代表的复杂系统理论, 有着不同于传统科学的视角和思维框架, 并正在促进预测范式的转换。本文介绍应用混沌理论研究技术经济系统预测所取得的成果, 阐述混沌理论关于预测的基本思想和假定, 给出基于混沌理论的预测原理。

**关键词** 预测 混沌 复杂系统 **中图分类号** O4 N94

## 一、混沌理论对传统的技术经济预测原理提出了质疑

传统的技术经济预测方法所基于的原理可归纳为惯性原理、相关原理、类推原理和概率推断原理等<sup>[1]</sup>, 它们的应用在社会、经济和技术的发展中起了非常重要的作用, 取得了积极的成果。然而, 面对众多纷繁复杂的技术经济现象, 现有预测理论与方法还不能给予合理的解释和有效的预测, 预测结果常常与现实情况存在较大偏差。什么是可预测的? 为什么遵循相同运动规律的事物有的可以预测, 而有的就不可以预测? 为什么有的事物有时可以预测, 而有时又不可以预测? 一个事物可预测的程度有多大? 值不值得花费大的代价对某一事物的未来进行预测? 等等, 对这些问题传统的预测理论尚不能给予合理的回答。以至有人怀疑预测是否属于科学, 也有人将预测的失败归咎于预测者对预测这门“艺术”的不谙。

近些年来复杂性科学的发展, 为技术经济的预测提供了新的视角和建模框架, 使得过去被认为不可预测事物的未来变得明晰起来, 而被认为确定了的事物的预测又变得困难了。混沌理论是复杂性科学的重要内容, 其研究所取得的成果对传统的技术经济预测原理提出了以下质疑<sup>[2]</sup>。

(1) 预测的惯性原理认为, 成熟的系统有保持原有运动方向、周期和性质的趋势, 只要通过趋势外推就可得到其未来, 创造过去的力量也将创造未来; 混沌理论认为, 分叉是系统由简单走向复杂和混沌的一条道路, 过去将不会得到“延续”, 如果系统演化到了临近分叉的结点附近, 无论模型对历史数据拟合得如何好, 外推总是不可靠的。

(2) 相关性原理认为, 一种事件发生的背后总有某种或某些原因, 回归分析和相关分析为寻找这些原因提供了数学上的手段; 然而, 混沌理论中的有关模拟表明, 有些似乎强烈相关的因素之间并不存在任何直接的联系。

(3) 类推原理认为, 相同的或近似的原因导致相同的或近似的结果; 混沌理论的“蝴蝶效应”则表

明, 相近的初始条件导致的未来长期结果是显著不同的。

(4) 概率推断原理认为, 预测模型与历史数据拟合后的误差是来自系统之外的随机因素, 或是大量小的因素共同作用的结果; 混沌理论则说明, 系统的随机性态既可以来自系统外部的扰动, 也可以由系统内生决定。

混沌理论对预测的影响不是对“原有理论与方法的修修补补”, 而是要求根本性的变革, 即进行预测范式的转换<sup>[3, 4]</sup>。那么, 混沌理论对技术经济预测的影响体现在哪些方面呢? 对预测领域尚存的问题有何答案呢? 本文根据近年来研究所取得的成果, 尝试对此类问题给出回答。

## 二、混沌理论关于预测的涵义

### 1. 混沌理论中预测的概念

总的来说, 混沌理论表述了这样的一个悖论: “有序来自无序, 无序来自有序; 混沌来自简单, 简单来自混沌。”<sup>[5]</sup>混沌理论的产生与发展, 打破了建立在牛顿科学基础上的拉普拉斯决定论的幻想, 它一方面说明了简单的事物可以产生复杂不确定的现象, 因而对事物未来的预测存在局限性; 另一方面也说明, 复杂现象可能仅遵从一条简单确定的规律, 从而使对复杂事物的预测成为可能。这两个方面看起来似乎相互矛盾。那么, 混沌理论所讲的可预测指的是什么, 不可预测又指的是什么呢? 在回答这些问题之前, 首先需要澄清混沌理论中所讲的预测概念。

预测, 一般来说是指根据事物发展变化的过去和现在的状态, 对未来的发展变化做出性质上的推断和数量上的估计。这里的预测可以分为两类 (就其结果而非使用的方法而言), 即定性的预测和定量的预测。定性的预测, 就是对系统未来的发展变化的规律性、趋势和性质做出说明, 通常是在较大的时间尺度上从更大的系统范围角度, 对系统未来可能出现的情景性质做出推测与判断。定量的预测, 就是对系统状态未来的发展变化做出数量上的估计, 通常给出的是其数值置信区间与该数值区间的趋势走向。

混沌理论最初是从物理学中发展起来的, 许多有关混沌的文献中所讲的预测, 大多是指物理意义

<sup>\*</sup>国家自然科学基金资助项目 (70172012) 和国家社会科学基金资助项目 (00BJ Y012)。

上的轨道预测(predicating),即对系统未来的运动轨迹做出比较准确的刻画。为此,可将混沌理论中的预测概念细分为3种类型:轨道的预测、区间的预测(forecasting)和定性的预测(futuring)。这里的区间预测也就是前面所说的定量预测,它和轨道预测都属于定量预测,但两者要求的预测精度不同。

通常所说的混沌系统的不可预测性,是指由于系统具有对初始条件的敏感依赖性,一开始小的误差会得到不断放大,从而造成长期的较为准确的定量预测的不可能性,但对系统进行短期的较为准确的定量预测是可能的。另一方面,我们知道,一个系统混沌的发生是有条件的、有界的,从这一意义上讲,混沌的系统又是可以定性预测的,即可以确定系统不同性质状态发生的条件、变化区间和时间段。所以,关于混沌系统不可预测的叙述性结论,是建立在“轨道的预测”基础上的,容易将人们引入关于预测的歧途。

要正确理解系统预测的特性,需要先考虑所谈论的“预测”属于哪一类,然后再做出判断。如果不区分不同含义的预测概念,那么,在把混沌理论用于社会经济系统这样一类复杂系统的预测分析时,就会得出不切实际的错误结论。

## 2. 混沌理论关于系统预测特性的论断

(1) 预测对象的系统属性假定 对事物假定的不同,就会得出不同的预测特性。混沌理论对事物的假定不同于传统科学的假定。建立在牛顿科学基础之上的经典科学,通常把研究对象看成是线性的、可解析表达的、平衡态的、规则的、确定性的、可严格逻辑分析的对象。混沌理论则认为:非线性的、不可解析表达的、非平衡态的、不规则的、不能用严格逻辑分析的复杂性和系统性才是现实世界的本质特性;因素之间关系的线性化仅仅在它们之间呈弱非线性相关时才是有效的;当因素之间呈强非线性相关时,线性化就不能获得切合实际的结果。

经济、技术和社会预测的对象大多是动态的、不稳定的、不连续的、不可逆的,具有多种可能的未来;稳定的、平衡的只是少数的、暂时的。尽管人们不喜欢非连续性,希望从过去延续到未来,但不连续的、突然的变化是复杂系统的本性;平衡不变只是暂时的,不变的本身就孕育着变化的力量;不同的环境条件决定了事物具有不同的行为状态,不同的行为状态又有着不同的结果,因而一个系统就有多种可能的未来。

(2) 预测对象的可预测性分析 某些短期的未来是可预测的。根据混沌理论,一个系统的状态是受一定吸引子支配的。系统的吸引子可划分为平庸吸引子(包括固定点吸引子、周期吸引子和准周期吸引子)和奇怪吸引子(包括混沌吸引子和奇怪非混沌吸引子)。不管系统是由哪类吸引子支配的,在系统结构保持不变的情况下,初始条件的细微变化引起的未来状态变化在短期内还是相近的,因而短期的比较精确的预测是可行的。短期预测的期限应满足: $t < \ln[s(t)/\varepsilon]/\lambda$ ,其中 $\lambda$ 是李雅普诺夫指数, $s(t)$ 是初始状态误差 $\varepsilon$ 随时间变化的函数,式中 $s(t)$ 为允许的预测误差值<sup>[6]</sup>。

混沌变化的过程是可预测的。随着系统与外部环境不断进行物质、能量、信息的交换,系统会由简

单变得复杂,从有序走向无序。然而这种过程常常是按照一定途径进行的,比如系统走向混沌的道路有倍周期分岔、间隙变换和同步锁模等,因而可以从性质上预见系统未来发展的方式。

变化发生的速度和突发事件的可能性是可预测的。当一个系统发生倍周期分岔现象时,它分岔的速度具有不变性,即遵循费根鲍姆普适常数 $\delta = 4.6692 \dots$ 的规律,因而这类变化发生的速度是可以预测的。如果一个系统的状态变量是时间的函数,呈现为间隙变化,那么,被观察变量如果处于有规律的行为(如周期性),当控制变量变化接近于一个阈值时,这些有规律的行为就会被“突发”打断;当控制变量进一步变化,系统行为又恢复原有的变化规律;随着控制变量的不断变化,“突发”发生的频率就会越来越高,呈加速趋势。

不断变化的宏观层次上的未来的某些特性是可预测的。研究表明,复杂系统的动态行为在微观上具有不确定性,但在宏观上却具有相对稳定性;如果从相空间上来考察,系统的行为是有界的,并能呈现一定的规律性,如逻辑斯蒂方程所展示的那样,系统总体上遵循有限增长的S曲线规律,并在有限的分叉界限之间变化。也就是说,如果不能预测一个系统的未来状态会到达哪一点的话,却是可以知晓未来状态变化的性质和变化的可能范围的。

(3) 预测对象的不可预测性分析 如果系统是受奇怪吸引子支配的,那么初始状态的细微差异就会随着时间的演化得到放大,而初始状态的差异常常是不为人们觉察的,因此,对于系统长期未来的预测就不可能是精确、可靠的。另外,对于复杂系统而言,随着时间的推演,还会不断有“新的”初始条件加入到系统中来,在系统内在非线性机制作用下影响系统的行为,从而使得长期的精确预测更加困难。当然,如果系统是受平庸吸引子支配的话,它的行为又是可长期预测的,比如,就地球来讲,每天日出的时间是可精确预测的。

系统的任一种状态的发生都是有条件的,或者说都是受序参量影响的,但是,序参量并不完全是由人来控制的,也不都能为人们精确把握,尤其当系统状态的演变到达了它即将发生“突变”的边缘,人们就很难预计系统状态性质发生变革的时间。系统具有层次性,宏观层次系统与微观层次系统之间的关系是整体与部分之间的关系,宏观层次系统行为的变化可能首先表现在某个或某些微观子系统上,然而系统结构的复杂性、非线性使得人们难以确定它们是在哪个或哪些子系统。混沌分岔图所展示的“窗口”则说明,在混沌条件下系统未来行为变化的性质具有不确定性。

## 三、混沌理论的若干概念对预测的启迪

早在混沌理论创立的初期,科学家们就已经将混沌与预测概念联系在一起了。20世纪60年代初美国麻省理工学院的气象学家洛伦兹(Edward N. Lorenz)是在研究天气预报中发现“蝴蝶效应”的<sup>[7]</sup>,70年代中期普林斯顿大学的生物学家梅(Robert

R. May) 在研究“具有复杂动态行为的数学模型”中揭示了复杂与简单、确定与随机之间的辩证关系<sup>[8]</sup>。人们之所以自觉不自觉地将混沌理论与预测联系在一起,是因为混沌研究给人们揭示未来带来了新的思路和理论基础。下面就混沌理论所涉及的几个概念来讨论该理论对预测的影响和作用。

(1) 非线性与预测 混沌理论研究的对象是非线性系统,非线性系统的一个重要特点就是增加自变量不能够得到同样倍份的因变量变化,这就使得传统的先导指标预测、替代预测变得失效。举例来说,某种产品的销售量为 100 万单位的时候企业的销售人员是 10 人,如果计划销售数量为 200 万元时需要的销售人员显然不是 20 人,这就取决于销售数量与销售人数之间的非线性关系。如果非线性关系是确定的,就可以得到自变量与因变量之间的一一对应关系:知道了自变量,就能够知道因变量。但如果这种确定的非线性关系中存在迭代过程(反馈),那么,通过计算所获得的因变量结果,可能会由于该非线性系统对初始条件的敏感依赖性,而使得初始的误差或后来加入系统的因素的微小扰动得到不断放大,以致最终预测的结果是不可信的。

(2) 正负反馈与预测 系统因素之间的相互关系,可以是线性的,也可以是非线性的;可以是强的,也可以是弱的;可以是正向的,也可以是反向的。如果系统因素之间构成了单一的正反馈环或负反馈环,那么可采用趋势外推的方法来预测。但更为经常的情况是,系统中因素之间的关系,有的是正向作用的,有的是负向作用的;它们构成的反馈环有的是正反馈、有的是负反馈,有些变量既属于某个或某些正反馈环,又属于某个或某些负反馈环;整个系统是正负反馈环复合构成的。这种情况下系统的状态就具有不确定性,需要借助系统动力学和计算机模拟的方法进行预测。对于具有  $y_{t+1} = f_{\lambda}(y_t)$  形式的非线性反馈系统,当其从外部获得不断增加的“压力” $\lambda$ (如物质、能量、信息等)时,系统状态  $y_{t+1}$  就会由简单走向复杂,由复杂走向混沌,并按照一定速度产生分叉,变化速度加快。系统的这一特点,要求预测工作必须不断地进行数据更新,实行“滚动预测”;单单根据某一片段的历史数据做预测是不行的。

(3) 吸引子与预测 平庸吸引子的最大特点是在吸引子域内选择初始条件,其长期的演化轨迹和状态是相同或相近的,因此,由平庸吸引子支配的系统行为是可以长期预测的。混沌吸引子因其具有内在的分形结构,使得短期的预测是可行的,而又由于“蝴蝶效应”使得长期的精确预测是不可信的。关于奇怪非混沌吸引子的研究成果不多,受此类吸引子支配的系统预测特性有待进一步探讨。一个系统可以在不同的条件下具有不同的吸引子,系统也可以在不同的吸引子之间转换,所以,系统预测的关键在于确定系统的吸引子类型和不同环境条件下系统运行的吸引子性质,然后根据不同吸引子的特性建模预测。

(4) 分叉与预测 分叉是非线性系统演化过程中的普遍现象,通常是当某个系统的变量变化到一定程度时,系统的行为就会发生突然变化,成为 2 周期或多周期的行为;这些分叉的行为表现为倍周

期过程,即由 2 周期变为 4 周期、8 周期……,分叉点的系统参数值满足费根鲍姆常数,因此是可以预见的。但是,不是系统的所有分叉过程都符合这一规律,分叉也可以是非倍增周期的。系统处于分叉边缘的时候,趋势预测是不可靠的。但是在一定条件下,分叉的区间是有限的,分叉的上下边界从序参量连续变化的角度看呈现出一定的规律性。

(5) 间歇变换与预测 间隙变换是系统在经历了一段时期的某种规律行为之后出现的另外某种行为的交替过程。间隙变换有两种情况:一是系统在经历了有明显规律的运动之后突然变得无序,然后再恢复到原来有规律的运行;二是由无序的运动突然转化为有规律的运动。间隙变换可以用来解释现实生活中历史重演的现象。比如说,某个地方历史上发生过地震,未来就可能还会发生地震;某个人去年冬天生病,今年冬天还可能生类似的病。当然,这些都是假说,有待验证和揭示现象背后的规律性。间隙变换用于预测时的困难在于间隙现象的时间间隔的规律性难以掌握,或者说只能从性质上讲某事件会在未来发生,但什么时候发生就很难预知了,有时甚至找不到任何征兆。

(6) 同步锁模与预测 不同的系统相互影响会产生协同效应,即不同的系统按照共同的方式运作,并保持该种运作模式。如果所研究的系统与其它系统之间存在协同可能性的话,该系统的未来就不能仅仅从其本身研究获得,还要考虑协同主体系统的运作规律。但问题是现在缺乏一定的方法来辨识在所有交叉相互作用的系统中,哪一个系统成为协同的主系统,或者它们是否协同成为某种新的系统。因为每一个系统都可能成为协同的主系统,且所有由人组织的系统一般均不愿意放弃自己的运作方式,这也是预测中的一个难题。

(7) 幂分布与预测 混沌理论研究发现,系统中发生变化的频率与该种变化的规模(或范围)成反比,发生大规模变化的事件的频率比较低,发生小规模变化的频率比较高;发生大规模变化的原因与发生小规模变化的原因相同。打个比方,一个地方发生地震,那么一段时间内发生强烈地震的次数很少,可能就 1 次,而在此前后发生小规模地震的次数会很多。如果将这一规律应用到经济生活中,可以认为企业的规律符合幂分布规律,如在一个地区的一段时期内,大企业数量变化很小,而小企业的数量变化很大。根据这一规律,也可以在概率意义上就重大科学发现或技术创新的可能性做出判断。

(8) 自组织与预测 自组织系统的主要特征是系统内部各个主体能够根据周围其他主体的行为变化和系统环境条件的变化,调整自身的行为目标,改变个体之间的相互关系,以适应新环境条件的要求。所以,一般认为自组织系统的生存、适应能力比较强。从整体上看,自组织系统的未来变化取决于系统外部环境的变迁;从微观上看,自组织系统中个体行为取决于个体之间的关系规则,如同交通道路上的行人和车辆,在交通网络的局部上,每个人或车辆的短期未来是可判断的,而在全局上他们的长期未来就难以确定。

(9) 复杂系统涌现与预测 涌现是复杂系统产

生的不同于系统个体行为的新现象,产生原因是个体之间的相互非线性作用和个体具有自主判断、决策能力和自组织性。所以,对于复杂系统来说,从微观主体行为推断他们构成的整体系统行为是不可能的,而一旦涌现现象产生,在维持系统所需要的环境和条件满足的情况下系统整体行为会保持下去,比如虚拟经济;反之系统将会崩溃。

(10) 个体协同与整体预测 如果个体是运动的是自由的,比如容器中的水分子运动、铁块中的磁单元体方向,那么系统整体的行为就可能是简单的,对外界环境的整体影响小,比如容器中的水是平静的、铁块没有磁力;如果个体运动是一致的,那么,整体行为可以等同于个体行为,是简单的,比如磁铁;如果个体之间按照一定的规则协同运动,那么,整体行为就比较复杂、难以预测。

#### 四、预测的混沌理论原理

根据混沌理论有关预测的概念与论断,本文提出如下新的预测原理<sup>[9]</sup>。

(1) 确定性原理 如果一个系统是确定的,或者说能够用确定的数学方程来描述,并且该系统运动序参量是稳定的,即系统状态表现为平衡的、周期或准周期的,那么,该系统的未来就是确定的;初始条件的较小变化将会导致系统未来行为的较小差异,外部环境的扰动可以借助随机变量来描述。因此,获得有效预测的关键是准确地建立系统的模型和给出初始条件,准确地给出系统的序参量。如果该类系统的序参量不是稳定的,那么,其未来运动就不一定是具有确定性的。

(2) 内随机原理 简单确定的系统既可以有简单确定的行为,也可以产生貌似随机的行为;复杂的现象可以是由简单确定的规则所产生的;似乎相关联的因素实际上并不是现象背后的原因,因此,相关分析所求得的变量可能不是影响因素的变量。针对所研究的貌似随机现象,一方面要设法寻求内在的确定性规律,另一方面,也不排除大量外在因素的作用,区分它们的关键是从复杂现象中过滤出确定性规律。

(3) 吸引子原理 系统的行为取决于系统运动的吸引子类型和吸引子数量。如果系统运行在平庸吸引子上,那么,系统的行为就是可精确、长期预测的;如果系统运行在奇怪吸引子上,那么,长期精确预测是不可靠的,而短期预测是可能的;如果系统是由多个吸引子控制的,那么,系统行为取决于系统运行的条件所处的那个吸引子上;通常每一个吸引子都有自己的运行条件(或初始条件域),不同的条件范围和初始条件所处的区间,决定系统未来运行的状态。

(4) 分形原理 传统的预测类推原理强调不同事物、不同时间和空间上发展变化的相似性,根据一种事物已经经历的历程或表现出的现象,来推测相似对象未来的历程或现象;分形原理强调一个系统自身部分与整体之间在某个或某些特征上的相似性,这些特征可以体现在时间上(时间序列),也可以体现在空间上(不同部分)。产生分形的根源是

系统运行规则的确定性或相似性,因此,认识事物的分形特性在于辨识系统的内在规律,比如计算分形维数等,然后借助这些规律并结合应用其它经典数学的理论与方法,达到预测的目的。

(5) 系统层次原理 对于由有限单元以线性方式构成的系统,整体行为可以从个体行为叠加获得,个体行为也可以通过还原的办法求解;如果系统是非线性的、复杂的,那么,一般来说整体行为不能从个体行为的叠加来获得,整体具有个体所不具有的行为;另一方面,系统内部个体出于自身利益的需要,相互连接形成不同规模、类型、特点的单元,这些单元的行为在一定条件下会表现出锁模现象,即它们在一段较长的时期内处于一个或少数几个行为模式上,即复杂系统在不同层次上具有不同的预测特性。

(6) 发展演化原理 系统的产生、发展要经历一个由简单到复杂,由成熟、老化到更新的过程,因此,对待系统未来行为的预测要从系统演化发展的角度来看。就大多数系统来说,存在自然增长的过程:在生存的初始,系统状态变量处于不稳定的、缓慢适应环境的状态;然后进入快速发展时期;随着系统的成熟,发展速度再次降低直至停止、不稳定。系统一个增长阶段的结束,意味着另外一个阶段的开始,不同的增长阶段共同构成更大的增长阶段。逻辑斯蒂增长过程表明,随着系统序参量的增长,系统状态经历平衡、增长、2周期、4周期的倍增周期过程,然后进入分形的混沌状态。问题是,现实生活中技术经济系统的结构和运行的规律可能经常发生变化,也就是说该类系统并不能像自然系统那样按照固有不变的规律经历演化发展的所有阶段或过程。

(7) 自成功自失败原理 预测对象的不同组织性质,比如是自组织的还是它组织的、是内生变量的预测还是外生变量的预测,其预测特性是各不相同的。导致预测成功或失败的根本原因是预测的结果改变了系统中行为者的行为,从而使得原来预期的结果并没有发生或因强化作用而确实发生了,这类预测即属于内生预测。如果系统的未来发展趋势是人们所期望的,那么,由于人们采取了一切有助于该趋势发生的措施,最终保证该趋势的实现,即预测是自成功的;如果经济系统未来发展的趋势不是人们所希望的,那么,由于人们采取了一切扭转该趋势的措施,使得该种情况不能发生,即预测是自失败的。或者说,内生预测情况下预测的成功是预测自成功、预测的失败是预测自失败。

结语 将技术经济的预测作为复杂性系统的预测,并应用混沌理论加以研究,可以得到不同于传统预测的新原理。这将有助于人们认清复杂现象背后的规律,更好地把握技术经济发展的未来。复杂性系统理论为预测研究提供了新的基础和范式。

#### 参考文献

- [1] Joseph Martino. Technological Forecasting: An Introduction [J]. The Futurist, 1993, 7-8: 13-16
- [2] 刘洪. 非线性系统理论与预测研究新范式[J]. 预测, 1999, 18(2): 1-6

# 利用核移植技术建立哺乳类动物模型

周 琪

(中国科学院动物研究所,研究员 北京 100080)

**摘要** 随着大众对人类健康的日益关注、现代医药事业的不断发展,新药物的研制和试验日益显得重要。但这类与人类自身相关的科学研究如果在人体上进行试验,则风险很大;如果通过实验方法使实验动物产生与人类相似的生理状态,或将外源基因导入实验动物,则能使其稳定地整合,从而表达并产生相应的生理效应,建立能够模拟人类生理或病理状态的动物模型。通过对具有与人类疾病相似的动物模型的研究,可使药物试验等试验工作准确无误,更接近真实,使实验结果具有科学性和重复性,从而促进人类健康事业的发展。

**关键词** 细胞核移植 模式动物 动物模型 人类健康 生物制药 [中图分类号] Q81

## 一、模式动物和动物模型的意义

在生命科学、人类医药和健康研究领域,实验动物在生命活动中的生理和病理过程,与人类或异种动物都有很多相似之处,并可互为参照,一种动物的生命活动过程可以成为另一种动物或者人类的参照物。对一些难以在人身上进行的工作,及一些数量很少的珍稀动物,或一些因体型庞大、不易实施操作的动物种类,采用取材容易、操作简便的另一种动物来代替人类或原来的目标动物进行实验研究,这就是动物实验。为了保证这些动物实验更科学、准确和重复性好,可以用各种方法把一些需要研究的生理或病理活动相对稳定地显现在标准化的实验动物身上,供实验研究之用。这些标准化的实验动物就称之为模式动物。

在生物科学的发展过程中,模式动物发挥了重要的作用。海胆等低等动物模型的出现催生了现代受精生物学、发育生物学;果蝇模型的建立大大推进了遗传学和发育生物学的进展;酵母和大肠杆菌作为生物模型为现代分子生物学和基因工程技术提供了施展的舞台;线虫模型对基础和应用生物学产生了巨大的推动作用,并直接导致了细胞凋亡现象的发现,开创了一个当代生物医学的全新领域。这些研究成果已经充分证明了模式动物在生命科学研究中的作用。目前,斑马鱼和非洲爪蟾是最常用的两种模式低等脊椎动物。斑马鱼产卵量多、繁殖迅速、胚胎通体透明,是进行胚胎发育机理和基因组研究的好材料。非洲爪蟾的卵母细胞体积大、

数量多,易于显微操作,还可制成具有生物活性的无细胞体系,易于生化分析,在发育生物学研究中具有不可替代的作用。

实验研究是生命科学发展的基础,动物实验尤其是其中的重要组成部分;而且随着对人类健康的关注和现代医药事业的发展,新药物的研制和试验日益显得重要。但这类与人类自身相关的实验研究只是探索未知的过程,直接在人体上进行试验的风险很大;故应通过实验方法将外源基因或特定 DNA 片段导入实验动物中,使之稳定地整合,从而得到能够模拟人类的生理或病理过程的动物模型。该动物模型应具有与人类疾病或紊乱相似的特性,从而有利于对疾病的研究。因此,建立适宜的实验动物模型,使动物实验研究准确无误且更接近真实、实验结果具有科学性和重复性,具有十分重要的意义。

## 二、采用哺乳动物模型的重要性和几种重要的哺乳动物模型

随着对人类医药和健康研究的深入,低等模式动物已经不能满足需要,迫切需要建立哺乳类模式动物和人类疾病的动物模型。SARS 的爆发使我们更充分地意识到建立人类疾病动物模型的紧迫性。人类疾病的动物模型是指各种医学科学研究中建立的具有人类疾病模拟表现的动物。一种疫苗和药物在最终应用前,必须采集大批量的动物实验和人体实验结果来论证。实验的目的是检验动物或人在注射疫苗后能否产生抗体,病毒袭来时能否安然

- [3] Howell Tong. Chaos and Forecasting[M]. World Scientific, Singapore, 1995  
[4] 刘洪. 经济系统预测的混沌理论研究评述[J]. 自然, 2000, 22(6): 311 - 315  
[5] James P. Crutchfield and et al. Chaos[J]. Scientific American, 1986, 12: 38 - 49  
[6] 刘洪. 预测的混沌范式[J]. 系统辩证学学报, 1998, 6

- (4): 31 - 35  
[7] Lorenz E N. Deterministic Nonperiodic Flow[J]. Journal of Atmos, 1963, 20: 130 - 141  
[8] May R M. Simple Mathematical Model with Very Complicate Dynamics[J]. Nature, 1977, 82: 98 - 167  
[9] 刘洪. 经济系统预测的混沌理论原理与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2003 (责任编辑 邱夜明)