

谁创造着万紫千红的世界

——生物形态结构与非线性理论概述

■ 常杰* 葛滢* 陈刚** 周昌乐***

形态结构的多样性是生命物质的突出特征之一,对生物形态结构的研究在生物学中占有十分重要的地位。因为就物质的两类基本属性——结构和功能来说,结构是第一位的,没有结构就谈不上功能。

现在一般认为,生活起源于 35 亿年前的厌氧细菌。在前一个 15 亿多年期间主要发生了生化进化过程,从厌氧到好氧,出现了光合作用、呼吸作用、光呼吸作用和固氮作用等,在这个时期形态变化极小。一般而言在真核细胞或高等植物中 93% 的酶已在最初的原核细胞中存在。在以后的 15 亿多年内,酶只改变了 7%,而最显著的是植物形态的变化。正是由于形态结构的演化——由原核到真核,由单细胞到多细胞,形态结构越来越复杂、高级,生物的功能才越来越完善,生物才能更加充分地利用环境资源,才有了今天繁茂、多彩绚丽的世界。因此达尔文曾说,形态学是自然科学的灵魂。近代生物学的基石——林奈系统分类学、孟德尔遗传学、洪堡植物地理学以及现代生物学中许多重要的理论,如细胞学说、进化论和分类理论等也都以生物形态结构的研究为基础。

关于生物的形态结构,以往的研究已积累了相当丰富的科学事实,并发现了一些重要规律,在与生物形态结构相关的各个学科领域中也取得了巨大成就。但是,由于缺乏合适的研究方法和方法论,在大量的事实面前,尚难于总结出统一的、普适性强的规律,特别是数理规律,因而在近些年的进展缓慢,取得的成果远远落后于关于生物功能的研究。

任何一门科学,只有在其成功地应用数学时,才算是一门成熟的科学。生物形态结构研究面临的一个基本难题就是定量描述和模拟。只有如此,才有可能发掘出更深层次的规律。以往生物形态结构研究没有能够充分定量化的重要原因是缺乏合适的数学工具。

能够对生物形态结构进行定量描述和模拟的数学工具必须满足植物形态结构的几个特点:(1)遗传的确定性;(2)外界条件的塑性影响;(3)一定程度上的随机性;等等。与以往的线性数学工具不同,非线性理论可在较大程度上满足上述特征。

近几十年来,非线性理论的发展,为生物形态结构的研究揭示出光明的前景。事实上,许多非线性理论的起源和发展就与生物结构密切相关。目前,生物结构的非线性研究在分形理论、混沌理论和突变理论几个方面已经有了较大的进展。

1. 分形理论

分形(fractal)概念是法国数学家 B. B Mandelbrot 于 70 年代中期提出的。分形理论开创了二十世纪数学研究的重要阶段。分形注重研究整体与部分的关系。在很多情况下,它可以将不同领域中的许多研究对象统一起来进行研究。

分形集一般具有以下性质:(1)无论用什么尺度衡量,其复杂性不消失,即具有精细结构。(2)具有一定的部分与整体之间的相似性,即自相似性。(3)生成方式很简单,可以通过迭代、递归来完成。(4)生成过程是并行的,也就是操作过程(迭代)是对上一级操作产生的所有对象同时进行的。

在现实世界中,我们处理的对象往往并不都具有如此良好的分形特征,它们往往只在某些方面显现出分形的特征。因此在应用中,人们更多的是考虑研究对象的“拟自相似性”。如我们经常把几何上并不明显的自相似性转变成统计意义上的自相似性,也就是考虑研究对象的某些指标的局部概率分布与整体概率分布之间的相似关系。

自相似现象普遍存在于植物的形态结构中。例如,同一株植物上的各级分枝之间十分相似,苹果、桃子的形状与树冠外形很相像,从 DNA 分子的双螺旋→染色体→……→叶序,甚至一株植物的开花次序都具有螺旋结构;复叶的各级小叶与上一级小叶及整叶的结

* 杭州大学生命科学院

** 浙江大学数学系

*** 杭州大学计算机科学学院

构十分相似。由于植物形态结构的复杂性,其遵循的自相似规律也不尽相同,可将其归纳为结构自相似(又可分为严格自相似和投影自相似)和外貌自相似两大类。动物体的形态结构中也存在着自相似。例如,人的四肢加头的“五出”与手、脚的五指(趾)之间的相似。低等生物的群体性和泛胚性也是一种自相似性。

从上述例子可以看出,生物体是一个多级的自相似系统,最低级相对独立的子系统称为分形元。

近年来,分形重构问题已成为分形几何研究中的一个热点。植物结构分形重构的方法很多,主要有迭代函数系统(Iterated Function System, IFS),L-系统(L-System)以及受限扩散凝聚模型(Diffusion-Limited Aggregation, DLA)等方法,可以产生各种类

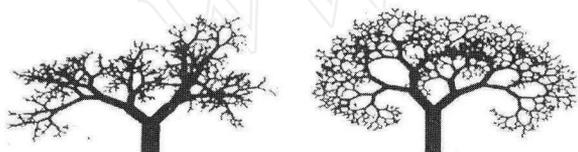


图1 阔叶乔木的 IFS 模拟图形的分形集——植物图象(如图1)

分形理论的创立为植物形态的定量模拟提供了有力的手段,为植物科学的进一步发展和完善展示出动人的前景。例如,在植物分类学中,有望通过分形重建建立全球植物的动态形态库,使植物分类学真正做到量化、系统化;而对于植物系统学,分形重构中特定形态的对应码对于植物进化的研究有重要意义,因为现已初步发现,在进化链中从较低级到较高级植物,其形态结构的自相似性越来越不明显,控制图形所需的参数越来越多,“语法”越来越复杂。从这个意义上说,对植物形态学的量化研究反过来又对分形几何的研究内容以及发展方向提出了新的要求。进一步,随着研究的深入,还可能通过目前图形的“外部控制码”寻找出控制形态建成的“内部信息码”,使进化科学成为一门数理科学和实验科学;再如,形态结构和生理功能是植物生活的两个基本的方面,二者相互促进、相互制约。通过分形重构可模拟植物形态结构的各种变化,探讨不同植物形态及群落结构与环境因子分布的数量关系及其对生理功能的影响,寻找出植物最佳的结构—功能状态,从而发展出一门新的学科——植物结构生态学。

已有的生物结构的分形模拟主要是植物形态方面的,动物结构的模拟工作尚很少。就当前的分形理论来

看,它比较适合于植物形态的模拟,动物结构的模拟在理论上存在一定困难。

2. 混沌理论

与分形一样,混沌也是70年代中才提出的科学概念。混沌学是美国数学家 Yorke 给“不稳定的”动力系统研究的命名。混沌学阐明了无序中的有序、无规则中的规则、未确定中确定。与分形不同的是,它的创立和发展是众多科学家集体智慧的结果。如 Lorenz (1963), Kuhn (1970), 李天岩和 Yorke (1975), May (1976) 和 Feigenbaum (1978) 等作出了开创性的工作。80年代以后,进入全面发展阶段。到了90年代,混沌理论与其它学科大量交叉、渗透,在许多领域都得到广泛的应用,已经在现代科学技术中起着重要作用。

从本质上看,混沌是直接研究我们所看得见的宇宙,以及在与人类本身尺度差不多的对象中发生的过程,是关于过程和演化的科学。

生物结构的形成和发展,实际上是一个动力学过程,具有混沌特征。混沌中的奇导引子(strange attractor)的基本特征与生物结构的基本特征更有许多相似之处。现已发现许多奇异吸引子具有类似动物的形态,例如著名的 Lorenz 吸引子就很象一个张开的蚌壳,有些动力系统的奇异引子类似蛤贝。而 Mira 过程产生的吸引子图像更加逼真地再现了棘皮动物、鱼尾、鸟尾和鸟翅(图2),尽管图中的鸟翅是3个图像的“连体”,要分开还存在一定问题,但无疑它给了我们一个启示,即吸引子图像与动物体或器官之间的对应是存在的,应该作进一步模拟和研究。

分形可以模拟植物的外部形态,但对于植物体的解剖结构则较难处理。混沌中有些引子则可作出植物结构的很好的模拟,例如由 Martin 过程产生的维管束和柠檬皮 Martin 在构造了这些图形后便意识到它们

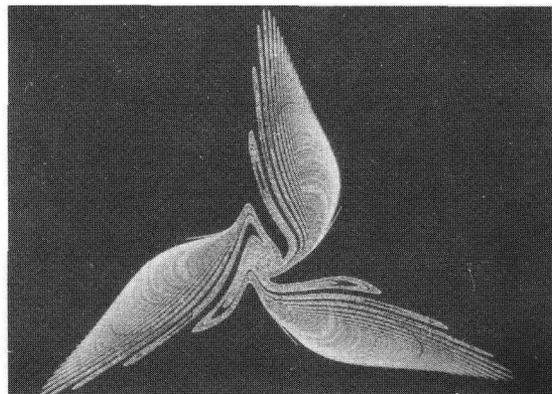


图2 Mira 过程产生的吸引子图像——鸟的翅膀与生物结构之间的关系:“……非常清楚,这种新奇的

图案向我们揭示出,构造复杂生命组织的结构的规律可能是简单的、可笑的……”

3. 突变理论

法国著名数学家 Thom 于 1972 年在《结构稳定性与形态发生学》一书中提出并系统地阐述了突变理论的思想,引起了国际学术界的广泛注意。英国著名数学家 Zeeman 将这一新理论定名为“突变论”(Catastrophe Theory)。Zeeman 和前苏联数学家阿诺尔德将突变理论广泛应用于生物学、社会学、医学和胚胎发育等方面,取得了很多成果,现已形成了以他们三人为代表的突变论三大学派。

与以往微积分解释光滑而连续变化的现象不同,突变理论描述了自然界中大量存在的不连续的突然变化的现象。生命科学是人类面临的最复杂的科学领域,除了连续的渐变过程外,大量存在的是不连续的、突变的过程。可以说,突变是生物界的一个基本的特性。突变理论以拓扑学为基础,研究梯度系统的平衡状态下临界点的性态,描述由逐渐变化的力量或运动而导致发生变化的现象,弥补了微分方程描述方法的不足。

突变理论更主要的是关于形态结构的科学。生物结构中的许多成分,如 DNA、细胞、组织的交替、器官的转变,都是非连续的量。它们从一种状态向另一种状态的转变,必然是突变的。相对于生物系统中多个吸引子关系的分析,因而它在生物个体的胚胎发育、各组织层次的形态建成以及发展变化和衰老等方面将是十分有效的工具;此外,它还有可能为生物进化提供新的解释和描述手段。

4. 结语

Krantz(19)曾经撰文批评了分形几何,并特别批评了分形图象只是“看起来像……”,而没有传统数学

的“定理—证明—定理—证明”。其实,生命中有许多事物,特别是生物的形态,没有完全精确的可重复的事例,正如大家都熟悉的一句话:“世界上没有两片完全相同的叶子”。生物结构的特性很难满足经典数学的要求,是否就意味着它们注定是数学不能达到的“角落”呢?不然,自然界的语言是数学,它无处不在,数学也不仅仅意味着经典的形式,目前已经表明,在经典数学之外,还存在着广泛的、十分诱人的领域。被 20 世纪称为科学之王的物理学在数学的帮助下已经逐步揭开了自然界的奥秘,并且已经有人乐观地认为“目前离找到终极设计只差一步之遥”。被誉为科学王冠上的明珠的生命科学将有何作为?其实,就整个自然科学来说,不解决宇宙中最复杂的生命问题,就永远也不能说找到了这个世界的构成规律。目前越来越多的事实表明,生物是遵循数学规律的,连最复杂的形态结构也不例外,并且有可能是遵循着某些较简单的规律,在令我们眼花缭乱的多样性中蕴藏着惊人的一致性。

现在的几种非线性理论不约而同地都将生命现象看作其理论应用极有发展前景的领域。非线性对生物结构的描述不仅是外部的“形似”,而且在发生机制上也很吻合,预示着利用非线性理论可以在模拟研究的基础上进入更深层次的机理研究。

当前生物结构的非线性研究主要还是数学家比较零散的偶然发现。几种非线性理论都有许多地方涉及生物学,特别是突变论,对生命结构的探索占有相当大的篇幅,但在生物学中引起的反响却远远不如其它学科(如物理学)那样大。生物学家应该总结现有工作,与数学家、计算机学家联手,在某些方面进行系统的探索,寻找规律,极有可能获得突破性的惊人发现,从而最终了解“上帝是如何创造这个世界的”(爱因斯坦)。

(上接第 36 页)利用无线电波加热上层大气区域,并使不同的区域处于不同的温度之中,这可改变局部区域的气象状态,诸如干旱或洪水,对风平浪静的海洋也可使之突起风暴,从而取得战术优势。

HAARP 还配有直径为 120 英尺的雷达散射天线盘、一台激光探测器、一台强磁计和其他光学与红外装置。总之,它的发射、接收系统,计算机和信号处理系统,使它处在高能无线电物理研究的最前沿。

HAARP 将在大气高层投入大量能量,已引起了科学界的关注和不安。科学家们不无担忧地说:“高能无线电波束对上层大气的辐照,最终可能引起对环境

的无可挽救的破坏。”一份由美空军编写的关于 HAARP 与环境的报告说,HAARP 向上发射的无线电波,有可能提高附近人们身体内部的温度,激亮汽车的前灯,使空运中的弹药爆炸,搅乱飞机的通讯、导航、飞行控制系统等。

自 1990 年 HAARP 建造以来,已投入了 5800 万美元,今后 10 年内还将花去 1.5 亿美元。它今后的运行即使完全落在和平利用的目标上,但对人类生活产生的影响,到底是祸是福还难以预料。

(责任编辑 榆文)