

生物多样性的自组织、起源和演化

常 杰, 葛 滢

(浙江大学生命科学院, 杭州 310012)

摘要: 生命系统是典型的自组织系统, 系统中的多样性和复杂性存在着涨落, 巨涨落在生物多样性上表现为生物的大规模爆发和灭绝, 微涨落则为常规发生和背景灭绝。不断增加多样性是生命系统的内在属性, 而实际多样性由自然选择决定。低选择压有利于生物多样性的产生, 系统中过于优势的单一成分抑制多样性。系统的复杂性相变存在临界点, 临界点之上可自发产生正反馈的繁荣, 临界点之下会发生趋于简单性的相变。上述原理可应用在生物多样性研究和保护中, 例如研究特定系统的相变临界点, 以便在配置系统组分时使复杂性超过其相变临界点, 促使多样性的维持和增长由“被组织”进入“自组织”的可持续发展。

关键词: 生物多样性; 复杂性; 自组织系统; 正反馈

On the self-organizing, original and evolution of the biodiversity

CHANG Jie, GE Ying (College of Life Science, Zhejiang University, Hangzhou 310012, China)

Abstract: Life system is the typical self-organization system, in which there are fluctuations in the diversity and complexity. Huge fluctuation displays eruption and mass extinction of life in biodiversity, while tiny fluctuations display a normal origin and background extinction. The continuous increasing of biodiversity is the inherent property of life system. Actual biodiversity is determined by natural selection. Low selective pressure makes for the spontaneity emergence of biodiversity, the excessively dominant unitary element in a system restrains the diversity. The phase-transition of the complexity of the system exists a critical point, and there would occurs the phase-transition toward the boom by the positive feed back when it is above the critical point, while it would toward the simplicity when it is under the critical point. The principles above could be regarded in the studies for the conservation of biodiversity, such as, to find out the critical point of the phase-transition from simple to complex of a certain ecosystem, then collocate the elements of the system to force the complexity exceed the phase-transition point. That causes the maintaining and increasing of the biodiversity from being-organization to self-organization.

Key words: biodiversity; complexity; self-organizing system; positive feedback

文章编号: 1000-0933(2001)07-1180-07 中图分类号: Q948 文献标识码: A

系统自组织理论兴起于 20 世纪 70 年代, 以耗散结构理论的诞生为起点, 而后协同学、超循环理论、突变理论、混沌理论相继建立, 加盟到自组织理论中; 80 年代, 混沌动力学和分形理论又蓬勃发展起来, 给自组织理论注入新的活力。目前自组织理论已经是一个由众多数理分支构成的学科群, 成为当代科学的前沿^[1]。自组织系统的主要特征有:

(1) 宏观性和复杂性 都是由大量子系统(或微观单元)所组成的宏观系统, 例如最小的细胞(细菌莱氏支原体)的体积也是原子体积的 10^9 倍以上^[2], 并且也是由大量的次级系统构成的具有多等级层次结构的系统。大量的子系统和组分之间存在复杂的关系, 并且作为多层次的自组织系统, 各层次系统之间还存

基金项目: 国家重点基础研究规划(G2000046805)和国家自然科学基金(39970058)资助项目。

浙江大学周昌乐教授和丁平教授给予帮助, 特此致谢!

收稿日期: 2000-03-01 修订日期: 2000-07-10

作者简介: 常 杰(1962~), 男, 内蒙古人, 博士, 教授。主要从事生态学、理论生物学、植物学和生态工程研究。

在着一个引人注目的特点,那就是自相似性。所谓自相似,即构成体(母系统)的相对独立的部分(子系统,子子系统)与整体十分相像。例如,同一株植物上的各级分枝之间十分相似,苹果、桃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(如棉花)都具有螺旋结构;复叶的各级小叶与上一级小叶及整个叶片的结构十分相似,等等。最低级相对独立的子系统称为分形元。张颖清也研究了这种自相似现象,但未从分形角度研究,而是使用了“生物全息现象”和“全息元”等概念^[3]。等级系统之间的相似性为跨层次、跨尺度研究提供了连接的纽带。自相似可望成为跨层次研究的有力工具^[4]。

(2)开放性:系统与环境进行连续的能量、物质和信息交换。在交换过程中,系统从外界吸收负熵,以维持或加强系统的有序性。

(3)系统的结构和过程的数学描述是非线性的,因而往往存在突变行为。所谓突变行为,是由逐渐变化的力量或运动而导致突然发生的变化,与以往用微积分描述的光滑而连续变化的对象不同。

(4)系统不断演化,演化过程是自适应的,演化的结果是自组织升级。低层次的子系统或元素一旦形成高一级的系统,后者就会出现原有层次所没有的宏观行为,像目的性、适应性、生长发育等类似有机体的特性,这一特征称为突现(Emergence)。

(5)跨层次整体效应的自我实现(系统的自我超越),即系统演化过程本身的演化,这意味着支配演化过程的演化规则也在演化(类似于“游戏规则随着游戏过程而变化”)。

目前的研究水平还不能从系统较低的组织层次来解释和推断系统宏观行为的机理^[2],但系统具有宏观行为又是无可否认的事实。所谓宏观行为,指系统“涌现”出的整体上表现出来的性质,它是由系统组分相互作用而表现出来的整体特性,但这些特性与组分的性质无直接关系。宏观行为是自组织系统的主要特性之一。例如,不同的生态系统往往由十分不同的物种构成,但在整体上都表现出生产、分解、能量流动、物质循环等,并且同样水热组合下的生态系统间的生产力十分接近,尽管各生态系统因植物种类不同而导致的光合途径和光合速率有很大差别。

在自组织问题中,复杂性的的高低决定了系统等级的高低。大量微观粒子作无规则运动的热力学平衡态是复杂性的起点,以后渐次自发形成级别不同的空间、时间或功能上的有组织结构,便形成即自组织结构。所以自组织理论也是复杂性科学的一部分。

生命系统都是典型的自组织系统^[2,5],因而具有一般自组织系统的共同特征;生命的多样性和复杂性也是生命系统的宏观行为之一。本文试图在总结已有生物学和非线性理论研究的基础上,用自组织系统的原理分析生命系统多样性和复杂性演化过程中的宏观属性,探讨演化趋势。希望能够引起讨论。

1 多样性与复杂性

多样性(Diversity)指互异、多形态(Diverse)、有差异(Different)或不相同(Unlike)的状态^[6]。但多样性概念还应该有另一面的含义,即这些互异的事物具有可以相互联系的一致之处,能够同处于一个系统中。生物多样性指目标区域内(全球、某地区)生态系统、生物种类及遗传物质的丰富性、差异性及分布的均匀性的综合。

复杂性(Complexity)是个很难定义的概念,Webster 辞典中对“复杂”一词的定义是:“一个复杂的事物由多个部分组成,其关系错综复杂,难以理解和处理”^[6]。以前有关复杂性的定义很多,如熵、信息、结构多样性等,目前的主要观点认为是由许多不同的单元组成、且单元之间有紧密联系的系统所具有的特征和属性。20 世纪 80 年代初形成了“复杂学”学科^[7],这是一门新兴的交叉学科,研究复杂系统在一定规则下如何产生宏观有序的组织和行为;混沌理论与此恰恰相反,它是研究系统在简单规则下如何产生混沌行为的^[8]。所以有人又将复杂性研究称为反混沌(Antichaos)理论。但二者又有一定联系,复杂性位于有序和混沌之间的一个狭窄区域,即混沌的边缘^[7,9]。

生物复杂性(Bio-complexity)与生物多样性都是对系统属性的度量,但生物复杂性的概念范畴要比生物多样性大得多。生物多样性是生态系统某一层级组分的相异的多样化程度,如物种多样性就是某一时空范围或系统中物种这一可数单位的多样化程度;而生物复杂性除了包括系统中各个尺度的多样性以外,还

包括这些多样的组分之间的作用和相互关系,如物种之间的竞争、捕食、共生、协同进化,功能群之间的分工与合作等。因此,复杂性包括了多样性和相关性两个方面。另外,由于多样性描述的是现存状态,没有时间维度,因而它是静态的;而复杂性描述相互关系和相互作用过程,因而是动态的。

2 生物多样性和复杂性的起源与演化

2.1 多样性和复杂性起源于自组织系统固有的特征

耗散结构理论指出,一个远离平衡的开放系统(不论是物理的、化学的、生物的系统,还是社会的、经济的系统),通过不断地与外界交换物质和能量,就可能从原先的无序状态,转变为一种在时空上或功能上有序的状态。耗散结构理论的创立,使人们有可能研究非线性的系统在远离平衡态时所出现的新的有序现象和系统的演化问题。一个系统要能够自发组织起来,形成耗散结构,必须满足系统开放、系统远离平衡、系统内自催化的非线性相互作用和涨落 4 个条件。过去从平衡系统观点往往被看作是破坏性因素的正反馈在这里成为系统演化的建设性因素。涨落也被称为起伏,是对系统稳定状态的偏离,是系统的一种非平衡性,它可以破坏系统的稳定性,也可以使系统经过失稳获得新的稳定态。过去涨落主要被看作对系统整体行为偏差,而普里高津则提出“通过涨落达到有序”。

与以往的平衡系统不同,自组织系统这种非线性非平衡系统的相变有多种可能的选择,即系统的演化出现“分叉”。分叉点是旧结构到新结构发生相变的临界点。分叉后的系统经过一定过程后还会再分叉,就像树枝的多级分枝。系统通过涨落达到有序,从一种耗散结构到另一种耗散结构,从一种有序态到另一种有序态,都面临这样的分叉^[1]。分叉的出现需要“涨落力”。一般而言,系统的稳定机制只能在稳定分支和不稳定分支之间选择。当系统处于稳定的定态时,是处于一定的“势阱”(可比作地形中的沟谷)中,两个不同的势阱之间存在着“势垒”(可比作地形中的山梁),系统从一个势阱过渡到另一个势阱需要克服势垒。小的涨落(微涨落)不可能使整个系统克服势垒,跃出势阱。但一旦出现巨涨落,系统就可以克服势垒,整体越过原来的势阱,进入新的耗散结构分支状态。随着系统的演化,系统不断出现新的分叉,越来越高级,这种现象称作逐级分叉。

多样性是生命系统的基本特征^[10],随着生命系统这一自组织系统的进化,生物多样性和复杂性自发地增加。在微涨落时,只有小规模生物类群产生和灭绝,这种灭绝一般称“背景灭绝”,系统处于稳定态,整个系统处于势阱中。当条件具备,某些微涨落因素被正反馈放大时,系统即进入巨涨落,表现为生物多样性的爆发和大灭绝。正如 Simpson 所说,生物多样化和主要新类型的进化是由于侵入新的适应带(Adaptive zone)引起^[11~13]。一个关键适应方式的演化,是进入新适应带的“门票”,一旦进入这个适应带,便等于登上了适应辐射的“舞台”。其实这一新的适应带即是选择压很小的空生态位,或“生态真空”,适应辐射应该是指数式的。新适应带的“门”就是势垒。例如,猫头鹰的不同种在食物和巢区方面有差别,而作为一个类群,它们又有别于鹰类的共同特点,即占据了一个不同的适应带——夜间捕食,由此它们就分化出从画眉鸟大小到鹰大小的各个物种^[12]。

尽管说分叉或多样性、复杂性的产生是系统固有的特征,但不可由此否认外界环境的作用。因为自组织系统是一类开放的系统,随时与环境进行物质、能量和信息交流。系统要不断适应环境,才能存在和发展,值得注意的是这种适应往往是主动性的适应。同时,由于非线性系统对初值的敏感性,外部扰动可能会对系统发展方向产生较大的影响,特别是当系统处于发展失稳的临界点附近时,偶然的因素的影响表现得比较突出^[1]。

一个相当普遍的观点认为,地理分隔是产生生物多样性的主要原因,甚至有人认为地理分布障碍的排除会使生物多样性降低^[14]。地理分隔可以产生一定的多样性,但它不应是多样性(特别是大规模多样性)的内在成因,而是外因。另外,对“生境异质性”一词应该广义地理解,它既包括地理异质性,也包括生物环境(如群落中甚至生物个体内外)的异质性。广义地理解生境异质性之后,就可以发现,多样性和异质性可以共同起源:在没有地理分隔的地方,多样化的生物为其它生物创造异质生境,丰富度越高,异质性也越高。有大量的实际证据支持这一推论:

(1)从地理分布区看,陆地生态系统诸类型中,热带雨林的生物多样性最高,因为热带温暖湿润环境的

环境压力(也是间接的选择压)低,能够给生物的异质性发展提供足够的条件。但有人会对此有异议,因为热带雨林未受冰川影响,大量生物得以保存,不像其它地方被毁灭过,因而热带雨林生物多样性高可能有发育时间长等多方面的原因。但另一个例子的争议很少,那就是大洋中(包括大洋深处)的多样性很高,特别是相邻个体之间就会有很大的遗传差异,而这里的选择压是低的。

(2)从生态学过程看,生态位突然宽松的生态中会有一个多样性爆发的阶段,如耕地撂荒后的演替过程中的多样性变化:水肥条件较好的土地一旦弃耕,几年之内有大量的植物物种多样性,远远超过同气候下的草地和森林,几年后选择(表现为种间和种内的相互作用,负反馈)逐渐发生越来越大的作用,符合地带性植被特点的群落结构逐渐形成,先锋种逐渐退出,群落中物种多样性较开始时降低。另一个例子是,农田水肥条件好,胁迫强度低,经常产生大量变异,已成为育种的重要来源。

(3)进化史上每次生物大灭绝后都有生物大爆发,这就是说,只要环境出现了可供利用的生态空间,就会有生物的分化,以对灭绝生物曾经占有的生态位进行再一次瓜分^[12]。

2.2 实际生物多样性由环境决定

自组织系统中被放大的涨落产生大量的分叉,其中有些能够保存下来,有些则被淘汰,这就是选择的作用。达尔文明确了环境对生物的自然选择对进化的意义,即优胜劣汰,这一原则至今仍为大多数生物学家和哲学家所接受。实际上,这一原理不仅对生物系统有效,而且对自组织系统也具有一般性意义。没有环境的选择,就没有系统的进化。甚至可以将自然选择比作一条河的河床,生物多样性就是河水,河水一定要在河床里才能向前流动。

就像任何一个物种的生殖能力与实际种群数量一样,一个系统中潜在的生物多样性总是大于实际存在的多样性。潜在的多样性中有许多种状态(即生物的结构和功能),其中一些是不稳定的,环境决定哪些状态可以存在,哪些不能存在,或存在很短的时间。潜在的生物多样性和实际多样性之差是自然选择的结果。Solbrig 从分子水平给选择下了定义,认为生物多样性最终来源于基因突变,各种消除变异的过程和降低多样性的过程统称为选择^[10]。

强选择压下物种多样性明显降低。例如,农药的使用不仅降低了田间杂草的多样性,而且也使很多田边生长的物种濒临灭亡。Hibig 曾报道^[15],在原西德的马格德堡和哈勒,有 85 种杂草被看作濒危植物,而萨克森地区的杂草中有 50% 面临濒危,巴伐利亚州有 1/3 的乡土杂草被列为濒危植物^[16]。虽然一些种类的一些个体能够产生抗性,但有这种能力的种类和个体正是这一物种原有的能适应农药环境的多样性的体现,并总是少数的,而抗性种类本身不适应农药环境的基因多样性个体也被消除。而这一物种剩余的个体也因适应极端环境而降低了对原有环境的适应能力。去掉除草剂的选择压力后,物种多样性可以得到恢复^[16]。矿区高金属含量土壤对物种也有上述作用。

按照上述分析进行逻辑推理,低选择压下的生物多样性大于高选择压下的多样性。Ford(1931)在研究种群密度调节的遗传性变化时认为,当自然选择压力比较松弛时种群内的变异增加^[17]。但是由于观点不够鲜明,影响不大,以至近年来许多人在这个方面仍然争论较多,特别是有些人认为在高的选择压下进化速度快,并体现在国内外的一些研究项目的主导思想中。实际上,高的环境压力容易使生物性状特化,而极端的高选择压下性状会强度特化,或称“超特化(Overspecialization)”。超特化的生物在环境改变时,更容易濒临灭绝^[12]。目前的濒危物种往往是对某种生境十分依赖,特化程度很高的物种,一旦其生境发生剧烈变化,很难重新适应变化后的环境,从而濒危。

3.3 生物多样性和复杂性的增加机制是正负反馈的共同作用

自组织系统中同时存在正反馈与负反馈两种机制,两种机制本身也存在相互作用。但这并不意味着系统中存在着两套截然区别的机构,而是同一套机构依据条件而发挥着不同的功能,起到不同的反馈作用^[1]。正反馈将系统中的涨落因素放大,给系统提供前进动力,但正反馈也会带来不稳定因素,需要经过选择,由负反馈将其去掉,使系统在新的状态中保持稳定,系统就发展了。

在生物多样性演化的不同阶段,系统中正负反馈两种机制的作用强度不同,互为消长:在每一次大爆发阶段,多样性和复杂性以正反馈为主,这时的多样性增长应符合指数模型。Stanley 提出在一个刚刚发生

的类群中生物多样性增长假设^[18],即经历着像种群增长那样的指数增长模型,遵循方程 $N_t = N_0 e^{rt}$ 。

从化石记录看,前寒武纪晚期和寒武纪早期多细胞生物的第一次大爆发时,多样性即呈现指数式增长^[12]。以后每次重大灭绝之后生物多样性增加都很迅速,每个大类群都发生过指数式的适应辐射^[12]。例如,中生代爬行类惊人的适应辐射,被子植物从白垩纪开始的成幂增长,哺乳动物“属”的多样性在整个新生代以指数式增加^[12]。

这种正反馈造成的指数式增加可以从生态学上得到解释。Bambach 提供的证据表明,显生宙许多类型多样性的增加都是通过增加对“生态空间”的占领,即通过增加资源利用多样性实现的^[19]。资源多样性的增加方式是正反馈的:一个物种也是其它物种的资源,物种越多,资源也就越多,也就可以产生更多的物种。例如,被子植物的发生虽然会与已有的裸子植物和其它植物竞争生态位,从而对其它植物的多样性有一定负作用。但是大多数被子植物都是专性食草昆虫的宿主,而这些食草昆虫又依次是数千种寄生昆虫的高度专一性寄主^[19]。所以它开辟了以往不存在的更为广泛的生态位。当前的生物多样性在某种程度上奠定了未来更大多样性的基础。

大爆发过后,随即是一段减速增加阶段,这时负反馈逐渐起作用,多样性增加速度越来越慢,直至增加速度与消失速度接近,表现出多样性在一个恒定的水平附近波动。形成类似种群数量增长的 Logistic 曲线。Sepkoski 发现,整个古生代,多样性相当符合 Logistic 模式,尽管存在连续的起源和绝灭,从寒武纪晚期到二叠纪,生物类型多样性仍波动于一个相当恒定的水平^[20]。

整个生命系统多样性的增长方式与种群(在无环境限制和有环境限制时)的增长规律相似,决不是一种巧合,而是自组织系统的一个特征——两个组织层次之间自相似。

考察自从生命起源迄今的全部演化历史,可以发现生物多样性和复杂性的变化也呈现出正反馈方式,即,虽然显生宙生物已经历过五次大的灭绝和许多次小灭绝,但整个生命系统的生物多样性和复杂性自生命起源以来在总体上不断增加,表现为整个生命世界中结构、功能的日益丰富。正反馈是生命系统多样性增加的一个重要因素。

3 生物多样性的维持

3.1 自组织系统复杂性的相变和临界点

系统状态的改变在系统科学中称为“相变”,这是系统的质变。相变理论将系统相变分为两类,一类为普通相变或不连续相变,另一类是连续相变。第二类相变中的相变点是真正的临界点^[1]。在临界点附近,两相的差别很小,甚至为零,但这一时间极为短暂,瞬间完成于相变临界点上。这是一个由量变积累到质变的过程,犹如雪崩的发生。

自组织系统中复杂性和多样性的变化也存在相变和临界点(阈值)。Arthur 和 Koffman 对经济系统的研究发现,如果一个国家的经济系统的复杂性在相变临界点以下(或者说复杂性积累不足),则不管政府和国际社会采取什么措施,这个国家的经济也发展不起来。相反,如果一个国家向多样化方向发展,将经济复杂性增至超越临界点以上,则这个国家就会出现自催化现象,出现一个发展和发明的爆发阶段,经济学家称之为“经济起飞”阶段^[21, 22]。中国经济最近二十多年来的快速发展看来符合这一理论。

经济系统从属于人类种群系统,因而是生命系统的子系统,二者具有自相似性。生命系统中生物多样性的产生和丧失都是系统的相变,而大爆发是系统的“巨相变”。因此,每一次生物多样性的产生和丧失都是系统复杂性积累超过临界值,系统相变的结果。Solbrig 发现,在生态学尺度上,生态系统复杂性变化也存在相变和阈值^[10]。

3.2 生物多样性和复杂性的涨落

如前所述,一个自组织系统的进化过程首先是在正反馈的作用下逐渐复杂,当复杂程度超过临界点时,就会发生趋于复杂的相变,系统的复杂性越来越大,出现正反馈的繁荣。到达繁荣以后,正反馈的作用减弱,负反馈的作用开始加大,复杂性开始衰退,当复杂性降低到达另一临界点(低复杂性临界点)时发生趋于简单性的相变,多样性和复杂性崩溃。在演化过程中,系统复杂性不断发生涨落。从理论上分析,系统不可能长期维持某一多样性和复杂性恒定不变。

人们几乎用历史上可以想象的任何灾变(地球上的或是天外的)来解释大量绝灭,但常常缺乏证据^[12],其中 Alvarez 等(1980)提出的有关白垩纪末的绝灭事件的假说解释力更强一些,即这次绝灭是由于一个小行星撞击地球引起环境剧变所造成^[23]。但是,有关这个假说的正反证据都很多。本文认为,绝灭的原因不可能仅仅是外界环境引起的灾变,因为每次绝灭后不太长的时间内都无一例外地发生生物多样性的爆发,并且每次这种大爆发都使得生命在结构和功能上更加完善,这显然是有了足够的积累的结果。另外,生物灭绝符合幂指数分布^[24],用计算机制造的“人工生命”构成的“人工生态系统”中,没有外界扰动时物种的灭绝仍然符合幂指数分布,说明临界态确实是复杂系统的内在属性^[7]。

如果全面考察各种自组织系统就会发现,类似生物多样性绝灭的大规模衰落各种无生命的耗散结构系统中也相当普遍地存在。这从另一方面说明,上述“灾变论”——即大绝灭完全是由于外界环境引起的观点是片面的。灭绝应是系统与环境互作的结果。系统复杂性衰落到一定程度,接近崩溃临界点时,外力的一定扰动就会引发崩溃。崩溃的程度与扰动的大小非线性关系^[24],即小的扰动既能引发小崩溃,也能引发大崩溃。

系统中多样性崩溃的原因是系统的自毁。自毁现象普遍存在,例如生物群落在生存过程中逐渐改变环境,使环境不再适合自己生存而被下一个群落取代,生物除了因捕食、意外事件引起的死亡外,个体发育的最终结果便是启动死亡程序,自行结束生命。一个系统的毁灭给其它系统让出空间和资源,甚至是给其它系统创造条件,如群落演替过程往往都是前一个群落创造出不适合自身但适合后一个群落的环境。Love-lock 与 Margulis 提出 Gaia 假说,认为地球环境是由生物圈、大气圈、海洋、土壤等各部分组成的反馈系统或控制系统,这个系统通过自身调节和控制而寻求并达到一个适合于大多数生物生存的最佳物理-化学环境条件^[25]。无论是否相信 Gaia 假说,科学家都承认现存的地球环境是由先前的生命创造的,特别在早期,厌氧生物(光合蓝菌)为好氧生物的出现提供了条件,富氧大气的形成使得蓝菌大衰落。发生自毁时,绝大多数情形下生命成分和环境都未发生剧变,而是逐渐衰落,直到临界点。自毁给系统的进一步发展提供机会,是自组织系统组分更替、升级和复杂性爆发的保证。

如前所述,系统复杂性由两方面的因素决定,一方面是组分的多样性,另一方面是组分间的关联性。组分间联系过少或过多(极端的是全部组分均有联系)时系统的复杂性都不是最高,只有部分联系(中等水平的联系),或称重度非线性^[1]时系统的复杂性最高^[26]。系统中绝对优势的组分一方面会减少系统的多样性,另一方面会使其它组分都与其发生关联,因而从两方面均降低了系统的复杂性。

在进化尺度上,每一次生物大爆发以后,随之而来的是一段相对稳定的时期,各类群自我发展和生存竞争的结果是逐渐形成一个占优势甚至统治地位类群,占用了系统中的绝大部分资源,抑制其他类群,使系统的复杂性降低,复杂性低到临界点时便会引起相变,系统复杂性崩溃,即生物大灭绝,之后再重建更大规模的多样性。约 6 500 万 a 前离人类最近的一次以恐龙类群为主的生物大灭绝,部分原因可能是恐龙类群过于优势、抑制复杂性造成的。

在生态尺度上,强化某一个种类在生态系统中的优势地位同样也会减少系统的生物多样性和复杂性。该种类过多占有了系统的资源,相当于对其自身生存环境的自毁。例如,优势种明显的生态系统,其中的多样性和复杂性会受到抑制,优势种优势度越大,抑制作用越强。而无优势种的热带雨林中的生物多样性和复杂性最高。增加草地营养水平会增加某几种植物的产量,降低整个草地的多样性^[13]。外来种的入侵毁坏原有生态系统是过度优势类群破坏系统复杂性的极端情况。

1 万 a 来人类进入新石器 and 农业社会以后,生物圈已经进入后期发展阶段,人类对全球的改造大大加快。而工业化以来短短的 200a 中已使地球环境发生了巨大改变,生物圈的性质也正在发生着质的变化,进入 20 世纪后期,由于全球交通的日益发达,信息、物质和能量的密切沟通,生物圈已经演化成密切相互作用的全球生命系统。可以说,由于人类越来越强有力地干预自然界,干预人类自身进化,人类已经由系统中的一般因素上升为主导因素。人类的自毁作用也在迅速增强,强烈改变生态环境,抑制和降低其它生物的多样性。可以在某种意义上说,地球生命系统的未来命运将掌握在人类手中,如果不加以控制,目前的自毁强度很有可能引起自身及由其主导的系统中多样性和复杂性的崩溃。只有当人类能够真正认识和掌握自

然规律,让包含人类在内的地球生物圈长期存在和繁荣下去,才能真正体现出人类的聪明和理智。

4 自组织理论在生物多样性研究和保护中的应用展望

对自组织系统生物多样性和复杂性的起源、演化和维持原理的探讨,可以为生物多样性保护的研究和实践提供新的启迪。在生物多样性研究中,建议开展进行生态系统复杂性-简单性相变临界点、乃至受控自组织系统演化的研究。在生物多样性的调控方式上,依据正、负反馈的原理综合配置系统复杂性的多个组分,使系统复杂性超过向复杂相变的临界点,系统由“被组织”状态进入“自组织”状态,生物多样性可持续增长。

在具体某一类目标(如濒危生物类群或某生态系统)的多样性和复杂性恢复研究,应尽可能地降低选择压,包括环境胁迫和人为干扰,使多样性和复杂性能够迅速地提高。如果为了某些特定目的,也可以有意识地使用一些高选择压。但应该注意到,尽管某一因素的强选择压可能使物种产生一些特有性状,但由于演化的不可逆性,这种特有性状的产生可能是以其他性状的损失(如竞争能力的减弱)为代价的,因而当这种高选择压消失时可能伴随着这一物种的灭亡,所以在多种环境条件下保存物种生存空间应是保存多样性的一个方法。环境多样性是系统复杂性的一部分,多样化的环境有利于整个生态系统复杂性的提高。

目前人类已经在一定程度上可以调控系统的状态和行为,并且对生态问题有了越来越深的认识,如果能够将全球及地区的生态系统复杂性维持在临界点以上,从而以微涨落取代巨涨落,就可以避免本次全球生物多样性和复杂性的大崩溃。

参考文献

- [1] 曾国屏. 自组织的自然观. 北京:北京大学出版社, 1996. 87~247.
- [2] 张彦, 林德宏. 系统自组织概论. 南京:南京大学出版社, 1990. 2~5.
- [3] 张颖清. 生物结构的三定律. 呼和浩特:内蒙古人民出版社, 1982. 1~30.
- [4] 常杰, 陈刚, 葛滢. 植物结构的分形特征及模拟. 杭州:杭州大学出版社, 1995. 97~100.
- [5] Jantsch E. 曾国屏等译. 自组织宇宙观. 北京:中国社会科学出版社, 1992. 5~35.
- [6] Random House. *Webster's College Dictionary*. New York: Random House, 1996. 278.
- [7] 张知彬, 王祖望, 李典谟. 生态复杂性研究——综述与展望. *生态学报*, 1998, 18(4): 434~441.
- [8] Gleick J. *Chaos: Making a New Science*. New York: Viking, 1987. 352.
- [9] Langton C G. *Artificial Life. Santa Fe Institute Studies in the Science and Complexity*. Vol. 6. Redwood City, Calif. Addison-Wesley, 1989. 212.
- [10] Solbrig O. *Biodiversity, Scientific Issues and Collaborative Research Proposals*. MAB Digest 9, Paris UNSECO. 1991. 5~32.
- [11] Simpson G G. *The Major Features of Evolution*. New York: Columbia University Press, 1953. 312~324.
- [12] Futuyma D J. *Evolutionary Biology*. (2nd eds.). Sunderland: Sinauer Associates, Inc. 1986. 345~372.
- [13] 彭奕欣, 黄诗笺. 进化生物学. 武汉:武汉大学出版社, 1997. 252~271.
- [14] Holdgate M. Ecological sense of biodiversity. *Ambio*. 1996. 25(6): 408~415.
- [15] Hibig W. Preservation of agrestal weeds. In: Holzener W, M Numata ed. *Biology and Ecology of Weeds*. W. Junk publishers, 1982. 57~59.
- [16] 郭水良, 赵铁桥. 除草剂对杂草微观进化及多样性的影响. *生物多样性*, 1997, 5(4): 301~306.
- [17] 孙儒泳. 动物生态学原理. 第二版. 北京:北京师范大学出版社, 1992. 314.
- [18] Stanley S M. *Macroevolution: Pattern and Process*. San Francisco, Freeman. 1979. 252~331.
- [19] Bambach R K. Ecospace utilization and guilds in marine communities through the Phanerozoic. In: M J S Tevesz and P L McCall ed. *Biotic Interactions in Recent and Fossil Benthic Communities*. New York: Plenum, 1983. 719~746.
- [20] Sepkoski J J Jr. A kinetic model of Phanerozoic taxonomic diversity. III. Post-Paleozoic families and mass extinctions. *Paleobiology*, 1984, 10: 246~267.
- [21] 常杰, 等. 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. *科学中国人*, 1996, 10: 37~39.
- [22] Waldrop M M. 陈玲译. 复杂——诞生于秩序与混沌边缘的科学. 北京:生活、读书、新知三联书店, 1997. 169~170.
- [23] Alvarez L W *et al.*, Extraterrestrial cause for the Cretaceous-Tertiary extinction. *Science*, 1980, 208: 1095~1108.
- [24] Bak P and Chen K. Self-organization critically. *Scientific American*, 1991, 46~54.
- [25] Lovelock J E. Hand up the Gaia hypothesis. *Nature*, 1990, 344: 100~102.
- [26] Gell-Mann M. *The Quark and the Jaguar——Advances in the Simple and Complex*. New York: W. H. Freeman and Co. 1995. 17~49.