

熵、生物进化与 Brooks-Wiley 理论

朱 敏 周明镇

(中国科学院古脊椎动物与古人类研究所, 北京 100044)

内 容 提 要

介绍了熵与生物进化两个概念间的辩证统一关系,重点讨论了 Brooks-Wiley 理论,该理论认为“生物进化是熵增加过程”,同时又是复杂性、组织性和秩序性都不断增加的进程。

关键词 熵 生物熵 生物进化 系统发育 系统学

1979 年, Farris 在《系统动物学》杂志上发表了一篇题为《系统发育系统之信息量》的论文, Brooks-Wiley 理论由此获得了启发,该学说的倡导者们尝试着从一个全新的角度探讨热力学第二定律与生物进化间的关系 (Wiley and Brooks, 1982, 1983, 1985, 1987; Brooks and Wiley, 1984, 1986; Collier, 1986, 1987; Wiley, 1987, 1988)。这一学说是否代表了生物进化理论的又一次综合,目前下定论还为时过早,不过 Brooks-Wiley 理论在 80 年代曾引起学术界的热烈讨论,尤其对生物进化研究领域造成不小的冲击,因此,我们在这篇文章中对它作一介绍,希望与中国广大读者,尤其是进化论研究工作者共同探讨。

“时间之矢”的困惑与求解

1865 年, R. Clausius 引入了熵的概念——一个系统随机性的量度; 1872 年, L. Boltzmann 提出了著名的熵关系式和有序性原理, 确立了热力学的学科地位。热力学第二定律断言,任何一个物质与能量封闭的系统,其浓度与温度的差别和梯度都趋向于消失,并被均匀性与随机性取代。热力学第二定律实际上就是熵增加定律,对于一个孤立系统,未来是熵增加的方向。这样一来, S. A. Eddington (1935) 提出的“时间之矢”的概念产生了。有人说,熵增加实际上是宇宙死亡的宣判。

1859 年, 达尔文《物种起源》的出版标志着科学的生物进化理论的诞生, 是生物科学的一场革命。达尔文理论告诉我们, 随着时间进程, 生命从“低级”形式进化到“高级”形式, 从无区别的结构到错综复杂的结构, 其组织性与多样性不断得到发展。在社会学中, 马克思和恩格斯的历史唯物主义也接受了这种向上延伸的时间之矢。

经典热力学和达尔文进化学说都发现了“时间之矢”, 但它们两者间并不吻合。在经典热力学中, “时间之矢”朝下, 趋向于无组织状态和随机性。相反, 在达尔文的进化理论中, “时间之矢”朝上, 趋向于在一定结构和功能方面的组织性的更高层次。这个矛盾令人困惑, 在热力学第二定律面前又如何理解生物进化呢?

1944 年, 量子力学理论的创始人之一, 奥地利著名理论物理学家 E. Schrödinger 发表了《生命是什么》这一专著。在书中, 作者对上述矛盾作了饶有兴趣的讨论, 他认为生命的特征在

于它还在运动,还在新陈代谢。任何生命终究要死亡,要从有序走向无序,新陈代谢就是一种与死亡的对抗,尽可能延缓死神的降临。新陈代谢是交换,但 E. Schrödinger 不认为这种交换是物质与能量的交换,而是熵的交换。他从热力学第二定律推论,一个生命有机体在不断地增加它的熵,并趋于接近最大值熵的危险状态,那就是死亡。要摆脱死亡,也就是说要活着,唯一的办法就是从环境中不断吸取负熵。有机体是赖负熵为生的。新陈代谢中本质的东西,乃是有机体不断从环境中吸取秩序,成功地消除了自身不可逆过程产生的熵。例如,高等动物的食物状态是极为有序的,动物在利用了这些食物以后,排泄出来的是其有序性大大降低了的东西,而不是另外的物质或能量。E. Schrödinger 虽然说明了生物有序性的源泉,但并未触及生物进化的时间之矢,后人继续在时间之矢的困惑中苦苦思索。

本世纪的科学既各自发展又相互渗透,在这一过程中出现了许多不同层次的交叉学科,其中一些综合性和概括性最强的可涉及到物理科学、生物科学与社会科学的内容。它们被统称为“复杂性科学”,包括一般系统论、控制论、信息论、动力学和动态系统理论,以及数学中的突变理论和混沌理论,另外还有非平衡态热力学,这些新理论开始以严格方式探讨变化的不可逆过程。科学的进化范式理论——一般进化论终于兴起,这里“进化”的外延被进一步扩大,它不再特指生物物种的进化,而是泛指在我们认识的宇宙范围内出现、存在、变化或消失了的所有事物的进化。

根据一般进化论,进化可以分化三个层次:宇宙的进化,生物的进化和社会的进化,它们构成一个连续统一体。一般进化论就是试图将物理的、生物的和社会的进化统一在一个有它自己的规律和逻辑的首尾一致的框架内,因此也被统称为“广义综合理论”。在“一般进化论”学者看来,生物进化仅仅是进化这一连续统一体的一部分,它具有与宇宙进化和社会进化相同的规律。这本质上是一种生物还原论(reductionism)的思想。

进化代表了有序性的增加,而热力学第二定律却把世界描绘成从有序到无序的演变。由于耗散结构理论的贡献,这个问题的解决已初显端倪。

耗散结构理论与生物进化

耗散结构理论揭示了从混沌、无序到有序的规律,1969年由比利时著名科学家 I. Prigogine 在一次“理论物理学和生物学”会议上正式提出(由于在非平衡热力学方面所做的工作,I. Prigogine 1977年获得诺贝尔奖)。耗散结构理论告诉我们:非平衡可能成为有序的源泉。

现实世界中的系统可能处在三种状态中的某一种。第一种状态是平衡态,在这种状态中,系统熵的产生、(亲和)力和流(不可逆过程速率)均为零,系统的元素处于一种无序的随机混合状态。第二种状态是近平衡态,也称线性非平衡态,在该状态下熵的产生量很小,力微弱,速率则是力的线性函数。不管初始条件如何,该系统最终将达到外加边界条件所决定的那个态。第三种状态是远离平衡态,在这种状态下的系统是非线性的和随机不确定的。它们不趋向最小自由能和最大熵,相反它们可能放大某些涨落,然后进化到与前述两状态大不一样的新动态系统。

现在我们认识到,在第三种状态下的系统是开放系统,决定系统内部熵值的变化不仅仅是边界内的不可逆过程。这里使用 Prigogine 等式来具体描述 $ds = d_i s + d_e s$ 。ds 是系统中总熵的变化, $d_i s$ 则是系统内部不可逆过程产生的熵(i 是 inside 的首字母), $d_e s$ 是通过

系统边界输送进来的熵 (e 是 exchange 的首字母)。在孤立系统中, $d_e s = 0, ds = d_i s \geq 0$ 。可是在开放系统中, $d_e s$ 可以抵消系统内部产生的熵, 甚至还可以超过它。因此在开放系统中, ds 就不一定是正的了: 它可以是零或负值。这样开放系统可以处于稳定状态 ($ds = 0$), 也可以复杂化 ($ds < 0$)。换句话说, 由系统内部不可逆过程产生的熵被转移到环境中去了。I. Prigogine 等证明, 在远离平衡的条件下, 系统可能发生不同类型的组织过程, 形成新的有序结构, 即耗散结构。

在进化生物学方面, 耗散结构理论在生物大分子和细胞层次上进行了大量探索。I. Prigogine 认为, 生命的出现实际上是物质-能量系统在远离平衡态时发生的新的自组织的结果。生物世界的组织性便开始作为一种自然过程而出现。生物学的有序性问题是相当复杂的, 即使在上述两个层次上, 问题还远未解决, 例如我们还不清楚从分子活动到细胞的超分子秩序的过渡问题, 生物进化论的核心是种群生物学和物种的进化, 沿着时间之矢, 生物多样性的增多与分支发展, 耗散结构理论完全回避了这个有序性问题(一般进化论只作了总体的定性解释)。因此, 热力学第二定律与进化理论只是在分子与细胞水平上得到某种调和。

生物秩序中的遗传码

生命是人类孜孜探求的一个永恒主题, 这其中包括生物秩序 (biological order) 中的诸多奥秘。对于生物秩序, 最棘手的难题是其属性。生物秩序不难被发现, 早在公元前三世纪, 亚里斯多德就已认识到了生物的等级关系。然而生物世界丰富多采, 变化万千, 在属性问题面前, 尽管古今中外奇想妙论迭出, 问题仍旧棘手。第二个难题是生物秩序的源泉。生物具有一种自组织的特性, 这种特性曾使得 E. Schrödinger 把生命与负熵联系在一起。第三个难题被称为“Dollo 定律”, 即生物秩序从不重复自身。生物秩序不但不可逆, 而且随着时间进程, 组织性愈来愈高。

随着新达尔文主义的兴起, 尤其是 1953 年后分子生物学的蓬勃发展, 遗传码成为开启生物秩序这扇神秘大门的钥匙。生物生或死, 它们作为个体并不进化。生物的物质成份也不进化, 它们成为某个生物的组成部分, 然后又停止作为那个生物的一部分。甚至于生物的结构也不进化, 随着生物的生或死, 这些结构萌生, 发育, 然后消亡。发生进化的是这些结构的历史序列, 每个结构都与其祖先体因果相通。通过复制, 信息传递到后代, 结构间连续体由此实现。传递的媒介就是遗传码, 根本上说, 生物进化是遗传码的进化。

遗传码有两个特性, 物质特性与信息特性。物质特性决定了生物秩序必须服从物理与化学定律, 当然包括热力学定律。从信息特性来看, 遗传码是生命繁衍的主要手段, 它类似计算机程序中的指令集, 受精卵顺序解译遗传码并逐渐发育成体。在该模式中, 指令就是遗传码信息, 它们中的绝大部分承袭祖先, 并要继续传给后裔。这种编码信息的传送可以纳入 Shannon 和 Weaver (1949) 通讯理论的范畴。生物进化的另一个信息特性是后代复杂性和组织性的单向增长。生物进化不但包含信息的传送, 而且包含信息量的变化与增加。

如果十九世纪如 L. Boltzman 所称是“达尔文世纪”, 那么二十世纪则是“信息世纪”。时代在进步, 理论也在不断更新, 现在认为生命系统不仅是物质-能量系统, 同时还是信息系统。从物质-能量系统看, 生物是远离平衡的耗散结构, 为了保持自身稳定, 它们需要外界自由能量的不断输入。就此而论, 生命系统与非生命系统并无本质区别。但正如前面所述, 单从热力学第二定律的物质-能量特征考虑生物进化问题是难以解释生物界的多样性问题的。

Brooks-Wiley 理 论

科学的进步是通过科学研究纲领 (research program) 的进步来体现的, Brooks-Wiley 理论实际上就是一个兼顾遗传码的物质特性与信息特性的研究纲领。所有的科学研究纲领都可用“硬核 (hard core)”来刻划其特征。Brooks-Wiley 理论的硬核假说就是“生物进化是一个熵过程” (Brooks and Wiley, 1986)。该理论认为, 生物进化是一个复杂性与组织性不断增加的过程, 同时还是一个熵增加过程。在这里两种“时间之矢”被辩证地统一在一起, 生物进化是热力学第二定律运作的另一种表现形式。

在 Brooks-Wiley 理论中, 有两个概念至关重要, 一个是信息, 另一个是熵, 它们主要有三方面的作用: (1) 提供了生物过程与物理定律间的联系, 说明生物系统不受特殊的生物定律支配; (2) 提供了说明生物进化有序性增加的方法; (3) 为辅助假说之间提供了概念上的联络。

Brooks 和 Wiley 等把生物信息定义为“指令信息” (instructional information)。信息的排列方式构成了指令信息, 因此生物信息也被称为排列信息 (array information), 其特性只依赖于信息所在系统的特性。例如在 DNA 水平上, 指令信息可由三联体到基因再到基因型的一系列组织水平代表, 它的特性只由 DNA 分子的特性决定, 而不依赖于周围环境。对于不同的组织水平, 生物的指令信息也就不同, 这是一个相对概念。生物通过参照自身内部的指令信息建造自己, 这种指令信息是可遗传的。

Brooks-Wiley 理论认为生命系统与非生命系统的不同在于前者具有指令信息。该理论宣称, 在考虑熵增加定律对生物体的影响时, 生物的信息系统优先于物质-能量系统。至于根据, 他们提出了这样一个事实。正是指令信息决定了化学反应的种类与速度, 使生物体能在特定环境中保持稳定状态, 换言之, 指令信息不但与结构水平直接相连, 而且还决定生物体的能量流动。

熵是一个系统随机性的度量。生物熵的概念建立在“生物进化是宏观(不可逆)现象”这一前提之上, 引用了 Layzer (1977) 关于宏观信息的基本公式。Layzer 定义宏观信息为:

$$I = H_{\max} - H_{\text{obs}} \quad (1)$$

其中 I 是宏观信息, 是系统组织性的度量; H_{\max} 是系统的相空间 (phase space) 或最大熵 (处于平衡态时的熵); H_{obs} 是系统观察到的熵 (简称显熵), 是系统复杂性或多样性的度量。

H_{\max} 定义为:

$$H_{\max} = \log_2 A \quad (2)$$

其中 A 是系统现有微态 (microstates) 数目。 H_{obs} 定义为:

$$H_{\text{obs}} = -\sum (P_i \log_2 P_i) \quad (3)$$

其中 P_i 是第 i 个微态出现的概率。

Brooks-Wiley 理论的硬核断言“生物进化是熵(增加)过程”。但常识又告诉我们, 生物进化是复杂性、组织性和秩序性都不断增加的进程, 仿佛是负熵现象。这其中出现矛盾。其实只要认识到生物进化这一非平衡现象的两大特征, 相域不断增加和实现的变异落后于最大熵(即实现的多样性比最大可能的多样性滞后), 问题也就迎刃而解。举例来说, 插图 1 中 a, b 表示了解释生物进化的两种不同的思考方式。

在插图 1 的两个模式中, 观察者都被置于代表最大熵的线上。在模式 a 中, 最大熵是一个恒定数。无论何时, 观察者发现实现了的遗传多样性(显熵)总要低于可能的最大熵。更进一

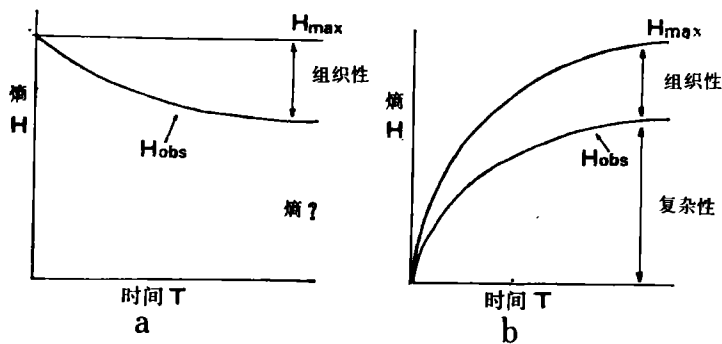


插图 1 生物进化中最大熵、显熵与宏观信息(或负熵)之间的相互关系
The interrelationship of the maximum entropy, observed entropy
and macroscopic information (or negentropy)

(据 Wiley, 1988)

- a. 系统的最大熵恒定,最大熵与显熵间的差异是组织性的度量,并被解释成为负熵(显熵随着时间之矢逐渐减少); b. 系统的最大熵与显熵随着时间之矢同时增长,它们的差异即系统的组织性,显熵就是系统的熵

步,由于增加了的组织性要求更大程度地远离无序,随着时间进程,观察者会发现显熵愈来愈退后,这时他就会得出生物进化是负熵现象的结论。

在插图 1 模式 b 中,最大熵是一个不断增长的数。随着时间进程,观察者发现实现了的遗传多样性越来越滞后于最大熵(最大熵增长速率高于显熵增长速率)。在同一时间, H_{max} 与 H_{obs} 间的距离与模式 1a 相同。然而在该例中,由于最大熵在不断增加,观察者也在运动之中。这时观察者自然会得出生物进化是熵行为的结论,还会认识到生物组织性与复杂性的增加正是这种熵行为的产物。

表面上看,两个模式并无区别,宏观信息随着时间进程不断增加。然而模式 a 在生物学意义上是不真实的。这一模式假定了一个不变的最大熵,也就假定了自生命起源以来没有新的遗传变异的产生。模式 b 则具有生物学上的真实性,它假定了随着时间之矢,遗传多样性的总体增长。这一模式遵循 Layzer (1977) 等研究者发展的热力学模式。在这类模式中,随着状态数目的增加,只要显熵的增长慢于最大熵的增长,系统的秩序就会增加。

根据科学研究纲领方法论,除了硬核,研究纲领还需要有一些辅助假说 (auxiliary hypotheses), 在硬核周围形成保护带,使硬核免遭直接证伪。为此, Brooks 和 Wiley (1986) 分别从个体、种群、物种和群落四个组织层次出发提出了一系列的辅助假说以完善他们的理论,这些假说也可以说是 Brooks-Wiley 理论关于生物学过程 (process) 的解释。在这类假说中,关于个体发育与系统发育的观点是 Brooks-Wiley 理论的精髓,因为前者论及宏观信息产生的基本模式,后者与系统学及生物进化直接相关,正如这两位学者所宣称的那样,该理论是他们研究系统发育系统学 (phylogenetic systematics) 的成果。

个体发育: 插图 2 表示了多细胞生物的早期发育,各阶段的宏观信息 (I)、最大熵 (H_{max}) 和显熵 (H_{obs}) 以坐标图(插图 3) 标示出来,这里每个细胞代表一个微态。可以看出,最大熵并不恒定,而是随着细胞分裂及细胞数目的增加而逐渐增长。在初始阶段,宏观信息并未产生,这是由于每个特定细胞的位置不受约束。然而,生物一生长到六细胞阶段,最大熵与显熵间的差异就开始出现,这是因为此刻细胞已受约束。外层细胞只具双通线,不能自由替换具三通线的外层细胞,细胞开始偏离等概率。四细胞阶段只有一类具双通线的细胞,系统的熵

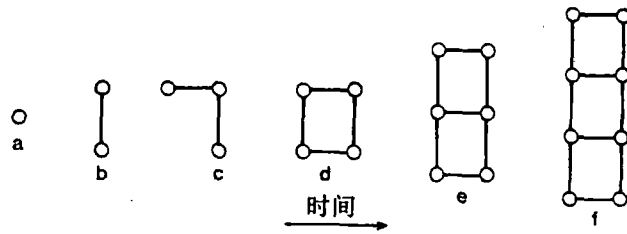


插图 2 一个假想生物的早期个体发育 (a-f)
The early ontogeny of a hypothetical organism (a-f)
(据 Wiley, 1987)

○. 表示细胞; —. 指示细胞间的联系

$H_{obs} = -4(1/4 \log_2 1/4) = 2$ 。到六细胞阶段, 出现两类不同概率的细胞, 系统的熵 $H_{obs} = -4(1/8 \log_2 1/8) - 2(2/8 \log_2 2/8) = 2.5$ 。随后的八细胞阶段, 将导致更大程度的细胞约束, 细胞愈加偏离等概率, 宏观信息由此继续增长。从这一个简单例子可以看出, 在个体发育中, 系统的熵与组织性共同增长, 但随着时间进程, 显熵愈来愈滞后于可能的最大熵。

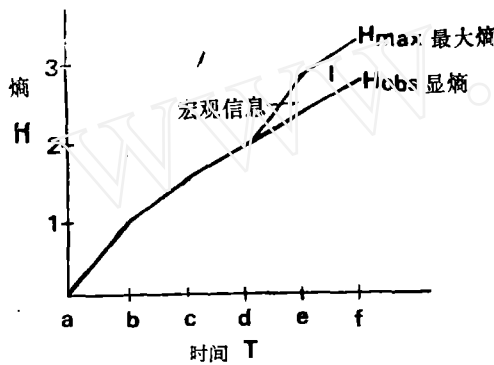


插图 3 插图 2 所示生物早期个体发育六阶段的最大熵、显熵与宏观信息

The maximum entropy, observed entropy and macroscopic information over six time periods of ontogeny represented in Fig. 2
(据 Wiley, 1987)

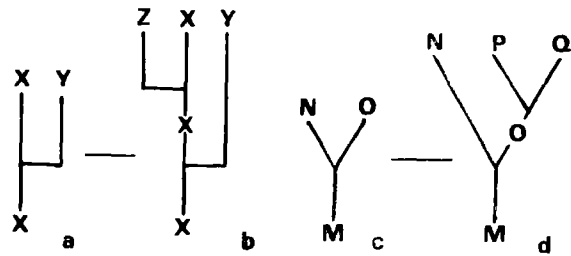


插图 4 两组类群的支系发生
Cladogenesis in two groups of species
(据 Wiley, 1987)

系统发育: 系统发育系统学致力于找寻生物学的通用参证系统, 生物宗谱则是这一系统的基础。生物宗谱结构是等级式的, 同时也是遗传的, 隐含着进化中的历史因素, 即进化过程中的约束。Brooks 和 Wiley 相信, 要深入理解生物进化, 必须探讨生物熵与组织性同步增长效应。在系统发育这一层次上, 物种是基本单元, 是微态。

这里还涉及到 Brooks-Wiley 理论中的另一个基本概念——内聚(cohesion)。Brooks 和 Wiley (1986) 认为生物系统除了是一个物质-能量系统以及信息系统外, 同时还是一个内聚系统。作为一个生物个体, 只有当它留下后代, 它在生物进化长链中才起作用。生物系统中有两种类型的内聚, 一种是亲本与后代间的纵向内聚或联系, 另一种是由基因流连接在一起的亲本间或种群间的横向内聚。实际上, 内聚是一种信息传送, 内聚系统完全可以纳入信息系统的范畴。Brooks 和 Wiley 关于信息与内聚的区分, 在物种概念上其实是一种模式物种概念与

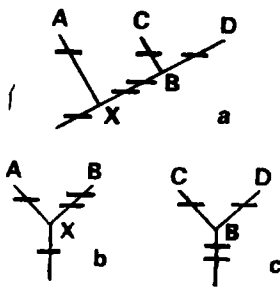


插图5 系统树 (a) 与它所代表的两次成种事件 (b 和 c)
Phylogenetic tree (a) and its component speciation
events (b and c)
(据 Brooks 和 Wiley, 1986)

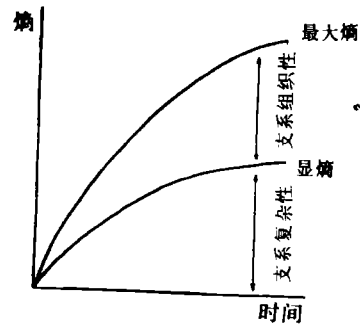


插图6 进化支系复杂性与组织性的相互关系
Schematic representation of relationship
between complexity and organization of
evolving lineage

生物物种概念间的区分。

系统发育与物种形成 (speciation) 紧密联系在一起。物种形成有多种模式, 不同的模式表现为不同的系统树。这里介绍两个简单的例子。第一个例子(插图 4a, b) 代表了两个连续的边缘成种事件, 即祖先种 X 首先产生后裔种 Y, 然后再产生后裔种 Z。我们可以计算这一支系分裂的信息熵。在插图 4a 中, X 有两条连线, 一条仍然是祖先种 X, 另一条与后裔种 Y 相连。这一条树总共有三条连线, 其熵 $H_{obs} = -1(2/3 \log_2 2/3) - 1(1/3 \log_2 1/3) = 0.918$ 。插图 4b 连线更多, 物种 X 又产生了物种 Z。作类似的计算, 我们可以观察到系统的熵增加了 ($H_{obs} = 1.253$)。插图 4c 代表了一个祖先种产生了两个后裔种同时自身“绝灭”的情形。这样祖先种 M 有两条连线 (分别与 N 和 O), 而每个后裔种只有一条连线 (同 M)。系统的熵 $H_{obs} = -1(2/4 \log_2 2/4) - 2(1/4 \log_2 1/4) = 1.5$ 。在随后的成种事件(插图 4d) 中, 我们同样观察到熵的增加 ($H_{obs} = 2.236$)。

前面两个例子说明, 物种形成确实伴随着熵的增加。支系的不断分裂, 旧物种的绝灭与新物种的出现形成了生物的进化, 这种进化同样表现为性状的进化, 即新征的不断发生。系统发育系统学正是通过这些进化新征的分布情况来恢复生物宗谱。因此在计算系统树熵变化时, 除了注意物种形成的作用外, 还要考虑新征产生的影响。

一个系统树具有两大因子, 即树的型式(物种形成系列)和新征在树上的分布情况。树的型式又包括两类分支, 终端分支与阶段分支。阶段分支反映两个或多个姐妹群共同的祖先信息。对于只有一个阶段分支和两个终端分支这样一个最简单的例子(插图 4c), 终端分支只与祖先相连, 阶段分支与两个后裔相连, P_i 值就分别为 $1/4, 1/4, 2/4$ 。单考虑树的型式, 其熵为 1.5。综合考虑系统树的型式与性状分布, 熵的计算将有所不同。插图 5a 代表一条系统树, 分支上的横杠是离征, 插图 5b—c 为该树所包含的两个连续的成种事件。如上所述, 插图 5b 分支的概率分别为 $1/4, 1/4$ 和 $2/4$ 。另外, 它还有四个离征, $1/4$ 在分支 A, $2/4$ 在分支 B, 其余 $1/4$ 在分支 X。我们将这两部分概率相乘, 得到 $P_A = (1/4)(1/4) = 1/16$, $P_B = (1/4)(2/4) = 2/16$, $P_X = (2/4)(1/4) = 2/16$ 。对这三个概率作标准化处理, 得到 $P_A = 1/5$, $P_B = 2/5$, $P_X = 2/5$, 插图 5b 的熵 $H_b = -1(1/5 \log_2 1/5) - 2(2/5 \log_2 2/5) = 1.521$ 。同理, 我们可以得出插图 5c 的熵 $H_c = 1.251$ 。插图 5b, c 具有同样的树型式和相同数目的离征, 但插图 5c 的熵低于 5b 的熵, 这是由于前者有更多的性状(在阶段分支上的两个离征)受

到历史约束。

我们还可以计算出来插图 5a 的熵 $H_a = 2.058$, 插图 5b, c 所示的两个成种事件的累计熵 $H_{cum} = H_b + H_c = 2.772$ 。然而作为一个连续的进化, 源于第二次成种事件的熵增加只有 0.537 ($\Delta H = H_a - H_b$)。这就是生物进化中的历史约束, 祖先中一部分熵产物在后裔中得到保留, 这样使得熵的总体增长减缓。在这里, 熵增加伴随着系统树组织性的增长, 插图 6 表示了系统树复杂性与组织性的关系。

在恢复生物宗谱时, 系统发育系统学是通过简约法则来解决性状冲突。但是简约法则与进化过程之间缺少本质联系。使用这一法则是因为别无选择, 它给生物系统学带来了精确性和严谨性, 但同样也带来某种神秘与难解。Brooks-Wiley 理论从“生物进化是一个熵增加过程”这一基本前提出发, 提出了“最小熵增加”的概念, 为简约法则与生物进化过程提供了一条纽带。该理论认为简约性就是最小熵增加, 生物进化过程中历史约束以及信息遗传是最小熵增加的理论基础。

达尔文的生物进化论被誉为 19 世纪的三大科学成就之一。本世纪 30—40 年代, 以系统学、遗传学和古生物学的研究成果为基础, 出现了进化思想的第一次综合, 形成了新达尔文主义。达尔文主义和新达尔文主义都认为自然选择是进化最重要的机制。60 年代以后, 新达尔文主义面临挑战, 新的学说不断出现, 如中性学说、点断平衡论, 一般进化论等。Brooks-Wiley 理论就是在这种纷争中应运而生, 尝试着对生物进化思想作出新的综合。该理论接受自然选择学说, 但同时认为生物进化是热力学第二定律的一个特例, 生物熵与组织性的共同增长才是生物进化的根本原因。Brooks-Wiley 理论一经提出, 就引起学术界的注意, 并已得到多方面应用, 譬如在系统发育系统学中的应用。但它目前还在发展之中, 有许多不尽完善之处, 例如最小熵增加法则在理论依据上虽较简约法则进步, 因为熵增加与生物进化过程直接相关, 然而更深入的阐述让人觉得意犹未尽。当今的科学既各自发展又相互渗透, Brooks-Wiley 理论正是这种学科交叉的产物, 它无疑代表了进化论研究中的一个富有探索性的方向。

本文承张弥曼教授审阅并提出意见, 在此深表谢意。

参 考 文 献

- Brooks, D. R. and E. O. Wiley, 1984: Evolution as entropic phenomenon. In J. W. Pollard (ed.): Evolutionary theory: Path to the future. New York: Wiley.
- Brooks, D. R. and E. O. Wiley, 1985: Theories and methods in different approaches to phylogenetic systematics. *Cladistics*, 1: 1—11.
- Brooks, D. R. and E. O. Wiley, 1986: Evolution as entropy. Towards a unified theory of biology. New York: Academia Press.
- Collier, J. D., 1986: Entropy in evolution. *Biol. Philos.*, 1: 5—24.
- Collier, J. D., 1987: The dynamics of biological order. In D. Depew, B. Weber and J. Smith (eds.): Information, entropy and evolution, new perspectives on physical biological evolution. Cambridge: MIT Press.
- Farris, J. S., 1979: The information content of the phylogenetic system. *Syst. Zool.*, 28: 483—519.
- Layzer, D., 1977: Information in cosmology, physics and biology. *Int. J. Quantum Chem.*, 12(1): 185—195.
- Schrödinger, E., 1944: What is life? Cambridge: Cambridge University Press.
- Shannon, C. E. and W. Weaver, 1949: The mathematical theory of communication. Urbana: University of Illinois Press.
- Wiley, E. O., 1987: Entropy and evolution. In D. Depew, B. Weber and J. Smith (eds.): Information, entropy and evolution, new perspectives on physical biological evolution. Cambridge: MIT Press.
- Wiley, E. O., 1988: Evolution, process, and entropy. In M. H. Nitecki (ed.): Evolutionary Progress. The University of Chicago Press.
- Wiley, E. O. and D. R. Brooks, 1982: Victims of history— a nonequilibrium approach to evolution. *Syst. Zool.*, 31: 1—24.

- Wiley, E. O. and D. R. Brooks, 1983: Nonequilibrium thermodynamics and evolution: A response to Lovtrup. *Syst. Zool.*, **32**: 209—219.
- Wiley, E. O. and D. R. Brooks, 1985: Nonequilibrium thermodynamics and evolution: Responses to Bookstein and to Wicken. *Syst. Zool.*, **34**: 89—97.

ENTROPY, BIOLOGICAL EVOLUTION AND BROOKSWILEY THEORY

Zhu Min and Zhou Ming-zhen

(*Institute of Vertebrate Paleontology and Paleoanthropology, Academia Sinica, Beijing 100044*)

Key words Entropy; biological entropy; biological evolution; phylogenetics

中国古生物学会微体古生物分会第四次会员代表大会 暨第五届学术年会在广州召开

中国古生物学会微体古生物分会第四次会员代表大会暨第五届学术年会于1992年11月20—24日在广东省地质矿产局举行,参加会议的有中国科学院、地质矿产部、石油部、煤炭部、高等院校以及海洋和化工系统的147位代表。国际轮藻学科组主席、法国蒙彼利埃大学的 M. Feist 博士应邀出席了会议,并作了“轮藻化石和欧洲陆相白垩-第三系分界研究现状”的报告;广东省地质矿产局、广东省地质学会及中国海洋石油总公司东部海洋石油公司等单位的领导应邀出席了大会开幕式。

会议收到学术论文摘要60余篇,会议期间,代表们通过报告、讨论等形式进行了较广泛的学术交流。其中与我国石油勘探关系密切的第三纪微体古生物、地层及海侵事件等议题,尤其引起与会代表的广泛兴趣。微体古生物分会秘书处编印的《中国微体古生物学文献目录》续集,也为交流提供了方便,该续集收录了最近8年(1984—1991)来在国内发表的1525篇(本)论著条目,这些论著约相当于过去60年(1923—1983)所发表论著总数的2倍。

在各学科组、专业委员会推荐和三届三次理事会充分协商提名的基础上,大会选举产生了由29人组成的微体古生物分会第四届理事会,并由四届一次理事会选举出9名常务理事。本届理事会的组成和分工为:

理事长:郝诒纯

副理事长:王振 叶得泉

秘书长:杨群

副秘书长:万晓樵 罗辉 杨湘宁

常务理事(以姓氏笔划为序):王振 叶得泉 安泰庠 汪品先 杨群 郝诒纯 盛金章

曾学鲁 郭宪璞

理事(以姓氏笔划为序):丁惠 万晓樵 王振 王强 王玉净 王成源 王志浩 王建华

叶春辉 叶得泉 安泰庠 卢辉楠 关绍曾 孙巧缙 何希贤 何廷贵

汪品先 李祖望 阮培华 杨群 杨湘宁 张师本 陈孟裴 姚益民

郝诒纯 涂霞 郭宪璞 盛金章 曾学鲁

理事会下设组织工作委员会、学术工作委员会等,由曾学鲁、郭宪璞任组织委员,安泰庠、汪品先任学术委员。

本次大会还评选出1991年度微体古生物学青年优秀成果奖的获奖论文,并向有关作者颁发了奖状和奖品。会议期间,部分学科组和专业委员会还分别进行了选举,各自产生了新的领导小组。

中国古生物学会微体古生物分会秘书处