

2) (4) - 33

生态系统中的信息流初探

韩博平

(厦门大学生物系)

Q14

范航清

(广西红树林研究中心 北海 536000)

摘要 从本体论的信息定义着手,在一般信息论的基础上,系统地论述了生态系统中信息运动的基本问题及其特征,探讨了信息运动的一般规律。这些基本问题包括生态系统中信息流的定义、信息的测度、信息量与生态系统状态的关系、信息流的结构和功能、信息载体、信息流与物流和能流的关系。

关键词 生态系统、信息流、生存压力、熵。

0 引言

至今,生物学中已有大量的信息研究工作,但主要集中在动物社会学和遗传学领域^[1,2],植物学领域的信息研究则很少^[3]。任何物种都是生活在一定的生态系统之中,不仅种、群内部有信息传递,而且种之间、种群与环境之间也存在着信息传递,这种在生态系统的各要素之间的信息运动被称之为信息流。因此,不对植物群落内部以及与动物之间、它们与环境之间等的信息传递加以研究,我们就不可能在系统的层次上认识生态系统中信息运动的规律,尽管很多学者一再论及生态系统中不仅存在物质流、能量流,同时还存在信息流,并指出信息量与负熵的等价关系^[4],但就现有的生态学理论来看,结构是指基于物质和能量流动上的营养结构,功能是指物质循环和能量流动,缺乏对生态系统中信息流的结构和功能的研究。^[5]

生态系统的运动是生物系统与环境系统相互作用的结果。环境系统是生物系统存在的条件和基础,环境系统的状态变化都会对生物系统的状态和行为发生作用,我们不能完全把这种作用归结于能量和物质的过程。生物系统对环境系统的影响也同样如此。不妨分析一个原始生态系统(见图1)。原始生物产生的O₂不仅增加了水环境中O₂的含量,而且通过水环境系统作用大气层,臭氧层的形成同时改变了热射的量和质,紫外辐射辐量的减少使原始生态系统得以稳定和发展。O₂不仅是生物系统需要的基本代谢反应物质,更重要的是它成为生物与环境相互作用的媒介物质,O₂含量的变化过程包含了生物与环境的信息交换,热辐射性质的变化则是环境向生物系统传递了信息。因此,生态系统的存在和发展离不开信息的运动。

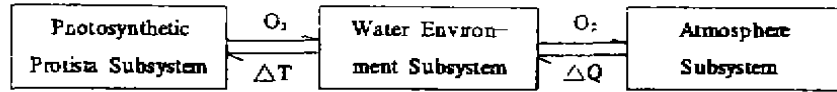


Fig.1 . The information flow in a protista ecosystem

1 生态系统中信息的定义及其测度

生态系统在组成上可分为四大子系统^[6]:无机环境、生产者、消费者和还原者。生态系统中的信息流不仅包括各子系统内部的信息运动,还包括各子系统之间的信息运动,信息流贯穿于生态系统的一切要素之间。一般生态系统中信息运动结构可由图2表示。信息流区别物流和能流的关键特征是信息运动的双向性。正是这种双向性,才使得生态系统具有自反馈、自调节、自适应、自发展的能力。

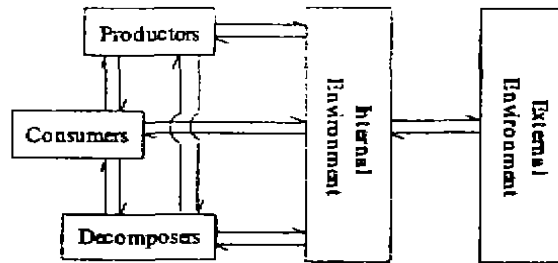


Fig.2 Structure of information flow in a general ecosystem

信息离不开感受的主体。在自然生态系统中,不涉及认识主体,信息运动于各子系统及其内部要素之间,就必须以本体论出发,研究生态系统中信息的运动。^{[7][8]}

在生态系统中,定义任一子系统或其要素的状态或变化为一事件,事件集 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, 其中各事件出现的概率 $P_i = P_i[x_i]$, 则事件 X 的信息结构 SI :

$$SI = \begin{bmatrix} X_1 & X_2 & \dots & X_n \\ P_1 & P_2 & \dots & P_n \end{bmatrix} \quad (1)$$

该事件集所含的平均信息量 I :

$$I = - \sum_{i=1}^n P_i \log_2 P_i \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n P_i = 1 \quad (3)$$

I 表征了信源所含的信息量。

生态系统中子系统状态的变化(信息)必然要作用于其它子系统及其要素,因此还必须建立信源信息量与主体系统状态的关系。熵是系统状态的函数,是系统无序程度的测度。波尔兹曼认为:熵是一个系统失去信息的度量,信息就是负熵。热力学第二定律的统计学形式可表示为: $S = K \log W$; 其中, W 为系统状态几率, K 为波尔兹曼常数。^[9] 申农给出的系统信息与熵值 S 的关系为: $I = -(K^{-1} \log_2 e) \cdot S$ 。有了信息量和熵值之间的关系后,并不能够说明信源信息一定能使主体系统有序性提高这样一种流行的观点。植物群落可以作为环境的指示物,尽管植物群落可以感受到环境恶化的信息,恶化的程度如果超过系统的耐性幅。这种恶化的信息不能保证生态系统有序性提高。所以说,信息的定义和测度离不开信息作用的主体系统。

在贝利斯 (M.Belis) 和奎色斯 (S.Guiasus) 提出效用信息理论中^[9], 认为不同信息对不同的主体有不同的作用,其统一的信息结构定义为:

$$SI = \begin{bmatrix} X_1 & X_2 & \dots & X_n \\ U_1(a) & U_2(a) & \dots & U_n(a) \\ P_1(x_1) & P_2(x_2) & \dots & P_n(x_n) \end{bmatrix}$$

$\bar{U}(a) = \{U_1(a), U_2(a), \dots, U_n(a)\}$ 为系统的效用分布函数, a 为系统类别参数,这时系统获得信息量为:

$$I(a) = -K \sum_{i=1}^n U_i(a) P_i \log_2 P_i$$

但是,同一类生态系统中子系统在不同的时间对信息的利用不尽相同,这正是贝利斯的理论应用于生命系统时的不足。我们作进一步推广,效用分布函数 $\bar{U} = \bar{U}(a, t)$, $\alpha_i(a, t) = U_i(a, t) / \|\bar{U}(a, t)\|$, 推广后的信息结构为:

$$SI(a, t) = \begin{bmatrix} X_1 & X_2 & \dots & X_n \\ \alpha_1 & \alpha_2 & \dots & \alpha_n \\ P_1 & P_2 & \dots & P_n \end{bmatrix}$$

系统从信息源获得信息,系统熵变为:

$$S(a, t) = -K \sum_{i=1}^n \alpha_i(a, t) P_i \log_2 P_i$$

因此,信息源信息对系统作用的结果,不仅取决于信息源的信息量,还取决于主体系统及其子系统的效应。 $S(a, t)$ 表征了信源信息与系统状态的联系。

2 生态系统中的信息载体

从生态系统中的信息及信息流的定义中,可以看出,信息概念是以一般系统结构和状态为对象,因此,生态系统及其系统环境中的任何子系统、要素或事件都可以作为生态系统的信息载体。物质循环、能量流动、信息交换是生态系统中各子系统及共要素之间联结的纽带,这三种纽带传输的内容不同,其作用也不同。物流的双方所传递的中介物质只对受体及相关各层子系统的

物质材料构成发生作用；能流的双方所传递的中介物只对受体以及相关的各层子系统的物理动量发生作用；信息交换是指双方交换的中介物只对受体及其相关各层子系统的结构和运动状态发生作用。能量流动以一定的物质为媒介，而信息则以体系的结构、状态变化为媒介，这种变化包含了能量流动具有信息传递的功能，但信息流不能简单地归结于物质和能量的运动。信息交换的双向性在本质上区别于物流和能流。

红三叶草生态系统中^[10]，红三叶草依靠熊蜂采蜜而传花授粉，熊蜂、田鼠、家猫之间形成一条食物链。从红三叶草到家猫之间构成了物质、能量流动的路线。能量和物质的流动在任意两个要素之间是单向的。熊蜂作为食物提供给田鼠，食物传递物质，同时也传递了能量；反之，田鼠不能向熊蜂传递物质和能量。再看一下红三叶草系统中的信息交换过程，熊蜂种群数量增长促进了红三叶草的繁荣，红三叶草生长状态也同样刺激了熊蜂的生长。熊蜂与红三叶草之间的信息传递主要通过各自种群动态变化来实现。熊蜂数量增加促进了田鼠数量的增加，这种信息是以食物形式来传递。田鼠数量动态是熊蜂生存的压力，这种压力变化过程完成了田鼠向熊蜂的信息传递。这种捕食关系之间的信息过程在田鼠与家猫之间同样得到实现。因此，我们说在生态系统中物质和能量流动的方向上，物流和能流，有信息传递的作用；而在物流和能流相反的方向上，信息的传递过程则是由生存压力的伸缩来实现的。生态系统中任一子系统或其要素的状态变化都要向其相关联的子系统及其要素传递信息，这种信息作用具有扩散性，它都要在整个系统中发生作用，其程度取决于事件变化的量及发生的时间和位置。

生物及其种群为了适应长期的自然选择，都产生了自身行为信息的特殊传递和调节方式。很多生物体分泌的化学物质并不被其它物质吸收，长期发展为个体行为和种群组织的调节剂——一种信息载体。动物信息素^[11]是一种嗅觉型化学物质，在动物种群内部起到组织行为的调控作用。在植物中现今已发现的生物碱等一类的他感物质，对群落中种间隔离和结合起到极为重要的调节作用^[3]；同时，这些由植物分泌的化学物质经雨淋溶进入土壤，还直接影响到土壤微生物种群的组织行为和功能；某些化学物质还通过被食关系进一步影响到高等动物的行为。

生态系统中信息载体在系统层次上主要是物理类型和生物类型，而在种群内部则是以化学、物理、生物三种类型共同作用。

3 生态系统中信息作用的模式

恒温系统是人们最常见的信息调控系统，它是由热敏传感器 (A)、控制中心 (C)、热效应器 (R) 和反馈器 (F) 组成 (见图 3)。其中控制中心内部结构由识别、决策、动作指令组成。A 将温度变化转化为电信号后，送到控制中心行识别、决策 ($\Delta T - T_c$) 并进行动作。当 $\Delta T=0$ 时中断热效应系统； $\Delta T > 0$ 时启动制冷装置； $\Delta T < 0$ 时，启动热效应器、反馈器负责将效应结果信息反馈给控制中心进行调节，以维持系统的稳定性。

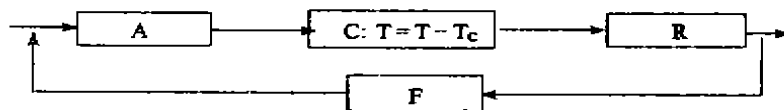


Fig3 The control structure of a constant temperature system

生态系统中的任一子系统的信息过程都有类似结构,不同的是生命系统具有变异和自我发展的能力,生态系统中信息调控系统的任一部分都向着不断复杂化方向发展。生态系统中信息不仅具有调节、控制和稳定作用,更使得生态系统具有不断发展的再适应和自组织能力。

种群动态的信息过程是生态系统中一个重要方面。在密度性制约下的种群动态服从逻辑斯缔克增长模式。在没有任何制约的条件下,一个种群具有固有内禀增长率 γ ,而在真实的生态系统中,种群增长必然会受到外界因素的制约,实际增长率是一个时间函数 $\gamma(t)$,种群动态为^[12]:

$$\begin{cases} \frac{dN}{dt} = \gamma(t)N(t) \\ \gamma(t) = \gamma \cdot \alpha(t) \end{cases}$$

设制约能力为 K (常数),随种群增长,在生长率 $r(t)$ 的变化满足线性方程:

$\gamma(t) = \gamma \cdot (K - N(t)) / K$, 则有:

$$\frac{dN}{dt} = \gamma \cdot \frac{K - N(t)}{K} \cdot N$$

种群增长的加速度为:

$$\frac{d^2N}{dt^2} = \frac{dN}{dt} \left(\gamma - \frac{2\gamma}{K} N(t) \right)$$

在曲线拐点处有 $N(t) = k/2$, 在拐点及其邻域的三种加速度表征了种群增长的三种不同对策。当 $\Delta = N(t) - k/2 < 0$ 时,种群以正加速度增长;当 $\Delta = N(t) - k/2 = 0$ 时,种群维持现有的增长速度;当 $N(t) - k/2 > 0$ 时,种群以负加速度增长。种群利用环境制约信息进行数量动态的调节过程由图4表征。

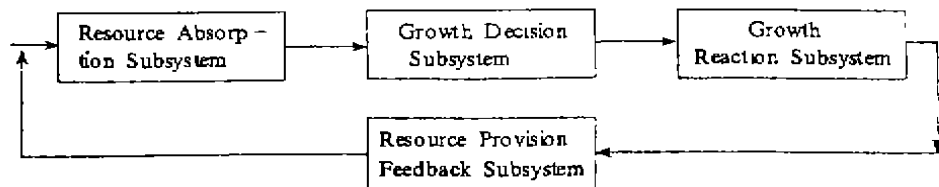


Fig.4 The information control structure of a density-dependent population dynamics

在草原放牧生态系统中,环境变化的信息由生态因子综合结构的变化反映出来,从而改变草原群落结构和可食性,同时草原群落的变化通过代谢过程反作用于环境因子结构而改变环境。环境变化的信息传给草原群落是通过 Shelford 耐性定律下草原耐性幅而起作用, Shelford 定律成为信息识别和调节的决策准则;而草原结构、动态、可食性决定了放牧动物的数量、结构;在这里,能量和营养结构的维生定律是这种信息传递和作用的准则。放牧动物群落的状态是草原群落生长的处在压力,这种压力缩放影响到草原群落的状态,从而实现了信息的传递(见图5)。

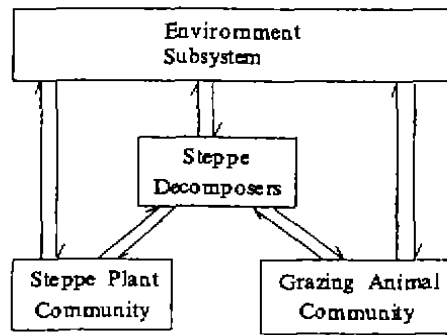


Fig.5 The structure of information flow in a steppe ecosystem

因此,任何生态系统中信息作用都遵循一定的规律,在物质和能量流动方向上,Shelford定律、能量定律、营养组织结构等是信息传递和控制的准则,生物系统利用这些准则来识别外界信息;生物流和能流的方向上,生存压力的缩入传递了信息,信息识别和控制取决于系统对压力的依赖程度。

4 结束语

信息流贯穿于生态系统的各个环节,促进了生态系统的稳定和发展。本文只是对生态系统中信息运动进行了初步的研究。必须强调的是生态系统中信息问题的研究必须从本体论出发,信源信息对生态系统及其子系统的作用取决于系统的信息效用函数。在生态系统,不同层次上的信息载体不同;物流和能流具有信息传递功能,但与信息流有着本质的区别,信息流的双向性是区别于物流和能流的首要特征,生态系统的稳定和自我发展能力依赖于信息流的双向性。因此,对生态系统中信息运动的深入研究,不仅可以进一步了解生态系统稳定和发展的机制,同时能完善和发展生态系统理论。

5 参考文献

- 1 Morowitz, H T 1978 Foundations of Bioenergetics, Academic Press, London, 1978, 55 ~ 88
- 2 陈准昌,生物信息论与生物控制论,见:中国生物物理学会,生物物理学的现状展望和发展战略,1991,42 ~ 51
- 3 范航清,他感、竞争和信息的植物生态学挑战,自然杂志,1989 11(12):907 ~ 969
- 4 Truncher, K S. Biology and Information Consultants Bureau, New York, 1965, 1 ~ 15
- 5 熊文愈,论生态系统工程,南京林业大学学报,1985(1):1 ~ 11
- 6 Odum, E p Fundamental of Ecology, (3rd-ed.), 1971 20 ~ 98
- 7 钟义信,信息的科学,光明日报出版社,1988,92 ~ 109
- 8 林鹏,植物群落学,上海科技出版社,1934:11 ~ 30

Primary Research on Information Flow in Ecosystem

Han Boping

(Dept. of Bio., Xiamen Univ.)

Fan Hangqing

(Guangxi Mangrove Research Centre)

Abstract Information in ecosystem is defined from the point of ontology. The basic concepts and characters of information flow in ecosystem are studied systematically on the base of general information theory. These basic concepts include information flow, the quantity of information and its measurement in ecosystem, the relationship between the quantity of information and the state of ecosystem, the function and structure of information flow, the carrying body of information and the working model of information are discussed emphatically.

Key words Ecosystem; Information Flow; Pressure for Existence; Entropy