第一章　生态系统的功能

生态系统是现代生态学中最主要的概念之一。1935年，当美国生态学家 A. G. Tansley 基于自己对植物群落的长期研究，提出生态系统这一概念时，也许连他自己也未曾料到，生态系统的生态学研究会在20世纪的后半叶获得如此迅猛的发展，成为当今社会最有影响、最有活力的学科之一——系统生态学。

系统生态学研究始于美国年轻学者 R. L. Lindeman 的开创性工作。他首次用能流分析方法对明尼苏达湖的食物链进行了研究，并于1942年在《生态学》(Ecology)杂志上发表了"生态学中的营养动态"一文。这种能流分析方法已成为系统生态学中最常用的，也是最重要的研究方法。

Lindeman 的工作之所以有开创性的意义，是因为他首次对生态系统的功能进行了研究。基于目前人类对生态系统的认识，绝大多数学者认为自然生态系统的功能包括能量流、物质流和信息流。复合生态系统除了有自然生态系统的这些功能以外，还有另一种特殊的功能——价值流。

§1.1　自然生态系统的功能

任何一个自然生态系统都具有能量流动、物质循环和信息联系的功能。这三者是生态系统整体的基本功能。

1.1.1　能量流动

能量流动是生态系统的动因。一切生命活动都依赖于生物与环境之间的能量流通和转换，没有这种能量流动，也就没有生命过程，没有生态系统。生态系统中各种能量的转换形式和机制是近几十年来生态学研究最集中的热点。从 Lindeman 的开创性工作，到

需要全本请访问 www.ertongbook.com

H. T. Odum 和 E. P. Odum 兄弟 1976 年的《人和自然界的能量基础》(Energy Basis for Man and Nature),以及 1983 年《系统生态学》(System Ecology)一书的出版,对自然生态系统的能量流动与生产力的研究,已取得长足的进展。

生态系统的食物网很复杂,不可能把各个细节都描述清楚。生态系统的能流也不可能全部揭示(孙儒泳, 1992)。

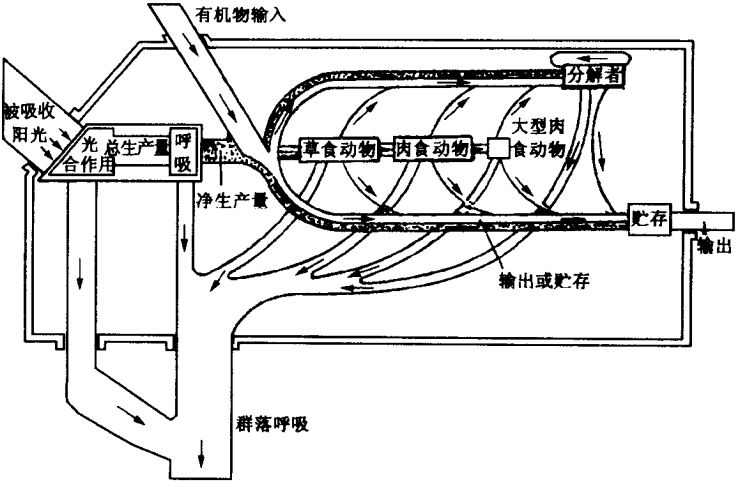

图 1.1 生态系统最一般的能流模式(仿 Kormondy, 1976)

图 1.1 中的方框表示各个营养级,其面积大小表示现存生物量,管道的粗细表示能流的大小。各营养级的输入和输出必须相等。图中对初级生产和次级生产的能流过程都表示得相当明白,此外还加进了各种有机物质(附加能量)的输入,如落入水生生态系统的树叶,从别的生态系统迁来的动物等等;同样,生态系统也以各种形式将贮存能量的有机物质输出到系统外。能流的单向性、系统的开放性,以及能流量逐级减少、各营养级能量输入和输出相等等许多生态系统的能量流动的重要特征在模式图中都得到反映。但此模式有一个重要缺点,即把分解者亚系统过度简化,Odum 在

其银泉生态系统能流的经典研究中，把分解者作为一个“营养级”来对待。实际上，分解者亚系统不仅具有复杂的食物链，并且碎食食物链的能流通过量在多数生态系统中比牧食链更多、更重要。

Heal 和 MacLean(1975)在比较陆地生态系统次级生产力研究中提出了一个更能代表一般生态系统能流的模型（图 1.2），该

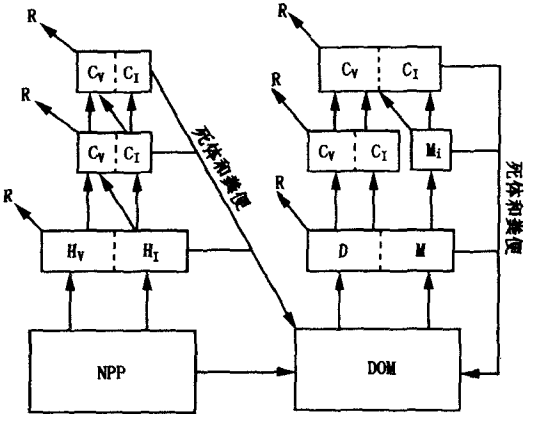

图 1.2　陆地生态系统营养结构和能流的一般模型（仿 Begon，1986）
V 脊椎动物；C 肉食动物；I 无脊椎动物；
D食碎屑动物；NPP 净初级生产量；M 微生物；
H：植食动物；Mi 食微生物动物；DOM 死有机物质

模型有几个特点：①包括消费者和分解者两个亚系统的食物链；②把消费者的食物链分为无脊椎动物和脊椎动物两条；③把分解者的食物链分为食碎屑的（利用死有机物）和食微生物的(microbivore)；④流经消费者亚系统的能量可因呼吸消耗，也可通过尸体和粪便进入分解者亚系统；⑤进入分解者亚系统的能量只有通过呼吸而消耗，但它有再成为死有机物质而再循环的途径。因此，分解者亚系统的能流比消费者亚系统的能流保守性强(更节约)。正因为这一特点，加上许多生态系统的净初级生产量大部分进入分解者亚系统，所以分解者亚系统的食物链常常比消费者亚系统的

更长、更复杂，有更多的现存生物量。

Heal 和 MacLean 曾根据一个草地生态系统的初级生产量，做了一个假定草地生态系统的能流的模拟研究（其结果见表 1.1），可以预测流经各条能流途径的定量。

表 1.1 一个假定草地生态系统的净初级生产量（100J/m²）流经消费者和分解者亚系统的能量（引自 Begon，1986）

	消费 *C*	同化 *A*	排出 *FU*	生产 *P*	呼吸 *R*
消费者亚系统					
植食动物					
脊椎动物	25.00	12.50	12.50	0.25	12.25
无脊椎动物	4.00	1.60	2.40	0.64	0.96
肉食动物					
脊椎动物	0.16	0.13	0.03	0.003	0.127
无脊椎动物	0.17	0.135	0.035	0.040	0.095
分解者亚系统					
分解者＋碎食动物					
微生物分解者	136.38	136.38	0	54.55	81.83
碎食的无脊椎动物	15.15	3.03	12.12	1.21	1.82
食微生物的					
无脊椎动物	10.91	3.27	7.64	1.31	1.96
肉食动物					
脊椎动物	0.04	0.03	0.01	0.001	0.029
无脊椎动物	0.65	0.52	0.13	0.16	0.36
总和	192	157	35	58	99
通过消费者亚系统百分比	15.2	9.2	42.9	1.6	13.5
通过分解者亚系统百分比	84.8	90.8	57.1	98.4	86.5

1.1.2 物质循环

能量流动是借物质循环才得以实现的。在生态系统中，物质是

能量的载体，没有物质循环也就没有能量流动，二者是同时进行的。好比一条河流从高山一路奔腾流向大海，当汇入大海后河水的势能却不存在了，但水这种物质依然存在。

在生态系统中，物质循环可以分为生态系统内部的物质流动和生态系统外部也就是生态系统之间的物质流动。两者是密切相关的。所谓生态系统内部的物质流动，是指物质沿着食物链流动，不过这种流动最初起源于外部的物流，最终又归还于外部。例如：某化学元素进入生态系统，最初供给初级生产者——绿色植物,然后为消费者和分解者提供食物和能源。实际上，几乎所有的有机体，它们代谢活动的产物终将进入系统之间的生物地球化学循环。生态系统内部的营养交换主要在大气、土壤和生物成分之间进行着，生态系统外部或系统之间的营养交换主要由地质的、气象的和生物学的能流所引起。它们之间的关系如图 1.3。通过地质的作用，像火山爆发喷射出的物质进入大气或分布于熔岩的岩层，营养物质从一个地方转移到另一个地方；通过气象的作用，如岩石风化或风力，使养分成为粉末或者蒸发到大气里，进行生态系统之间的物质交换。动物吃了一个生态系统里的物质却可以在另一个生态系统中排泄或死亡，这就是生物学的作用引起的生态系统外部的物质交换。

分析森林生态系统中的物质流动，主要是分析系统内部营养成分的循环，当然也要与外部物质流动相配合。森林生态系统物流分析着重于物流的方式和各种有机体中运转速度的测定，特别是着重于组织中营养元素的分析，并与生物量、净生产量的测定相结合，同时必须测定因降水而带入土壤中的养分运动，以及生产者、消费者和分解者各营养级与土壤养分输入与输出的测定，如图 1.4 所示的森林生态系统养分的动态关系。

森林生态系统的养分在有机体中的含量各不相同。森林与土壤之间的循环可将大部分硝酸盐和磷酸盐集中于树木之中，而大部分钙则集中于土壤中。土壤中的养分则主要依赖于叶子等有机

需要全本请访问 www.ertongbook.com

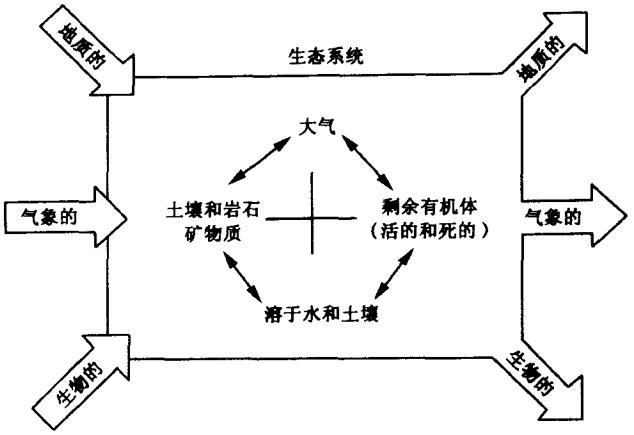

图 1.3　生态系统的物质交换

物质的腐烂和根系吸收之间的周转。植物与土壤之间的养分循环是迅速而紧凑的。因此，土壤中的养分多寡直接影响植物的生产力。

残落物的腐烂是养分归还土壤的最重要的形式，当然，还有许多其他归还形式。在很多植物中，某些养分在落叶之前就回到枝条组织中，而某些元素直到落叶时，在叶内还在增加，所以植物本身就可以保持一部分的供应，而循环仍旧是紧张的。

大量的有机碳以残落物的方式落到地面，然后被土壤动物、细菌和真菌等分解者腐烂、分解，并释放出养分归还给土壤。但残落物分解的速度变化很大，如木材、针叶和硬木比落叶阔叶林和热带雨林的残落物更难于分解；同时，腐烂速度与温度有密切关系，在寒冷气候条件下比热带气候条件下腐烂速度要慢。

淋溶作用（雨水从植物表面淋溶下来带到土壤中的养分量）对养分归还起很大作用。对钾、钠两种元素来说，从叶子和树皮冲洗进入土壤中的量，比落叶归还到土壤中的量要大。但氮则相反，因为它流经植物体表面时被树皮和叶上的地衣、藻类和细菌所吸

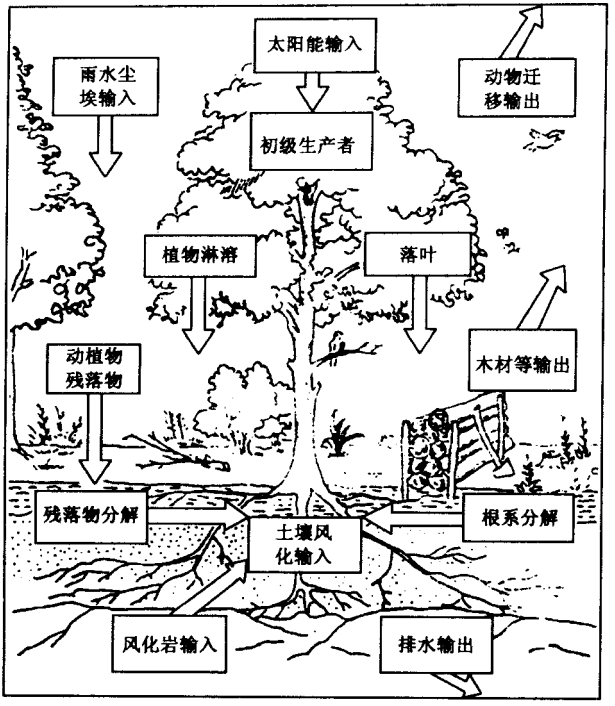

图 1.4　森林生态系统的营养流动

收。

淋溶作用除了无机元素外，也有许多有机物从生产者表面被雨水淋溶到土壤中为其他有机体所利用。蚜虫所分泌的糖分淋溶到土壤中被土壤微生物所食；藻类排出的合成产物，在水中可以作为其他水生生物的养料；许多单细胞有机体，它们既向水中排出各种有机物质，同时又从水中吸取其他养分。

从理论上来说，要精确计算森林生态系统内养分的动态关系并非不可能，但这是一件很困难的事，需要耗费大量的时间和人力物力。众所周知，研究物质循环的周期很长，国外多设有专门的资助机构予以资助。

纵观 1975 年以来，营养物质循环的研究可分为三个阶段：第一阶段研究主要元素在系统内的循环；第二阶段研究这些元素的相互关系；第三阶段研究这些元素循环与气候变化、人类活动的关系。目前，由于各国对自然生态系统的管理和利用水平不同，几种主要元素的循环研究处于不同阶段，如磷循环研究处于第二阶段，氮和硫循环处于第三阶段（国家自然科学基金委员会，1997）。

1.1.3 信息联系与反馈调控

生态系统中的信息传递是一个比较新的研究领域，有关这方面的研究还很不系统。在生态系统中种群与种群之间、种群内部个体与个体之间，甚至生物与环境之间都存在有信息传递。信息传递与联系的方式是多种多样的，它的作用与能流、物流一样，把生态系统各组分联系成一个整体，并具有调节系统稳定性的作用。

一般把信息联系归纳成以下几种：营养信息、化学信息、物理信息和行为信息（郑师章等1994）。

1.1.3.1 营养信息

在某种意义上说，食物链、食物网就代表着一种信息传递系统。在英国，牛的青饲料主要是三叶草，三叶草传粉受精靠的是土蜂，而土蜂的天敌是田鼠，田鼠不仅喜欢吃土蜂的蜜和幼虫，而且常常捣毁土蜂的窝，土蜂的多少直接影响三叶草的传粉结籽。而田鼠的天敌则是猫。一位德国科学家说：“三叶草之所以在英国普遍生长是由于有猫,不难发现,在乡镇附近,土蜂的巢比较多,因为在乡镇中养了比较多的猫，猫多鼠就少，三叶草普遍生长茂盛，为养牛业提供了更多的饲料。”不难看出，以上过程实际上也是一个信息传递的过程。

再以松鼠的数量消长为例。主要以云杉种子为食的松鼠数量的消长，依从于云杉种子的丰歉，每当云杉种子丰收的次年，由于食物的充沛，松鼠的数量也出现高峰，随着云杉种子 2～3 年歉收，松鼠的数量亦随着下降,见图 1.5。

1.5

1.1.3.2

1990)

(1 allelochemical) ①

生态学的研究领域。

化学生态学的发展，近年来已形成三大趋向：①以植物学为基础的化学生态学，主要研究植物的他感作用。1932 年 Elmer 创造 allelopathy （他感作用）一词描述植物间的相克。Rice(1974)对此定义为‘植物(包括微生物)向环境中释放化学物质,使别的植物受到直接或间接的损害”。微生物间的化学联系，最明显的是抗生现象。以植物为核心的化学生态学，与农业关系十分密切。农作物对杂草的他感作用，以及植物病害中的他感作用等，均已引起农业科技界的重视。②以动物学为基础的化学生态学。动物的许多行为，如兽类中生育场所的探测、群居、交配、母子畜间关系、领域划分等都与它们分泌的化学物质有关。③以植物、动物关系为基础的化学生态学。这是最热门的研究领域。一些著名化学生态学家认为，植物的次生性代谢物的分化和演变，与植食性动物对植物造成的遗传压力有关；而昆虫从植物中获得类固醇而合成蜕皮素；有些昆虫不但对毒素产生解毒能力，还能把毒素储存在体内，成为自己的防御物(至少有 6 个目、43 种昆虫有这种特性）。这种植物与昆虫的相互适应、演变与分化，已成为协同进化的典型例子（国家自然科学基金委员会，1997)。

1.1.3.3 物理信息和行为信息

声、光、色等都属于生态系统中的物理信息。鸟的鸣叫,狮、虎的咆哮,蜜蜂、蝴蝶的飞舞,萤火虫的闪光,花朵艳丽的色彩和诱人的芳香都属于物理信息。这些信息对生物而言，有的是吸引，有的是排斥,有的表示警告,有的则是恐吓。

其实，物理信息常常是和行为信息紧密相联的。动物之间的通讯联络除了化学通讯以外，还有视觉通讯、听觉通讯、触觉通讯和生物电通讯。在高等动物之间，后者是更重要的一种通讯方式。这类通讯传递物理信息，调节动物的觅食行为、生殖行为、领域行为、战斗行为以及社群生活等活动。

行为生态学已成为生态学的一个独立分支学科。行为生态学

的发展趋势有以下几个方面：①进化稳定对策（ESS）的研究。如果种群的大多数成员都采取某种对策，而这种对策的好处又为其他对策所不及，这种对策就可称为 ESS。在环境的每次大变动之后，种群内可能出现一个暂时的不稳定阶段，而当一种 ESS 一旦确立下来，种群就会趋于稳定，任何偏离 ESS 的行为就会被自然选择所淘汰。进化稳定对策使人们第一次能清楚地看到一个由许多独立的自私实体所构成的群体，如何最终成为一个有组织的稳定实体。这一过程不仅适用于物种内的社会组织，很可能也适用于由许多独立物种种群所构成的群落和生态系统。②两性冲突和性选择的进化研究。行为生态学把两性之间的利益冲突视为有性生殖的核心问题。雌雄性的基本差异在于配子的大小，由于精子极多又极小，雄体与多个雌体交配就能增加生殖成功率，雌体就成了雄体竞争的稀缺资源。所以，通常雌体不急于选定配偶，为的是最终能选择一个具有优质基因和占有高度资源的雄体作配偶。性选择的研究包括多配偶动物的性选择、单配偶动物的性选择、性选择与多态现象、选型交配和非选型交配以及雌性的择偶标准等。③动物行为经济学和最适模型的研究。从经济学角度看，动物的任何一个行为都会给动物带来一定的收益，同时动物也会为此付出代价（投资）。自然选择总是倾向于使动物从它们的行为中获得最大的净收益。衡量净收益的最终标准是测定基因对未来世代贡献的大小，而这种贡献又决定于动物近期的行为表现，如觅食效率、生殖成功率和反捕行为的有效性等。行为生态学家经常靠建立最适模型（如棕鸟育雏期间的最佳运食量模型、蜜蜂最佳载蜜量模型和最适领域大小模型等）来预测在行为的投资和收益之间应作出怎样的决策才能获得最大的净收益（尚玉昌，1998）。

1.1.3.4　反馈调控

总的来说，尽管研究生态系统信息联系的序幕已经拉开，但这个领域的大量谜团仍未解开。因此，关于生态系统的反馈调控就成了一个有争议的问题。

需要全本请访问 www.ertongbook.com

Englberg（1979）认为，生态系统并不属于控制系统的范畴，其理由是：①生态系统不存在一个把各组成元素连成一体的信息网络，因此它在整体上无信息控制特征；②生态系统在整体上不存在调节放大现象；③贯穿于整个控制系统的反馈环是引导调节过程的信息链，而生态系统的反馈环主要是物质和能量在不同房室之间的流动过程，其主要功能在于生态系统结构的建造与功能的保持，而非调节控制；④生态系统的稳定性行为来源于物理化学原理，而非控制论原理；⑤生态系统包含着控制系统如生物个体和社会化的种群，但这并不等于生态系统本身也会成为一个控制系统。

Englberg 把生态系统与机械电子属性的控制系统作了严格的类比，因而得出了上述结论。这并不奇怪，因为经过亿万年进化的生态系统确实不同于一个机械系统。

大多数生态学家坚持认为，生态系统是一个控制系统。Odum 是最主要的代表人物。1981 年，Patten 和 Odum 全面论述了生态系统的控制特征。他们认为：生态系统的主要功能在于保持生物循环的有序性，生态系统的第一网络结构为能量-物质流 为保证有机-无机能量和物质转移转化的有序和协调，第二网络结构——信息网应运而生。没有信息网，生态系统便会趋向于混沌、无序和失衡。生态系统的信息网是什么呢？它由对能量-物质流起调节作用的所有因子过程和相互作用构成。只是由于生态学家分门别类而非综合整体的研究，使人们对生态系统的信息网缺乏了解。植物克生素和动物信息素在生物种群之间的相互联系，可能类似于生物有机体的神经脉冲和类激素。由杂乱无章的环境因子和剧烈竞争的生物种群所构成的高度有序的生态系统，很难想象它没有专司调节、控制职能的信息网。在生态系统中，信息的转录传递和放大调节效应是显而易见、大量存在的。处于较高营养级的生物和一些分解者有很强的调节功能，它们往往充当调节者角色，成为生态系统控制的敏感区。

他们承认由于信息反馈在各级亚结构上高度分散,不能明确表达出贯穿于整个生态系统的信息反馈环。但在能量-物质流中充满信息转录复制和启动、调节过程,连续的信息反馈环还是存在的。

生态系统功能的多样性和反馈环导致了稳态调节。虽然物理、化学的守恒、平衡原理是生态系统稳态机制的基础,但它与真正的物理、化学系统的稳定性行为大相径庭,其差异在于其自组织化与不可逆转的趋向有序。因此,生态系统的稳定性是生命有机体主动性的自组织化产生的结果,并不是在物质和能量守恒的强烈制约下被动地趋于某一平衡态。

Patten 和 Odum 从以上三个方面判定生态系统是一个控制系统。正是生态系统的控制行为不断地修补自然缺陷,使生物圈趋向协调有序。

从以上分析可以看出,他们对生态系统是否是控制系统争论的焦点在于它是否有一个连续的信息调节网络。虽然目前对生态系统信息调节的研究还不甚深入,但占支配地位的信息调节和连续的信息网络在生态系统中可能是不存在的。而生态系统在功能上确实具有自组织化,对扰动的主动响应(尽管不是灵敏的,甚至有很长的时间尺度),不断趋向有序的控制行为。曹明奎(1990)认为,尽管生态系统的信息网络是非连续的,信息调节也不占主导地位,但在信息网络的间断处靠能量-物质流的变化相联系,仍然能够形成一个连续的信息反馈调节回路。因此生态系统仍是一个控制系统,只是非连续的信息网络会使生态系统的控制机制与典型的控制系统有很大的差别。

曹明奎(1990)把控制系统分为中枢信息网络、均匀信息网络、非连续信息网络控制系统。他认为,中枢信息网络控制系统是最典型的控制系统。有中枢神经系统的动物或有控制器的机器都属于这种类型。这种系统整体联系的信息流不是直接的,而是通过信息网络的中枢结构,系统的各种状态变量和输出变量的变化首先转变为各种信号,进入信息网络中枢结构来处理;然后向系统的各组

成元素发送动作指令，驱使系统趋向预期状态或保持某一稳态。这种系统的明显特征是具备控制中枢。它在控制行为上的特点是：①信息控制占主导地位，信息的主要媒介是波；②反应迅速灵敏，系统进行瞬态调节；③控制行为具有趋前性，系统运转平稳；④因为具有快速有效的信息传递媒介和通道，系统控制的灵敏性和趋前性受系统规模（即各组成元素之间的距离）影响小。

均匀信息网络控制系统。无中枢神经系统的生物都属于这种类型，植物是典型代表。这种系统的整体信息联系是直接的，能量-物质流的调节作用也显现出来。系统各组成元素通过均匀的信息网络直接联系，没有中枢控制器对各个部分进行协调。它在控制行为上的特点是：①尽管能量-物质流的变化对系统的调节作用得到加强，但仍以信息控制为主；②信息的主要媒介是物质；③控制反应的灵敏性和趋前性与系统的规模关系很大，这种系统在结构上比较紧凑；④系统对各部环境变化反应的选择空间较小，被动适应是其主要策略。

非连续的信息网络控制系统。这种系统在结构上无信息网络，信息联系不完整。在整个系统的控制链中会出现信息的空白区，即某些组成元素之间无信息联系。它们之间的关系靠物质和能量流的变化来调节。信息联系与能量-物质流联系的主要差异在于控制反应的灵敏性和趋前性上。它的控制行为的特点是：①能量-物质流的直接调节与信息调节平分秋色；②控制反应速度慢，在控制链中有明显瓶颈现象，它由信息空白区引起；③控制时滞长，趋前性差，导致了较大的振荡，往往使系统结构损伤和整体功能退化。（图 1.6）。

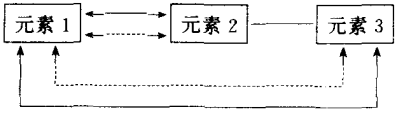

图 1.6 非连续信息网络控制系统（仿曹明奎，1990）

……信息联系：在系统组成元素 2 与 3 之间是能量-物质联系，无信息联系

显然生态系统属于第三种类型。虽然信息控制在生物个体内部、种群内部、生物与环境之间是大量存在的，但没有形成一个连续的信息控制链，也没有证据说明生态系统中有占优势地位的信息调节机制。信息素（外分泌物质）在种群内部的信息控制作用是肯定的，但在不同营养级的生物群体之间除取食关系之外，很难说它们之间有信息调节行为，至少是不普遍的。既然生态系统的整体协调缺乏一个连续的信息网络，那么它如何进行有既定目标的自组织化调节呢？非连续的信息网络在生态系统的控制行为中起什么作用或占据什么地位呢？

曹明奎(1990)认为,生态系统的信息调控网络是非连续的,信息断裂区之间的控制信号的传递是靠非信息作用的能量-物质流变化来实现的。信息主动调节与非信息的能量-物质被动调节共同构成连续的反馈控制链。在生态系统整体协调中，能量-物质流调节占主要地位，信息流作为前馈输入引导整个生态系统的运行。在生态系统的亚结构内部，如生物个体与种群内部，信息反馈控制占支配地位，形成生态系统整体协调的基础。

§1.2 复合生态系统的功能

复合生态系统是指在一定空间范围内的人类聚居区，在聚居区内,通过物质、能量、信息的流动与交换,将生产、生活与资源环境以人的活动为中心联系起来（马世骏、王如松,1984)。通俗一点说，复合生态系统是指自然、经济、社会有机结合的三维生态系统，是人类调控和管理的生态系统。在这类生态系统中，人既是消费者，是自然生态亚系统的一部分，又是经济亚系统和社会亚系统的主角。

复合生态系统的类型很多，如农业生态系统、林业生态系统、渔业生态系统、湖泊生态系统、城市生态系统等等。本书为了叙述方便，以农业生态系统作为复合生态系统的例子，来概述它们的功能特点。

1.2.1 农业生态系统的能流特点

农业生态系统与自然生态系统的能流差别主要在于：它的能量来源除了太阳辐射能还有辅助能。而且辅助能占的比重很大，有时高达系统能量总输入的 60%以上。

1.2.1.1 太阳辐射能

同一般生态系统一样，太阳辐射能，即一定波长的太阳光，是农业生态系统能量的主要来源。同理，太阳辐射能在农业生态系统中的作用效应视波长不同而异。在占太阳辐射能 99%的主要波长（0.15～4μm）范围内，波长 0.4～0.76μm 为可见光（约占总辐射量的 50%）、＞0.76μm 为红外线（约占总辐射量的 43%）、＜0.4μm 为紫外线（约占总辐射量的 7%，但由于臭氧层作用，实际到达地面的比例仅占总辐射量的 1%左右）。其中，红外线的主要作用是产生热效应，形成农业生态系统中农业生物的自然热量环境；紫外线具有消毒灭菌的生物学效应，可为农业优势生物提供自然的健康保护环境，可见光是由 7 种不同波长的单色光所组成，除绿光外，都是农业植物进行光合作用的生理辐射，它是农业生态系统中一切生物化学能的源泉。农业生态系统的能量流动，实质上主要是指能被农业植物固定的太阳辐射能在系统中的流动。太阳辐射能的强度，在大气层上限一带约为 8.12×10^{-6}kJ/(cm^2·min)，由于通过大气层时按指数衰减，实际到达地球表面的太阳辐射强度，一般只有太阳总辐射量的 46%左右，即使在晴朗的夏天中午最多也只有 67%。前面提到，进入地球表面的太阳辐射强度，因纬度、地形、气候因子不同而异。全世界大部分时间，太阳辐射量处于 418.68～3349.44J/(cm^2·d) 之间，大部分生物圈输入的太阳辐射能为 1256.04～1674.72J/(cm^2·d)，合每年每平方米 6.28×10^6kJ。我国的年太阳总辐射量变化在 355.88～1004.83kJ/(cm^2·a) 之间（表 1.2）。

表 1.2 我国各地区太阳总辐射量 [×4.1868kJ/(cm²·月)]

地点	纬度	月份												全年
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
哈尔滨	46°N	4.5	6.4	10.3	12.1	14.9	15.0	14.1	12.7	10.6	7.6	5.0	3.8	117.0
沈阳	42°N	5.2	7.0	10.6	13.4	15.2	14.5	13.0	12.6	11.6	8.4	5.5	4.6	121.7
北京	40°N	6.4	8.0	11.0	13.6	16.2	15.9	14.2	13.4	11.8	9.5	5.8	132.3	
和田	37°N	7.0	7.8	11.5	13.3	16.2	17.3	16.7	15.7	13.3	11.7	8.4	6.7	145.6
郑州	35°N	6.5	7.5	9.8	12.4	14.5	15.3	14.0	13.2	11.1	9.5	6.6	5.8	126.2
南京	32°N	6.4	6.7	9.2	10.7	12.4	12.9	14.1	14.1	10.3	9.5	6.7	6.1	119.1
成都	31°N	4.5	4.7	7.0	8.4	10.1	10.1	11.4	11.2	7.2	5.5	4.4	4.0	88.6
汉口	30°N	5.8	6.1	8.0	9.8	11.7	13.2	15.1	15.0	11.2	8.9	6.5	5.7	117.0
拉萨	30°N	13.3	16.6	18.5	22.2	20.7	18.7	18.0	17.6	17.6	14.0	12.4	13.7	202.4
长沙	28°N	5.3	5.0	7.0	8.6	9.6	11.1	15.3	14.1	11.0	8.3	6.1	5.1	106.5
贵阳	27°N	4.4	5.0	8.0	9.9	10.3	10.1	12.6	12.5	10.0	6.5	5.4	4.5	99.5
福州	26°N	6.5	6.0	8.0	9.7	10.3	10.7	15.3	13.9	11.0	9.2	6.8	6.1	113.5
腾冲	25°N	10.4	10.1	12.6	12.8	11.8	8.0	8.1	9.5	10.1	9.8	10.3	10.1	124.7
台北	24°N	5.4	5.4	7.2	8.6	10.2	11.2	13.5	12.9	11.1	8.4	6.2	5.3	105.4
广州	23°N	7.2	6.0	8.9	8.1	10.8	10.9	13.7	13.1	11.5	11.2	9.0	7.6	116.1
琼中	19°N	7.0	7.0	9.7	11.4	12.3	11.0	12.9	12.1	9.7	8.4	6.6	6.4	114.3

地貌状况作为一个复合的自然因子，对太阳辐射能的输入和热量平衡起着明显的重新分配作用。例如，在山区或丘陵地区，地理环境十分复杂，地形起伏明显，即使在很短的水平距离内也分布着不同形态的地貌组成，坡度与坡向随机变化。尤其是在中纬度和高纬度地区，由于地形起伏而形成的“遮阴”现象是造成太阳辐射空间分布不均衡的基本原因，加上坡度的变化和坡向的不同，从而出现明显的背阴面太阳辐射量“减弱”，而向阳面太阳辐射量“增

需要全本请访问 www.ertongbook.com