

# 信息论与景观分析

迈克尔P.

## 摘 要

景观学的综合研究就是系统分析。有些学派强调质能流的研究。其它学派则注重空间关系的研究。信息论为景观这一空间信息系统的研究提供了恰当的框架。生物与非生物的组合等于熵,而生物与非生物之间相互作用的级别相当于负熵。景观分析方案就是以这些原理为基础的。本文列举的三个例子在于说明这一研究方法的特殊见解。在景观发展问题中,分析了景观发展的前景。衰减定律的含义在有关的两个事例中作了简要的讨论。

**引言** 毋庸置疑,景观学研究的问题是多方面的。既研究连接景观中生物要素与非生物要素这一体系的函数关系,也研究由生物要素与非生物要素的各种组合构成的镶嵌结构,这种组合结构赋予景观学以生物地理学色彩。最后(并非不重要的一点),还必须把景观作为一种易于随时间而变化的现象进行研究。但是直到今天,景观研究在制定供研究上述这些问题的综合纲要上仍有不足。研究景观虽然仍需简化,但是,局部的研究,只注意函数关系,而忽视了空间关系,相反,着重于空间结构,则把研究限制在静态研究中。现在,人们尽管试图合并这两种倾向,但大量的材料证明:这两种作法仍富有生命力,而且深深扎根于“过程和形式”这一经典的二元论之中。本文旨在表明信息论是怎样克服这些方法上的束缚并服务于景观科学的。

**方法论的研究** 考察一下把函数关系和拓扑结构之间的联系引进景观研究中的方法很有意义。通常,用来说明这些结构的方法在于研究各级拓扑单元的空间组合。已经提出的许多分类系统证实了这种方法的普遍性。大多数采用这种方法的作者强调指出,每一级的结合是以能达到某些结合的特殊性能为特征的。尤其重要的是,各级拓扑单元的结合相当于类似的生物成分的结合。因此,建立这些系统的基本概念是生物群落和无机环境相互关系的一致性。诚然,一些作者已经清晰地使用了有关地形、土壤和植被的递归模式这一概念,而另一些作者甚至谈到了“土地的有序与无序”。现在,变换过程与拓扑结构间的联系已经清楚了。在空间系统的研究中,过程本身不是所考虑的,而它的有效输入或输出(生物和非生物特征)是要考虑的,这种考虑就是把变换过程作为黑箱子来处理。所以,输入和输出间的空间关系的概念可以作为景观分析的核心。在这方面,一些研究已使建立在多变量方法基础上的景观结构分析取得了进展。然而,除了这些很小  
~~~~~  
随着离城市距离的增加而提高。这是一种现代理论,另外一批学者的工作给予支持(克劳孙,1962;伯斯特和加森,1966;马丁,1972;伯里安特,1974,1981;伯里,1979)。

c:伯里安特模式。这是杜能模式和辛克莱模式的折衷。伯里安特认为,城市发展产生的压力只对特定的农业部门有不利作用,这取决于投资回收期。果园和葡萄园就是很好的例证。这是农场主决定放弃企业还是耗尽地力的依据。农业用地价值曲线会是一簇,它因城市发展对特定部门的影响程度而变。此外,如果“接近市场”是个应考虑的因素,那么,随着离城市距离的增加,农业生产集约程度先是上升,然后再下降。

d:绿带模式。如果政策控制很严,那么,在城市绿带外,城市占地受到限制。但在离城市远的地方,则有相反现象。

师江平译自《Agricultural Geography》, OXFORD UNIVERSITY PRESS 1985. P185—194

的进展外,与这些概念相适应的方法和手段也公开地使用了。应当进一步考虑拓扑组织的中心思想。显然,应该说明:一种要素对另一要素的影响不仅看作是空间共存的现象,而且应该看作是一种要素对另一要素的生态约束。所以,采用正确的方法研究问题就会导致我们用信息论去研究景观。本文的下一部分将要说明信息论在景观学研究中的几个基本概念。

**空间熵:熵与生态约束的关系** 设U为生物群落类型(B)与各种特定的非生物特征(A)镶嵌而成的区域。为方便起见,把U分为N个大小相等的, A和B均质的单元。区域图表示生物分布、群落类型数目m和单元数目 $n_1, n_2, \dots, n_m$ 。如果系统不受约束,也就是说,如果任一群落类型都可安置在N个单元中的任一单元中的话,就可以组合这些单元以便形成象B'或B''这样的新模式(图1),在这样的假定之下,可能获得的容允模式总量 $W(B)$ 就是该系统的自由度及其熵,用 $H(B) = \frac{1}{N} \ln W(B)$ 度量系统的自由度(Pielou, 1975)。这种度量作为检验生态约束的理论值是非常重要的。第二步,我们考虑A和B两者是有差异的(图2)。现在当我们将这些单元进行组合时,假定A对B产生一个约束,就等于说,不得超越 $a_1, a_2$ 间的界线。现在我们通过计算可能出现的模式的数量 $W_A(B) = W_{a_1}(B) \times W_{a_2}(B)$ 和系统的熵 $H_A(B) = \frac{1}{N} \ln W_A(B)$ 来求系统自由度的值,就能证明 $W(B) > W_A(B)$ ,  $W(B) = r \times W_A(B)$ , 此处, r被解译为由特征A引入模式B中的生态序列因子。该生态序列的另两种量度是共同信息 $[T(A, B) = \frac{1}{N} \ln r \text{ 或 } T(A, B) = H(B) - H_A(B)]$ 和冗余度 $[R(A, B) = T(A, B)/H(B)]$ 。

在通信理论中, T量度了从源S通过信道 $S \rightarrow P$ 到接收者P无噪声传输的信息量,注意到这一点是很有意义的。这说明我们的系统(A, B)构成了一个信道 $A \rightarrow B$ , 其效率由 $T(A, B)$ 和 $R(A, B)$ 来量度。如果我们考虑到, 信息A通过减少其从 $H(B)$ 到 $H_A(B)$ 的不确定性来提高B的预测性, 那会更有意义。所有这些都证明了由r、T、R所量度的量具有负熵的含义, 这就是生态组织。

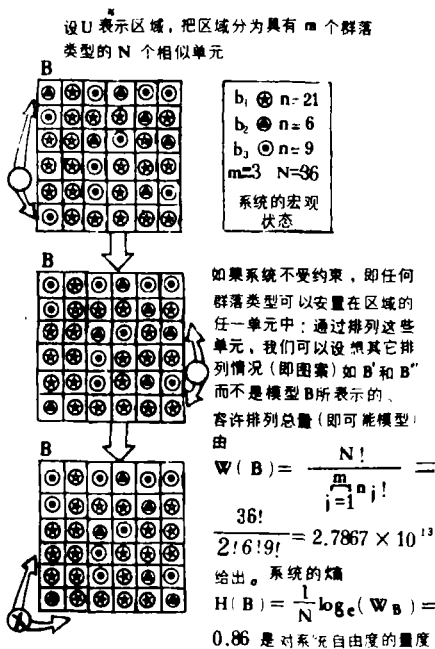


图 1

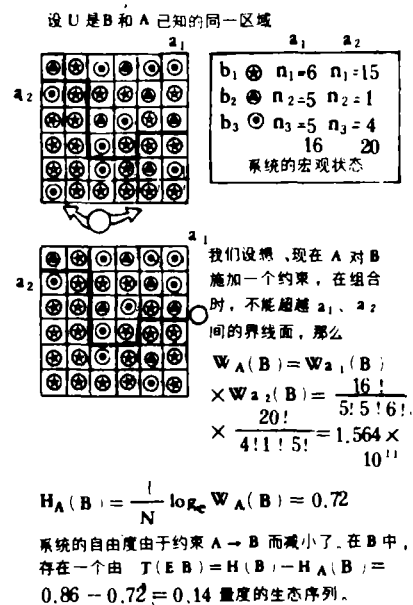


图 2

**信息概念在景观分析中的广延** 现已清楚, 熵、信道和冗余度可用来作为建立景观模式的操作概念。景观模式拥有A和B的空间结构及其结构关系。然而由于许多非生物因素单独地或以相

互作用的方式对生物要素产生制约影响, 现实景观的分析与上述情况有所不同。因此, 我们必须把单变量分析转变为多变量分析。我们掌握了信道模式, 就应当依靠与生物群落类型B的集合有关的复杂的环境状态集E来建立新的信道。集E由全区的许多变异已知的无机特征的结合构成。逐级划分法通过对最初的单元集进行逐级划分能使新的信道的建立成为可能。把集划分为亚级是根据能提供大量负熵的特殊无机要素的级别来进行的。正如图3所示, 产生于任何一级的亚级可以看作是下一级的原始集, 这个过程如此连续 (Phipps, 1981)。整个程序起着空间单元分类之作用, 且能用树状图来表示 (图3)。

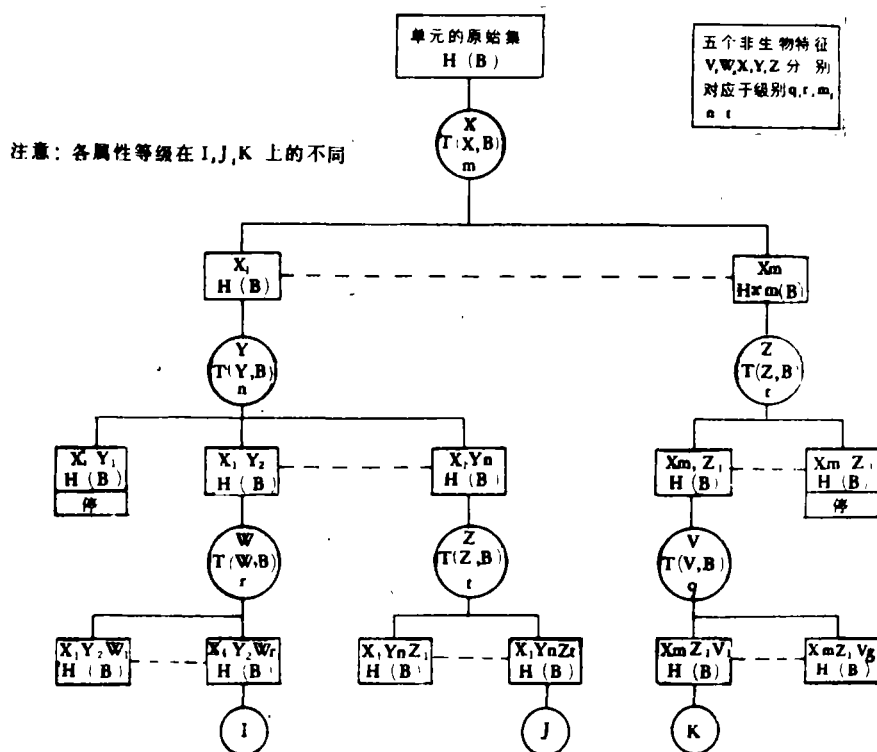


图3

**模式的主要特性** 在这一段, 我们全面研究的是图4所示的通道  $E \rightarrow B$  的特性。任何一个信道,  $E \rightarrow B$  实质上是随机的, 而且是根据第  $i$  个综合环境状态 ( $e_i$ ) 单元的生物群落 ( $b_i$ ) 可能出现的概率  $P_{ij|ih}$  而建立的。每一子集构成一组立地, 在那里, 所有立地的各生物群落类型出现的概率是类似的。在结合非生物特征构成集合E时, 我们已经观察到一个总的规律: 特殊类型的进一步划分只有当这种划分产生关于B的最大负熵时才能进行。这一事实有非常重要的结果。

i) 集E不是建立在预先确定的各特征的结合上, 而是以一种反身的方式, 这种方式很好地说明了B的状态, 同时还说明了两种过程的交换这个事实。

ii) 既然  $T(E, B)$  已经达到最大值, 那么E是B的最好的预报因子; 然而, 尽管E具有可预测性, 但是它还具有一定的不可靠性, 通常称之为信道模糊性。这种模糊性可能真的就是不可靠性或者缺乏信息。

iii) 负熵的最大值要求这个模式对生物模式中的生态序列予以精确表述。

由于  $T(E, B)$  达到最大值, 由于建立E的反身方式, 通道似乎就是对生物非生物交界面的最好表述, 换句话说, 就是对前述的交换空间的最好的表述。

现在, 信息论已被证明是建立景观模式的很有用的框架。随机矩阵——通道的核心构成

了生物模式的数学式,它是以通常被认为是景观概念的基础的递归模式为基础的。下面介绍该分析方案在三种不同情况下的应用。

**三个应用** 本分析方案正在各个方面得到应用。每一种应用都说明了这一方法的特殊见解。第一个例子是关于魁北克的森林景观。首先划分出十个森林群落,制作了面积为十四平方公里的图。非生物因素集包括九项:海拔高度、坡向坡度、相对高度、立地剖面、立地水系、土壤母质、土壤排水和表土厚度。在本区内选取了1231块立地作为样地,每个立地的界线是用植物群落和非生物特征的状态划定的。程序末了,共建立了一个由124个综合环境状态

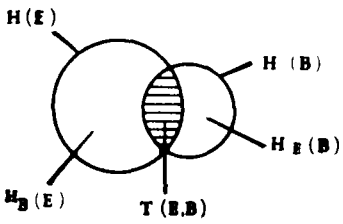
组成的集合,弄清了环境的复杂性 $H(E)=4.60\text{ive}$ 。生物分布熵从初始值 $H(B)=2.17\text{ive}$ 降至终值 $H_E(B)=1.01\text{ive}$ ,从而提出了理论值 $R(E,B)=0.60$ 作为植物分布生态序列的度量。除了度量序列外,最有趣的是,该分析清楚地显示了非生物特征的层次性。在整个景观中处于支配地位的是海拔高度,但处于次支配地位的特征取决于高度的级别。在高海拔地区,处于第二支配地位的是坡向,反之,在低海拔地区,地表覆盖物的厚度是主要的。

第二个例子是对法国西南部的农业景观的分析。分析面积十二平方公里,划出1156个立地作为样地,每一立地用它的土地利用类型来确定(包括林地、灌丛、草地、牧场、饲料作物、谷类作物和葡萄园六个类型)。非生物特征集包括五个特征(立地剖面、相对高度、坡向坡度及土壤母质)。该程序建立了一个由十五个复杂环境状态组成的集合,并说明土地利用熵从 $H(B)=1.331\text{ive}$ 减少到 $H_E(B)=1.014\text{ive}$ ,即冗余度 $R(E,B)=0.25$ 。与前面的相比较,这个数字显得很小。但是,我们应当记住,这个值度量了土地利用类型的生态组织水平,作为一种人类活动现象,土地利用类型主要依赖于非生态因子。无疑,在我们的研究区域内,因为引入了表现区域分异的非生态特征(如距离农场的远近,必然导致终熵的减小。然而,它的最大部分可以是真熵(即真自由度),也就是说,土地利用部分的位置作用不能在任何已知因素中减小。

最后一个例子讨论的是森林生态学的一个特殊方面。大家知道,阿拉斯山脉中部(摩洛哥)森林不利于雪松更新。在这种情况下,把分析更新的形式和集的性质(包括无机与有机要素的性质)的关系可以看作是更新研究的决定因素。在五个研究区的每一个区中,我们利用1274到4774号立地,对30个分异特性进行了检验。最有趣的是,这个例子所说明的特征的层次性好象沿树干延伸的树枝一样。通过对这些层次的全面考察,说明了在大多数情况下,互换过程是在进行,尤其说明了这些互换作用是怎样受无机要素空间变化的影响的。这清楚地说明了前一部分所述的黑箱思想。

在上述三个事例中,已经证明所提出的分析方案是很有用的,而且是有效的。它用于评价与非生物模式有关的生物模式的生态组织,并说明互换的结构。本文的下一步将考察该结构的演化。

**景观发展与展望** 信息论提供了一个有趣的模式,尽管如此,但是分析仍是静态的和结构的。然而应当根据普通系统理论去看待这种研究方法的价值,这正是我们的论点。或许,景观研究不应该更多地考虑 von 贝塔朗菲的“各个领域的同构定律”(1968, P48)。信息系统通常向着特定的方向发展,应把这个趋向同我们对景观演化的认识相比较。

$$R = \frac{H(B) - H_E(B)}{H(B)} = \frac{T(E, B)}{H(B)}$$


$H(E, B) = H(E) + H(B) - T(E, B)$   
 $H_E(B)$  = 通过的模糊性  
 $H_B(E)$  = 通过的条件信息量总平均值

图 4

在图4中,  $H(E)$ 代表环境的复杂性,如上所述,它正好与生物模式 $B$ 相适应。随后,  $H(B)$ 代表生物复杂性,显然,这一复杂性指的是生物类型镶嵌结构的复杂性,而不是类型内部生物类型所体现的复杂性。 $T(E, B)$ 代表系统的生态序列,就是不完全现实的自由度,这个不现实的自由度好象是允许的,但由于约束 $E \rightarrow B$ 而达不到。

现在,我们可以把整个景观的复杂性定义为:  $H(E, B) = H(B) + H(E) - T(E, B)$ , 上式还可以写为:  $H(E, B) = H(E) + H(B) \cdot (1 - R)$ 。这样一来,就有可能根据三个成分 $H(E)$ 、 $H(B)$ 和 $R$ 的变化评价景观的变化。

我们知道,系统发展的一般趋势是形成衰减,这种衰减被定义为“减少冗余度”,即系统的瓦解。除非后者具有防止或减少信道噪声而保持其组织性的能力。

在上述各种情况中,对这些观点的性质进行研究是有意义的。在森林景观中,终熵 $H_E(B)$ 的相当一部分应归于时间因素。各种植被型的植物群落类型处于演替阶段,而另一些被看作是顶极群落。如果有足够的时间,我们就可以观察逐渐演替,记录 $H_E(B)$ 的减少情况。这种演替过程已经根据魁北克南部植物演替文献模拟出来了,得出了最终熵 $H_E(B) = 0.5$ 。说绝对一点,这个值所表示的是稳定。目前,至于 $H(B)$ 和 $H(E)$ 同时变化我们还没办法度量,但对于结果来说,有迹象表明,正在日趋成熟的景观,其生物模式的复杂性在减小,据认为,与此同时,群落内部的生物复杂性在增大。已知用于建立环境状态集的过程,那么,  $H(E)$ 的减小必然导致  $H(B)$ 的减小。随着冗余度而来的发展方向问题仍然悬而未决。我们认为,通过减少噪声,维持生态约束以对抗衰减定律,这样,就可保持 $R$ 的稳定。这些观点在很大程度上只是假设,但必须强调指出:本文讨论的模式允许对这些假设进行检验。

在第二个例子中,农业景观很好地说明了关于系统行为的一些主要概念。首先,了解冗余信息在违背正常的衰减定律的情况下,在过去是怎样长期保留下来的。我们完全承认作物生态学的社会知识以一种奇异的方式影响着土地利用模式决策,因此成为主要的组织力量。最近的演化提供了许多关于系统衰退的证据,一种新的理论在土地利用政策中的出现否决了有关景观的传统的社会控制,并导致了景观生态组织的瓦解。这就是 $R$ 的减小,这通常通过所谓的计划作用而产生,类似于这种趋势,专业化农业系统趋向于减小土地利用模式的复杂性 $H(B)$ ,接着,  $H_L(B)$ 的减小又导致环境复杂性 $H(E)$ 的减小。然而相反,土地利用类型的生物复杂性并不增大。根据普通系统理论,这些研究属于景观的恢复力概念。“要素的变化”定律指出,这些景观除非消耗大量能量来维持,否则变得易受外界干扰(气候的,经济的)。很可能当今局部景观的恢复力依赖于大(区域)系统(包括景观)的变化大于它们自己的属性变化。

**结论** 信息论作为景观分析的一种概念和研究框架已被证明是很有用的。它提供了诸如熵、负熵或信道这样的方法,这些方法为景观研究的模式化作出了重大贡献。此外,在这个体系中,景观被理解作为一种信息系统,更确切地说,被理解为非生物特征与生物要素型之间结合的信道。可以认为,这个模式是对交换空间也就是景观的很好的描述。然而信息论所开辟的最有希望的前景与景观发展的领域有关。对控制系统发展的一些规律进行研究,形成了很明显的对比,且提出了一种新的研究途径。

吴伯甫、李团胜译自《Perspectives in Landscape Ecology》1982。