第4卷第4期
1984年12月

生 态 学 报
ACTA ECOLOGICA SINICA

Vol.4 No.4
Dec., 1984

生态系统的空间分布*

牛文元
（中国科学院地理研究所）

摘 要

作为生态学研究的一个重要方面，在过去二十多年中，生态系统的空间分布曾被一些学者所研究。这类研究的一个特殊应用是旨在监测生态系统的动态演替。此外，它亦可以作为一种重要方法，对特定地理区域内的生态系统进行数量分类。同时，它已被用来评价生态系统的稳定性，或被用来估算生态系统的初始生产力。

考虑到一个平面上点的分布规律之后，作者应用"近邻分析"、"引力理论"以及概率论的基本概念，设计出一个称之为"执行指标"的E-index。本文列出了E-index谱的计算。其特点在于，不是如通常采用的方法那样只是考虑两点间的距离，而是采用（包含有点的）两个最近"样方"间的距离作为计算的依据，去制定执行指标。

E-index似乎是在统一的基础上，在定量地比较不同的生态系统空间模型方面迈出了较大的一步。通过这个门槛，研究者们将能够以更准确和更有效的方式，去实现对生态系统的某种空间调节和空间管理。

本文还举出一些例子去应用和验证E-index.

生态系统的空间分布，是生态系统分析中的一个重要内容。正确地表征生态系统空间分布的模型，并对此实施数量分析与（在统一基础上的）比较，是判定区域生态平衡、追索生态演替、并进而评价区域生态质量的必要条件之一。任何生态系统类型，离开了它所处的空间格局，其他诸如环境与生物诸要素互相作用的问题，生态系统的发展与演进的问题等等，统统失去了讨论的基础。就某一特定的生态系统而言，尽管有较相似的非生物环境条件，尤其当热量与水分（可分别考虑成能量与物质的表征）两项基本自然要素，在数量上与组合上处于大致相近的状态时，该生态系统的空间分布仍会有明显的差异。至于对自然环境很不一致的地域，这种空间结构所表现出来的差异就会更大。一般说来，空间结构上的差异，不仅影响到生态系统的功能，而最终将影响到该生态系统的总输出。从这个意义上讲，探求生态系统空间结构的规律，对于计算区域的自然生产力，对于设计区域改造自然的战略目标，都将具有很大的价值。

七十年代以来，国内外一些研究者，都对这一方向倾注了不少的心血，并试图从不同学科途径去探讨生态系统空间结构的模型，得到了不少有意义的结果。例如Taylor（1977）所发展的"R度量分析"（R-Scale Analysis）；Morrill（1971）、牛文元（1981）所应用的"点空间排布"（Arrangement of Points in a Plane）；Williams（1980）所提出的"空间方程"（Spatial Equation）；以及人们经常使用的"近邻分析法"（Nearest Neighbor Analysis）等，（见Greig-Smith，1964；Mc Connell等，1971），都从理论上和实践上阐述了

* 本文承美国内布拉斯加（林肯）大学地理系主任M，拉森教授（M，Lawson）提供一些有益的建议，特此致谢。

空间分布的一些基本规律。有的研究者（如 Whittaker，1970）并对某些实际应用的结果作了检验。本文试从如下三个方面讨论生态系统的空间分布：

（1）将一般的具某种数值意义的点在二维空间的随机排布，推广到生态系统的空间分析，并为此设计出一个新的转换方法，规定了称之为“执行指标”的E尺度。

（2）应用所制定的E尺度模型，将一类生态系统在空间上实施统一的数量对比，并最终将这种空间分析纳入一个具有普遍意义的空间结构系列。

（3）以我国有关森林生态系统的地域分布空间作为“个例”研究，作出了数值转换与模型解析，从而对判定生态质量、评价区域生态平衡、实行生态区划等方面提供依据。

一、原　　理

自然生态系统的空间分布中，随机现象是一种普遍存在的事实，这就构成了研究此类问题的一个显著特点。另一方面，一般情况下的自然要素或生物要素，经过适当的变换后，都有可能将其转换成具有特定数值意义的“点”。在此基础上，应用点在二维空间的随机分布规律，并进一步探索这些规律的推广，就成为本文所述生态系统空间分布的理论依据。由此，也可以进一步发展具有更深一层意义的“线”或“面”在多维空间的排布规律。

从自然地理学的角度出发，一个具有均一特性的、在质的概念上表现相同或相似的地域，当其内部被分划为若干相等的面积单元时（数目应足够的多），则在该地域中某种生态类型被发现的可能性，假定对于所有这些面积单元来说概率都是相同的。这种生态类型（亦称之为事件），按照特定规则被转换成点的分布时，都是相互独立的，其中一个点与另一个点，相对于空间距离而言，既不互相排斥，亦不互相吸引。

设在一个包含有n个点的地域A中，以一个固定的面积单元a作为“样方”进行分划，并且规定如下概念：$A/a=r$，$n/A=x$。在随机分布条件下，对于n个点而言，某面积单元a中一个点也不会被发现的概率为：

$$\left(1-\frac{1}{r}\right)^{n}=\left(1-\frac{1}{r}\right)^{axr} \qquad (1)$$

当r足够大时（亦即地域A中所用面积单元a不断变小时），则有

$$\left(1-\frac{1}{r}\right)^{r}\sim e^{-1}$$

于是式（1）可以写成e^{-ax}。进而，在这个面积单元a中仅能发现某一个点而无其它点的概率是：

$$\frac{1}{r}\left(1-\frac{1}{r}\right)^{n-1} \qquad (2)$$

n个点中之任何一个均可单独在该面积单元a中被发现的概率则为：

$$n\cdot\frac{1}{r}\cdot\left(1-\frac{1}{r}\right)^{n-1}\sim n\cdot\frac{1}{r}\cdot\frac{1}{\left(1-\frac{1}{r}\right)}\cdot e^{-ax} \qquad (3)$$

当 r足够大时，则$\frac{1}{r}\to 0$，或（3）中之分母（$1-\frac{1}{r}$）将趋近于1，则上式可以写成：

$$axr\cdot\left(\frac{1}{r}\right)\cdot\frac{1}{\left(1-\frac{1}{r}\right)}\cdot e^{-ax}\sim axe^{-ax} \tag{4}$$

由此推及，在某个面积单元a 中发现两个特定的点的机会应能表示成：

$$\left(\frac{1}{r}\right)^{2}\cdot\left(1-\frac{1}{r}\right)^{n-2} \tag{5}$$

对于n个点而言，两个点可以被选择的方式为

$$\frac{n(n-1)}{2!}\text{个，}$$

于是在这个单位面积a中发现两个点的概率为：

$$\frac{n(n-1)}{2!}\cdot\left(\frac{1}{r}\right)^{2}\cdot\left(1-\frac{1}{r}\right)^{n-2}$$

$$\sim\frac{axr(axr-1)}{2!}\cdot\left(\frac{1}{r}\right)^{2}\cdot\frac{1}{\left(1-\frac{1}{r}\right)^{2}}\cdot e^{-ax}$$

$$\sim\frac{(ax)^{2}}{2!}\cdot e^{-ax} \tag{6}$$

同理，可以依次推出一个面积单元中包括 3 个点直至n 个点的概率。总括上述，点的各种概率分布的总体可以被认为是：

$$e^{-ax},\ axe^{-ax},\ \frac{(ax)^{2}}{2!}e^{-ax},\ \frac{(ax)^{3}}{3!}e^{-ax}\cdots\cdots \tag{7}$$

这就是著名的Poisson分布。其总概率必然等于 1 。

如果一个生态系统的空间结构符合于Poisson分布所表达的规律，即它应当符合于$P_{(\xi=n)}=\frac{\lambda^{n}}{n!}e^{-\lambda}$（其中$\lambda=ax$），将如图 1 所示的那种分布概率：

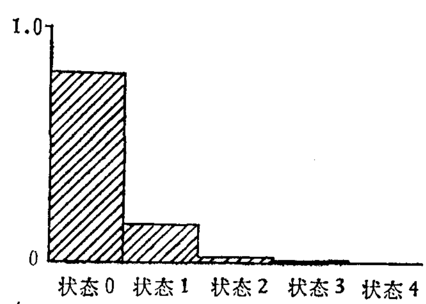


图 1　Poisson分布的概率表达

则Poisson分布即为此种条件下该生态系统空间分布的理想模式。

但事实上，生态系统的空间分布，并不总是很好地符合这种理想的Poisson分布，这就给企图不加任何说明而直接应用它带来了困难。经过长时期的艰苦探索，一条概念性的空间分布规作被表述如下：任何真实的生态系统空间分布，总是以其理想分布图式为基准，沿着两个相反的方向演化：其一，与理想分布相比，在二维空间内点的分布具有更为聚合、更加集簇的趋势；其二，与理想分布相比，在二维空间内点的分布具有更为分散、更加均匀的趋势。作为上述两种趋势的极端表现，前者所有的点均重迭地分布于一个唯一的面积单元之中，可以看作n个点相集在一起的高度聚合的特殊分布；而后者则是所有的点在一个二维空间内各占据相等的面积，即点均匀地排布于每一个面积单元之中，它可以看作为各点距离之间完全相等的高度分散的特殊分布。

由上述可以推论出，在点的空间分布的基本表述上，可以发现这些点的空间分布模式，能够从完全聚合于一个唯一的面积单元之内这个下限出发，连续地向上变化，通过完全符合Poisson分布的理想状况，再向上演进到各点完全均匀分布于该二维空间内的上限，这样一个连续系列将包括着二维空间内点的分布模式的全部状况。这个推论的导出，对于我们去处理生态系统的空间分布格局，带来了极为重要的启示。由此，我们有可能将真实环境中所存在的生态系统格局，纳入一个统一的、可以进行精确数量比较的空间分布谱之中。

在此原理之下，经过作者的重新设计，引入独特的数值转换并赋予新的处理后，得到了一个称之为“执行尺度”(亦称“执行指标”，Executive Scale或Executive Index)的概念，简称E尺度，以此去衡量任一个生态系统空间结构在空间分布谱上的位置以及其确切的数量指标。E尺度以Poisson理想分布作为中心，分别向两个极端方向(即分布谱的下限和上限)呈连续地、对称地展开。任何一个真实的生态系统，其空间分布状态不仅可以在E尺度谱上找到它们的位置，而且亦可以精确地判定这种空间分布对于理想分布的背离程度。

对于任何一个真实的生态系统，一旦寻找出一个合适的方法将其转化为具有数值意义的点之后，它们在二维空间上的分布模型，将可以表达成为这些点的实际距离总和D_a与在Poisson分布时点的理想距离总和D_p之比值，即使用$E=D_a/D_p$。很显然，如果执行尺度E的数值为1，则意味着$D_a=D_p$，说明此时生态系统的空间分布与理想的Poisson分布相一致。当E数值小于1，则生态系统之实际分布相对于Poisson分布而言更趋于聚合，直到$E=0$时，$D_a=0$，所有的点间无距离，重合在一起，此时为E尺度的下限。同理，当E的数值大于1，则生态系统的实际分布相对于理想分布而言更趋于分散，直到$E=2$，达到该尺度的上限值，此时极度均匀的点分布，其间实际距离总和恰好为Poisson分布时点的距离总和D_p的二倍。

采用这个精确的、连续的、以理想的Poisson分布为中心呈对称的分布谱，既能衡量不同区域生态系统空间分布的差异程度（如进行生态区划比较、生物地理分区等），又能评价同一区域内某一生态系统随时间的空间分布变化（如植物生态系统的演替过程、边缘地区的垦殖、森林火灾面积的估算等）。这就为研究生态系统的空间分布提供了一个实行统一比较的重要指标。

二、方 法

在处理具体的生态系统并对其空间分布实施量化时，应当依据上述所阐明的原理，将其

抽象地转换为具有规范的、能相互量测的、能进行比较的数量关系。这种运用E尺度的处理过程，已为作者设计出如下步骤：

1. 统一网络

针对所要研究的对象，在不同的地域空间，按照确定的比例尺，分别选择一个合宜的“面积单元” a（即样方）。该面积单元具有确定的形状（一般作正方形）和大小。由这样的面积单元在所研究的生态系统空间内分划出统一的网络。在此网络中，每一个面积单元都将作为空间分布分析中的基本单位（有关面积单元选取的形状和大小，在不同比例尺的地图上有不同的选择方案，它们的最佳选取，作者将在另文中加以讨论）。

在本文所进行的比较研究中，各个有关的生态系统，其地图比例尺是相同的，进行分划网络时所采用的面积单元也是相同的。同时有一点尤须特别指出，每个进行数量比较的生态系统，都具有相同数目的面积单元，这样处理的优点，将会在以下的分析中清楚地显示出来。

2. 确定点的数目和分布

根据特定的研究目的和内容，可以选择生态系统中的某种组成成分，如自然生物物质数量、季相演替的空间响应、某个要素随时间变化的波动状况等，均可以被量化为具有数值意义的“点”。由特定生态系统内容实行向“点”的统一数量转换时，将服从如下所拟定的公式：

$$u_i = (M_s)_i \frac{n}{\sum_{k=1}^{n} (M_s)_i} \tag{8}$$

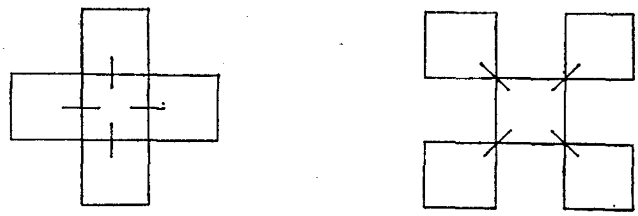
式中，u_i代表在第i个面积单元中，所选择的某个生态内容所应转化的点数；$(M_s)_i$表示在转换为点之前，第i个面积单元中所包含的该生态内容的实际状况（可能是数量的，亦可能是程度的，或是其它非数量的）；n代表在该地域中将要设计的总点数。在本文中，我们提出了一种简捷的方式，即要求统一网络中的总点数n与统一网络中所含的面积单元数目，总是保持相等，这也成为E尺度指标区别于前人指标的一个特点。它的好处在于：不仅能使空间分布的处理更为简单，而且给实际应用带来极大的便利。读者由此可以十分容易地得出如下结论：在E尺度的下限，所有的点(n个)均要集中于一个唯一的面积单元之内；而在E尺度的上限，每一个点恰好均匀分布在每一个面积单元之中。

3. 距离的判定

在生态系统空间分布的研究中，点之间的距离判定是进行分析的基本环节，但同时，它也是极其繁复的。在本文中，作者抛开了传统的距离量测方法，在近邻分析的基本原则下，把点间的距离判定，改换成为含点面积单元之间的距离判定，并且通过“引力理论”对这个距离实施第一级订正，再通过“概率论”的借鉴，对该距离实施第二级订正，由此去处理由于各面积单元（含有点的）在统一网络中所处位置的不同，以及由于各面积单元中所含的点数不同，给距离量测带来的困难。通过这种处理，使得以往使用的方法，向前迈进了一步。

首先，一个含有点的面积单元，与其周围最近的含点面积单元之间的距离，将使用相对数值去表达，这就避免了直接量测绝对距离时的许多弊病。这种相对数值的测定被规定如下：在正常条件下，该面积单元与四邻共8个方向上的面积单元（假定每个中都含有点）之距

离，倘若在相垂直的 4 个方向上（按照坐标系统依次计为 0，$\pi/2$，π和 $3\pi/2$），其相对距离取数值 1；在斜交的 4 个方向上(按坐标系统依次为$\pi/4$，$3\pi/4$，$5\pi/4$和$7\pi/4$)的相对距离取数值$\sqrt{2}$，参看图 2 的说明。



(A)　　(B)

图 2　相邻含点面积单元之间距离的规定

$A=1$　　$B=\sqrt{2}$

假定所有含点面积单元（先不管其内含点数目的多少）都相邻接时，该种情况下各相邻面积单元之间的总距离，即代表在各类情形下（不同方位角）各相对数值之和：

$$D_0=\sum_{1}^{h}\sum_{\theta=1}^{8}[(d_{ij})_{min}]_{\theta(0,\pi/4,\pi/2,\cdots,3\pi/2,7\pi/4)} \tag{9}$$

式中，D_0表示所有相邻含点面积单元之间的总距离；$(d_{ij})_{min}$表示在不同方位角θ（共 8 个方向）时，最相邻接的那一对含点面积单元之间的距离；h 表示在该统一网络中，能够构成最近邻接状况的总数目（即构成最近邻接面积单元的总“对数”）。

事实上，一对含点面积单元不相邻接（即它们之间隔有空白的不含点的面积单元）的状况多有发生。当在此种情况下计算它们之间的最近距离时，即应对原来假定二者相邻接时$(d_{ij})_{min}$的数值加以必要的订正。按照“引力理论”的基本概念，此时应对 d_{ij}加以一个距离增量Δd，而且规定在垂直方向上，每隔开一个空白面积单元时的距离增量 Δd为1^2，在斜线方向上每隔开一个空白面积单元时的距离增量Δd为（$\sqrt{2}$）^{2}。十分清楚，当此二含点面积单元相邻接时的$\Delta d=0$为特例，于是可以将式(9)写成如下形式：

$$D=\sum_{1}^{h}\sum_{\theta=1}^{8}[(d_{ij}+\Delta d)_{min}]_{\theta(0,\pi/4,\pi/2,\cdots,3\pi/2,7\pi/4)} \tag{10}$$

式中的D当然有别于(9)式中的D_0，它是在处理含点面积单元不相邻接时的总距离。

进一步推论，在统一网络中含点面积单元之间的实际总距离 D_a，除开考虑到含点面积单元所处的位置外（如式(9)、式(10)所表达的那样），还必须考虑每个含点面积单元内所容纳的点的数目。公式(9)和(10)，只是表达了每个含点面积单元内所含点数均相同的情况，因此有必要实施第二级订正。本文引入了概率论的基本概念，以体现由于各面积单元内所含点数不同而引起的距离效应。很容易得到，所含点数不同的两个面积单元所对应的概率分别为p与q，而且$p+q=1$。此时可以认定 $p_i=n_i/\sum_{k=1}^{2}n_k$成立，其中$P_i$为在第$i$个含点面积单元所对应的概率值，$n_i$为在此面积单元中所含的点数；$\sum_{k=1}^{2}n_k$ 表示这一对含点的面积单元

内所包含点的总数。这样，当考察这种更加接近实际的情形下，它们二者之间的真实距离$(d_a)_{ij}$为：

$$(d_a)_{ij}=[(d_{ij}+\Delta d)_{min}]_\theta\cdot\frac{p_i}{q_j}$$

$$=[(d_{ij}+\Delta d)_{min}]_\theta\cdot[\frac{p_i}{(1-p_i)}] \tag{11}$$

式中的$q_j=(1-p_i)$为第j个含点面积单元所占的概率。为了计算上的方便，特别规定$p_i\leqslant(1-p_i)$，即在第i个面积单元中的点数应少于或等于第j个面积单元中的点数，如果不符这种特别规定时，读者只需十分简单地调换一下i与j的顺序即可。显见，当i与j二者所含的点数相同时，(p_i/q_j)即$p_i/(1-p_i)$的比值为1，这是第二级订正中的特例。

对于全部网络而言，其内各含点面积单元之间，两两组成的最近邻接之实际距离总和D_a可以被完整地表述为：

$$D_a=\sum(d_a)_{ij}$$

$$=\sum_1^k\sum_{\theta=1}^8\{[(d_{ij}+\Delta d)_{min}]_{\theta(0,\pi/4,\pi/2,\cdots(3\pi/2),(7\pi/4))}\cdot[\frac{p_i}{(1-p_i)}]\} \tag{12}$$

4. E尺度指标

当生态系统所处空间的统一网络中，每个面积单元均含有一个点时，此时即处于E尺度指标的上限状态。该条件下所得到的实际距离总和被标志为$(D_a)_U$，它可以从公式(12)得出，只是此时的第一级订正$\Delta d=0$，第二级订正$p_i/(1-p_i)=1$。对于理想分布下的Poisson分布，其各含点面积单元之间的距离总和$(D_a)_p$可以表达成如下形式（参看 Taylor, 1977；牛文元,1981）：

$$(D_a)_p=\frac{(D_a)_U}{2\sqrt{n/A}} \tag{13}$$

式中的n与A已在前阐明。此时如把A考虑作为面积单元a乘以其数目，即$A=ar$，我们已经明确规定面积单元数目r等于点数n，同时作为相对数值考虑，面积单元a应为1个单位面积，那么就十分容易得到$(D_a)_p=1/2(D_a)_U$，它说明在Poisson分布时的总距离，恰好为点的均匀分布(E的上限)时总距离的一半。而当所有的点都集中到一个唯一的面积单元之中时（即对于E尺度指标的下限），它的总距离为0，即与周围面积单元不发生任何联系。

这样，当以Poisson分布时的总距离$(D_a)_p$为标准时，E尺度的建立是以$(D_a)_p$为中心，对称地向上限$(D_a)_U$即$2(D_a)_p$和下限零延伸。很显然，如Poisson分布时的$(D_a)_p$处于1的位置，则$(D_a)_U$为2，而$(D_a)_L$（下限）为0。E尺度的表达如下：

$$E=\frac{D_a}{(D_a)_p}=\frac{\sum_1^k\sum_{\theta=1}^8\{[(d_{ij}+\Delta d)_{min}]_\theta\cdot(\frac{p_i}{1-p_i})\}}{\frac{(D_a)_U}{2\sqrt{n/A}}} \tag{14}$$

5. 空间分布系列谱

以下列出一组具有代表性的图式，并依照E值大小的次序排列，以资比较，构成了一个比较完整的呈连续状的空间分布系列谱（图3）。

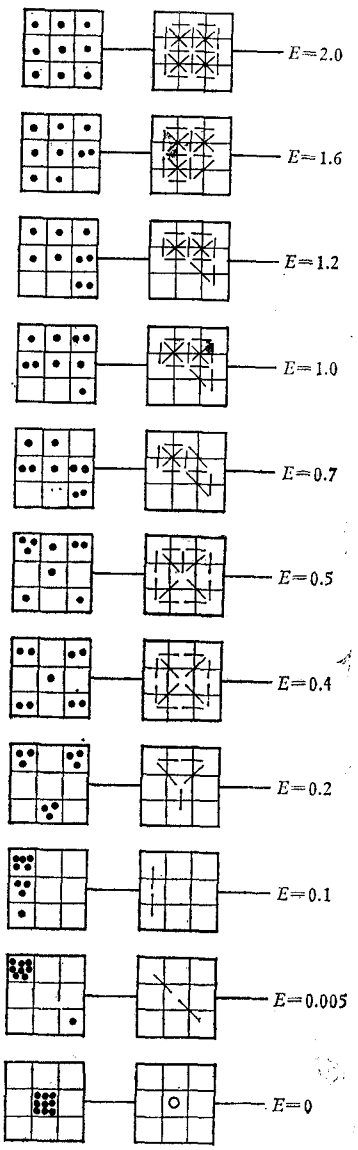


图3 E尺度系列的空间分布谱

三、实 例

在中国境内，选取有代表性的森林生态系统类型，依照前述的方法和程序，计算它们的空间结构特性。从所要举出的例子看到：应用E尺度分析，能够便捷地表达各种生态系统立地环境的空间分布模型，并可将它们在统一的空间分布谱上实行数量比较。尤其当把这些例子和它们的图式标出之后，可以很直观地看出E尺度指标的普适性与精确性。

我们选择海南岛儋县幅（面积为80×80平方公里），用以代表热带常绿雨林及灌木林生态类型；选择云南南部丘北幅（面积为80×80平方公里），用以代表松林生态类型；选择云南南部绿春幅（面积为80×80平方公里），用以代表山地苔藓林与苔藓矮林生态类型；选择东北大兴安岭锡林郭勒幅（面积为80×80平方公里），用以代表落叶阔叶林生态类型；选择新疆准噶尔的和什托洛盖幅（面积为80×80平方公里），用以代表胡杨林生态类型。而后。分别划出其实际分布以及应用E尺度分析时的网络，并且计算出它们向点的数量转换结果。这5个典型地域的不同生态类型的空间结构特性，基本上可以代表全球陆地表面上任何生态类型空间分布的总体特征，这可由图4表达出来（图4）。

由图上所示的顺序，可以发现生态系统的空间结构类型从均匀分布（$E\sim2$，海南岛儋县），下降到一均匀分布与理想分布之间的型式（$E=1.55$，云南南部松林），再到达基本上属于理想的Poisson分布（$E=0.99$，云南南部苔藓林与苔藓矮林），随着E值的继续降低，其空间结构渐趋集簇，如锡林郭勒的落叶阔叶林分布，（$E=0.41$），最后E值降低到下限等于0,所有的点均聚合于唯一的面积单位之中，如新疆的胡杨林。对这些生态类型的实际分布与计算出来的分布作一个对比，读者可以在图4上发现二者精确地相吻合，它反映了E尺度在描述生态系统空间结构上的意义和价值。

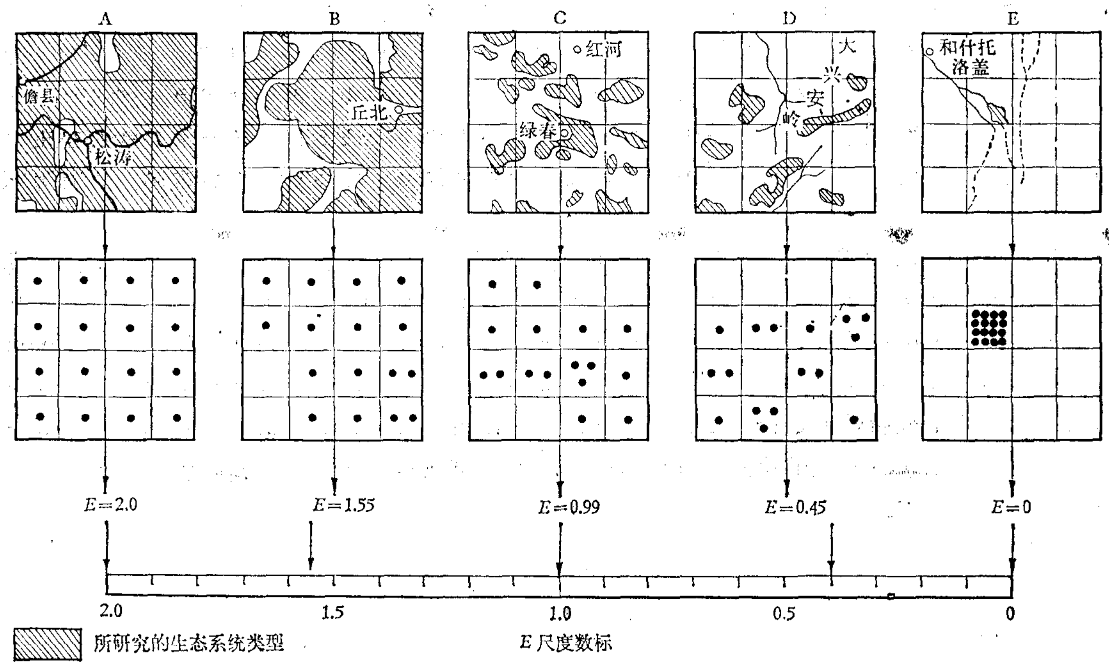


图 4　中国 5 种森林生态类型的E尺度比较。A.海南岛儋县；B.云南丘北；C.云南绿春；D.大兴安岭；E.准噶尔和什托洛盖。

四、结　论

1. 分析生态系统的空间分布，是整个生态学研究领域中的一个重要内容。它既反映了生态系统结构在二维空间的宏观表现，又可以进一步揭示出结构对于生态系统功能的潜在影响。可以认为，生态系统研究的基本结果，能够通过对其空间分布的刻划，显现出对自然界、对人类所具有的价值。这一点，已为IBP和联合国教科文组织的MAB所认识，并反映在他们的研究计划之中。

2. E尺度系列的建立，是以表示Poisson分布的随机状态空间结构为基础的。在这个前提下，应用作者所提出的E 尺度分析方法，推导出对于表达生态系统空间格局具有普遍意义的E尺度系列谱，并得到定量比较空间分布特征的典型模型。

3. 网络的处理对于表达生态系统空间分布的准确性有着十分重要的作用。人所周知，在一个固定的空间地域之中，所划分的面积单元越小，也就是说化为具有数量意义的点相对越多，所描述出的空间分布状态就越逼近所要模拟的生态系统的真实空间结构。但那样一来，计算的工作量也就相对越繁重。在此情形下，如何选取最为合适的网络数目，仍然有待于进行研究。

4. 对于空间距离计算的处理，本文仅仅作出了第一步。如何更精确地判定含点样方向的“吸引力”，除了正文已经提到的两级订正规则外，还应寻求更简洁并具有计算意义的统一公式。在本文中，由于所涉及的空间地域不算太大，作者应用直接读出法进行距离计量，这在面积单元很多的空间网络中就不是一个好方法。在那种情况下，直接读出法既显得繁琐，也

不会准确，这就必须重新设计一个计量程序，借助于电子计算机的帮助去完成。

5. E 尺度系列谱并非是描述生态系统空间分布的唯一模式，但它却是一个很具特色的模式。它的主要特点就在于：将原来无法进行统一定量比较的空间分布型式，概括在一个具有统一标准的数量指标之中，并且完整地、连续地表述了陆地表面各种生态系统类型的空间分布规律。此外，在E 尺度的建立中，理论基础比较坚实，设计程序比较清晰，计算方法比较简单，也是E 尺度指标的优点。

6. 在E 尺度的建立当中，作者在如下几点突破了前人的工作。一是在网络设计的考虑上，选取正方形的面积单元，并使得网络中面积单元数目与所转换的点的数目相等；二是从计量点与点之间的距离改变到计量含点面积单元之间的距离；三是实施了对于原始距离的两级订正，应用了"引力理论"与"概率论"的基本原理，使得距离的得出更为合理；四是完全采用相对数值代替绝对数值，既避免了量测上的困难，又可以为实施计算机的程序计算奠定基础；五是将所有类型的生态空间结构纳入一个系列谱中，揭示了空间结构可以比较的本质。

参 考 文 献

牛文元 1981 自然地理新论。第188—197页，科学出版社。

Greig-Smith, P. 1964 Quantitative Plant Ecology. London, pp.12—15.

Mac Arthur, R.H.1965 Patterns of Species Diversity.*Biol. Rew.* 40:510—533.

Mc Connell, H.and D.W.Yaseen 1971 Models of Spatial Variation.North Illinois Press.pp.84—102.

Morrill, R.L. 1971 On the Arrangement and Concentration of Points in the Plane.cf.Mc connell etc.pp. 29—44.

Taylor, P.J.1977 Quantitative Method in Geography.Houghton Miifflin co. pp.135—192.

Whittaker, R.H. 1970 Communities and Ecosystems.(见姚壁君等译:《群体与生态系统》，科学出版社，1977).

Williams, G.D.V.,etc.1980 Mesoscale Agroclimatic Resource Mapping by Computer an Example for the Peace River Region of Canada.*Agric.Meteor.*21:93—109.

SPATIAL DISTRIBUTION OF VARIOUS ECOSYSTEMS

Niu Wenyuan

(Institute of Geography, Chinese Academy of Sciences)

As an important aspect of ecological researches, the spatial distribution of vavious ecosystems have been studied during the last twenty years. One particularly useful application of spatial patterns analysis is to monitor the dynamic of ecosystems succession. On the other hand, it can be considered as a significant method to classify ecosystems existing in certain geographical regions. By this approach, the stability of ecosystems can be evaluated, and the primary productivity of the ecosystems can be also estimated.

Considering the distribution of points in a plane, the E-index(Executive Index) has been designed with the application of the nearest neighboring analysis, the gravity theory, and probability theory. In this study, the calculation of the E-index spectrum has been listed. The author has adopted the distance between two nearest neighboring quadrats containing points rather than that between two points as a conventional method to make the E-index. Some spatial adjustments and managements of ecosystems in more accurate and efficient ways can be suggested by the threshold of E-index. Applications and verification of the E-index were elucidated by some examples in this paper.