

景观生态空间格局动态度量指标体系

赵景柱

(中国科学院生态环境研究中心, 北京)

摘 要

景观生态空间格局的度量是景观生态学研究的重要基础, 也是景观生态学的核心问题之一。本文建立了度量景观生态空间格局的动态指标体系, 包括类斑均匀度、斑均匀度、类斑散度、斑散度、斑块的贴近度、斑块的形状指标、类斑丰度、斑丰度、带丰度、带斑比、边缘强度、景观网络的连通度和景观网络的环圈度指标等。

关键词: 景观生态学, 空间格局, 指标体系。

景观生态学的内容之一是研究人类社会与其生存空间(景观)之间的相互关系, 它是生态学的一个分支学科。景观生态空间格局分析是景观生态学的核心之一, 如何度量景观生态空间格局是景观生态空间格局分析所要解决的基本问题。分析景观及其组分的大小、数目、形状、分布及组合方式等问题已经有人讨论过^[1-6], 本文的目的就在于进一步完善景观生态空间格局度量指标, 同时建立起一套度量景观生态空间格局的动态指标体系。

一、景观及其组分

景观对于知识背景不同的人可以有不同的理解和涵义。在景观生态学中, 景观是由相互作用和相互影响的生态系统构成的, 是具有高度空间异质性的区域。景观的延伸范围很大, 通常是数平方公里, 甚至更大。景观作为一个整体成为一个系统, 具有一定的结构和功能, 而其结构和功能在外界干扰和其本身自然演替的作用下, 呈现出动态的特征。

从宏观上看, 景观是由镶嵌体 (tessera) 组合而成的, 包括斑块 (patch)、廊带 (corridor) 和衬质 (matrix) 等, 如图 1 所示。

斑块(或补块)是一个与包围它的镶嵌体不同的镶嵌体, 具有相对的匀质性 (homogeneity) 它可以是动物或植物群落, 也可以是岩石、土壤、道路和建筑物等。

衬质(基质或模地)是景观中最广泛和最连

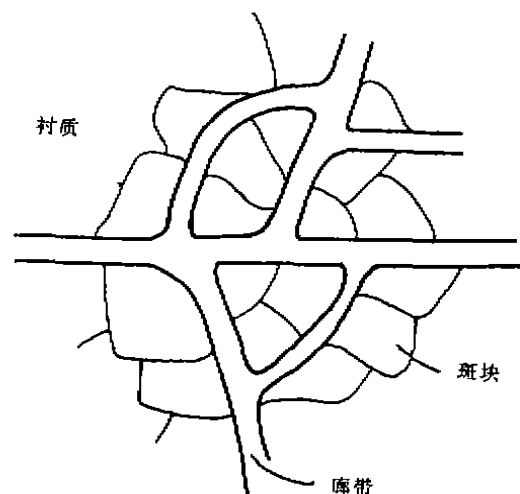


图 1 景观组分简图
Fig.1 Components of landscape

通的部分。

廊带(或廊道)是与两边的衬质不同的, 狭窄带状的镶嵌体。如河流、公路、篱带等。廊带常常互相交接在景观中形成景观网络(landscape network)。

二、动态度量指标体系的建立

为了以下推导和建立景观生态空间格局动态度量指标体系的方便起见, 首先作如下基本设定。

设在时刻 t , 景观中有 k 个廊带,

$$C(t) = (C_1(t), C_2(t), \dots, C_k(t))$$

景观中共有 n 个斑块, n 个斑块可划分为 m 类, $P_i(t)$ 中分别含有 n_i 个斑块。于是得拟矩阵

$$P(t) = \begin{pmatrix} P_1(t) \\ P_2(t) \\ \vdots \\ P_n(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} P_{11}(t) & P_{12}(t) & \dots & P_{1n_1}(t) \\ P_{21}(t) & P_{22}(t) & \dots & P_{2n_2}(t) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{n1}(t) & P_{n2}(t) & \dots & P_{nn_n}(t) \end{pmatrix}$$

显然, $n = \sum_{i=1}^m n_i$

设整个景观的面积为 $S(t)$, 斑块 $P_{ij}(t)$ 的面积为 $H_{ij}(t)$, 廊带 $C_i(t)$ 的面积为 $A_i(t)$ 。下面将分别讨论指标体系中的指标。

1. 类斑匀度为景观中某一类斑块大小的均匀程度。第 i 类斑块 $P_i(t)$ 的类斑匀度指标为

$$h_i(t) = \left[\frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} (H_{ij}(t) - \bar{H}_i(t))^2 \right]^{1/2}, \quad i=1, 2, \dots, m \quad (1)$$

2. 斑匀度为景观中的全部斑块大小的均匀程度, 其度量指标为

$$H(t) = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n_i} (H_{ij}(t) - \bar{H}(t))^2 \right]^{1/2} \quad (2)$$

通过类斑匀度和斑匀度这两个指标, 可以看出同一类斑块演替的共同点和不同点, 也可以比较出不同类斑块演替的相同和相异之处, 从而可以总结出斑块演替规律和开发规律。

3. 类斑散度指某一类斑块在景观中分布的离散程度, 其度量指标为

$$D_i(t) = \frac{1}{n_i \cdot S(t)} \left[\sum_{j=1}^{n_i} ((x_{ij}(t) - \bar{x}_i(t))^2 + (y_{ij}(t) - \bar{y}_i(t))^2) \right]^{1/2} \quad (3)$$

4. 斑散度是指全部斑块在景观中分布的离散程度, 其度量指标为

$$D(t) = \frac{1}{n \cdot S(t)} \left[\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n_i} ((x_{ij}(t) - \bar{x}(t))^2 + (y_{ij}(t) - \bar{y}(t))^2) \right]^{1/2} \quad (4)$$

类斑散度和斑散度数值的大小表明了斑块之间的离散程度。斑块分布的离散程度对景观生态系统中的物质流、能量流和信息流的传递和交换有着重要的影响。

5. 斑块贴近度是指某斑块 $P_{i \cdot j}$ 与其它所有斑块的贴近和影响程度, 它反映了该斑块在景观中的地位、作用及对其它斑块的制约和影响程度, 其度量指标为:

$$A_{i_0j_0}(t) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{n_i} [(x_{ij}(t) - x_{i_0j_0}(t))^2 + (y_{ij}(t) - y_{i_0j_0}(t))^2]^{1/2} \quad (5)$$

6. 斑块形状指标是生态学的空间分析中较为重要的一项指标, 对景观的功能发挥有着重要的制约作用。

关于斑块的形状度量指标已经有一些学者对其进行过研究^[2], 并提出了一些相应的指标。这里设斑块 $P_{ij}(t)$ 的形状指标为 $S_{ij}(t)$ 。

7. 类斑丰度是指某一类斑块在景观中的稠密性, 其度量指标为

$$B_i(t) = (1 - \frac{1}{n_i}) \frac{1}{S(t)} \sum_{j=1}^{n_i} H_{ij}(t), \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (6)$$

8. 斑丰度是指全部的斑块在景观中的稠密程度, 其度量指标为

$$B(t) = (1 - \frac{1}{n}) \frac{1}{S(t)} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{n_i} H_{ij}(t) \quad (7)$$

类斑丰度和斑丰度综合斑块的数量和面积两方面因素, 来反映斑块在景观中的丰度和地位。

9. 带丰度是指景观中所有的廊带在景观中的稠密程度, 它从数量和面积两个方面同时反映廊带在景观空间中的比重和地位, 它对景观生态系统中生态流的作用至关重要, 其度量指标为

$$R(t) = (1 - \frac{1}{k}) \frac{1}{S(t)} \sum_{i=1}^k A_i(t) \quad (8)$$

10. 带斑比是要表明景观中廊带与斑块在景观中稠密程度的比例关系和作用的强弱, 其度量指标为

$$F(t) = R(t)/B(t) \quad (9)$$

11. 边缘强度是指两个斑块之间交错过渡的强弱程度, 它度量斑块间交错带的脆弱程度。斑块 P_{ij} 与 P_{pq} 间边缘强度指标为

$$E_{ij,pq}(t) = [M(P_{ij}(t) \cap P_{pq}(t))]/H_{ij}(t) \quad (10)$$

其中 $M(P_{ij}(t) \cap P_{pq}(t))$ 表示斑块相交部分的面积。

12. 景观网络的连通度是指景观网络在景观中的连通程度。设景观网络由 $G(t)$ 个分离的连通子网构成, 且含有 $V(t)$ 个顶点, $L(t)$ 个连边, 则连通度指标为

$$N_1(t) = [L(t) - (G(t) - 1)]/[3(V(t) - 2)] \quad (11)$$

13. 景观网络的环圈度是要表明景观网络中环圈构成的程度, 其度量指标为

$$N_2(t) = [L(t) + G(t) - V(t)]/[2V(t) - 5] \quad (12)$$

景观网络的连通度和环圈度是景观生态空间格局研究中极为重要的两个指标。它们数值的大小不仅反映了景观的疏通程度, 而且也反映了生态流在景观中的传输效率。

四、动态指标序列的讨论

以上已经分别地讨论了指标体系中的每一项指标, 这些指标各自从某一侧面反映了景观

生态空间格局的性质和特点。为了能够全面综合地讨论景观生态空间格局, 需要将这些指标统一起来。为此, 设

$$I_1(t) = (h_1(t), h_2(t), \dots, h_n(t)),$$

$$I_2(t) = H(t),$$

$$I_3(t) = (D_1(t), D_2(t), \dots, D_n(t)),$$

$$I_4(t) = D(t),$$

$$I_5(t) = \begin{pmatrix} A_{11}(t) & A_{12}(t) & \dots & A_{1n_1}(t) \\ A_{21}(t) & A_{22}(t) & \dots & A_{2n_2}(t) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ A_{n_1}(t) & A_{n_2}(t) & \dots & A_{nn}(t) \end{pmatrix},$$

$$I_6(t) = \begin{pmatrix} S_{11}(t) & S_{12}(t) & \dots & S_{1n_1}(t) \\ S_{21}(t) & S_{22}(t) & \dots & S_{2n_2}(t) \\ \vdots & \vdots & \dots & \dots \\ S_{n_1}(t) & S_{n_2}(t) & \dots & S_{nn}(t) \end{pmatrix},$$

$$I_7(t) = (B_1(t), B_2(t), \dots, B_n(t)),$$

$$I_8(t) = B(t), \quad I_9(t) = R(t), \quad I_{10}(t) = F(t),$$

$$I_{11}(t) = \begin{pmatrix} E_{11,11}(t) & E_{11,12}(t) & \dots & E_{11,1n_1}(t) & \dots & E_{11,nn}(t) \\ E_{12,11}(t) & E_{12,12}(t) & \dots & E_{12,1n_1}(t) & \dots & E_{12,nn}(t) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ E_{1n_1,11}(t) & E_{1n_1,12}(t) & \dots & E_{1n_1,1n_1}(t) & \dots & E_{1n_1,nn}(t) \\ E_{21,11}(t) & E_{21,12}(t) & \dots & E_{21,1n_1}(t) & \dots & E_{21,nn}(t) \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots & \vdots \\ E_{nn,11}(t) & E_{nn,12}(t) & \dots & E_{nn,1n_1}(t) & \dots & E_{nn,nn}(t) \end{pmatrix}$$

$$I_{12}(t) = N_1(t), \quad I_{13}(t) = N_2(t),$$

再记

$$I(t) = (I_1(t), I_2(t), \dots, I_{13}(t)),$$

于是可得两种动态指标序列, 一种是单项动态指标序列 $\{I_i(t)\} (i=1, 2, \dots, 13)$, 另一种是总体动态指标序列 $\{I(t)\}$ 。

通过 $\{I_i(t)\}$ 和 $\{I(t)\}$, 可以分别从某一侧面和总体上体现出景观生态空间格局的演替规律和开发规律, 其动态性恰好反映了景观受外界干扰和自身演替所具有的动态性质。我们把同一空间在不同时段上的变化, 通过航空照片、卫星影象记录下来, 再利用所述的指标体系进行度量, 即可把它们随时间变化的轨迹揭示出来。这样, 只要对 $\{I(t)\}$ 长期进行统计、计算和积累, 就可以依此进行景观生态区划、生态规划、生态监测、生态预测、生态影响评价等, 从而对景观生态空间作出有目的和适时的调控, 促进和保证对景观区域自然资源的开发、改善和保护以及经营和管理, 使景观区域的社会经济得到持续发展。

参 考 文 献

- [1] 牛文元, 1989, 生态环境脆弱带(ECOTON)的基础判定. 生态学报 9(2):97—105.
[2] 牛文元, 1987, 现代应用地理. 科学出版社.
[3] Forman, R. T. T. and M. Godron, 1986, Landscape Ecology. John Wiley & Sons.
[4] Forman, R. T. T. and M. Godron, 1981, Patches and structural components for a landscape ecology. *BioSci.* 31:733—740.
[5] Naveh, Z. and A. S. Lieberman, 1984, *Landscape Ecology: Theory and Application*. Springer Verlag, New York.

DYNAMIC INDICATOR SYSTEM FOR MEASUREMENT OF SPATIAL PATTERN IN LANDSCAPE ECOLOGY

Zhao Jingzhu

(Research Center for Eco-Environmental Sciences, Academia Sinica)

The measurement of spatial pattern in landscape ecology is an important basis for the spatial pattern analysis of landscape ecology, and one of the key issues in landscape ecology. In this paper, the dynamic indicator system for measurement of spatial pattern in landscape ecology is established, including homogeneity, divergence and richness of one kind of patches; homogeneity, divergence and richness of all patches; patch accessibility; patch shape index; corridor richness; corridor/patch ratio; edge intensity; network connectivity; and network circuitry.

Using the indicator system, different spatial pattern of different landscapes can be compared. Based on the dynamic sequence of the indicator system, not only the situation of spatial pattern in different periods but also the evolution trend of landscape can be known. Therefore, it is possible to forecast in time the spatial pattern of landscape that in turn can be regulated for optimum utilization of landscape. The indicator system for measurement of spatial pattern in landscape ecology is necessary and significant in theory and practice of landscape ecology, and is the main basis for the identification, forecasting and regulation of landscape.

Key words: landscape ecology, spatial pattern, indicator system.