

# 景观格局的数量研究方法

张金屯, 邱扬, 郑凤英

(山西大学黄土高原研究所, 山西太原 030006)

**摘要:**依据景观格局数量方法的研究进展,从单个斑块特征分析、单一景观要素的格局分析及景观镶嵌体特征分析三方面介绍了数量分析方法,并介绍最常用的和近年来发展的新方法。

**关键词:**景观生态学;格局分析;数量方法;景观要素;镶嵌结构

**中图分类号:** O211.61;X4      **文献标识码:** A

景观生态学(landscape ecology)是一门较新的生态学分支学科,因此,对其概念的理解有较大差异<sup>[1]</sup>。较为普遍接受的概念认为景观生态学是研究景观结构(structure)、功能(function)和动态变化(change)的科学。景观结构和功能是与景观要素(element)、景观要素斑块(patch)、本底(matrix)、廊道(corridor)、交错区(ecotone)以及它们的相互配置格局(pattern)密切相关的<sup>[2]</sup>。在诸多影响景观结构的因子中,景观格局(landscape pattern)是最主要的,所以,有人认为现代景观生态学研究的焦点是在较大的空间和时间尺度(scal)上研究生态系统的空间格局和生态过程<sup>[3]</sup>。

景观格局一词是在景观生态学文献中使用频率最高的术语之一<sup>[2,4]</sup>。由此可以说明它的重要性。景观格局包括空间格局和时间格局,但只要对空间格局搞清楚了,时间格局是不难理解的,这里主要考虑空间格局(space pattern)。景观空间格局主要是指大小和形状不一的景观斑块在空间上的排列,它是景观异质性(heterogeneity)的重要表现,同时又是各种生态过程在不同尺度上作用的结果。对景观格局研究的目的是在似乎由无序的斑块镶嵌而成的景观上,发现其潜在的有意义的规律性。通过景观格局分析,希望能确定产生和控制空间格局的因子及其作用机制<sup>[5]</sup>,比较不同景观镶嵌体的特征和它们的变化,探讨空间格局的尺度性质,并为景观的合理管理提供有价值的资料<sup>[6]</sup>。

景观格局是生态学家研究最多的课题之一,早在 50 年代就进行了大量的描述性研究<sup>[1]</sup>,但数量化研究是 70 年代才逐渐重视起来,近年来景观格局数量研究有了重大发展,出现了大量的数量化方法<sup>[2,7]</sup>。我国生态学者大都对这些方法尚不熟悉。本文主要介绍景观格局研究的数量方法。景观格局主要是由斑块大小和形状、斑块分布、斑块镶嵌结构为主要特征的,所以,这里将以这样的思路分层次逐一介绍研究这些格局特征的方法。

## 1 单个斑块特征分析

对于某一景观要素的一个斑块,其特征主要是斑块的形状和大小。形状和大小可能是景观要素特性的反映,同时也受局部的环境因子的影响,具有重要的生态意义。斑块大小很易实测得到,但对于其形状,由于变化大,复杂多样,难以确切地直接计测,一般多用各种指数描述<sup>[3]</sup>。这些指数有:长宽比—指斑块长轴与宽度的比值;伸长度(elongation)—是斑块宽度与长度比;圆环度(circularity)—是斑块形状接近圆圈的程度;致密度(compactness)—描述斑块面积与其边缘周长的关系,而其倒数称做扩展度(development)。另外还有周长与长轴的比和平均半径等指数。下面公式中的符号: $l$ 为斑块长轴长度, $w$

收稿日期:1999-02-13;改回日期:1999-11-30。

基金项目:山西省自然科学基金(991100)与山西省学科带头人基金(97-06)资助。

作者简介:张金屯(1957-),男(汉族),山西夏县人,博士、教授、博士生导师。主要从事植被生态、数量生态、景观生态的教学与研究工作,已发表论文 80 余篇,出版专著 2 本,合作专著 4 本,获科技奖 4 项。

为宽度;  $A$  为斑块面积,  $A_c$  为斑块  $A$  内所能容纳下的最大的圆圈面积;  $P$  为斑块周长,  $P_c$  为与斑块面积相同的圆圈的周长;  $\bar{R}$  为斑块平均半径,  $R_j$  为多边形斑块第  $j$  个边距斑块中心的距离(半径);  $n$  为多边形斑块的边数。

$$1) \text{ 长宽比 } r \text{ (Davis 1986)} \quad r = l/w \quad (1)$$

$$2) \text{ 伸张度 } E \text{ (Davis 1986)} \quad E = w/l \quad (2)$$

3) 圆环度  $C$

$$\text{a. Davis(1986) 圆环度指数} \quad C = \sqrt{lw/l^2} = \sqrt{w/l} \quad (3)$$

$$\text{b. Griffith(1982) 圆环度指数} \quad C = 4A/P^2 \quad (4)$$

$$\text{c. Unwin(1981) 圆环度指数} \quad C = \sqrt{A/A_c} \quad (5)$$

$$4) \text{ 致密度 } K \text{ (Bosch 1978)} \quad K = 2 \sqrt{A/P} \quad (6)$$

$$5) \text{ 扩展度 } D \text{ (Patten 1975, Taylor, 1977)} \quad D = P/2 \sqrt{A} \quad (7)$$

$$6) \text{ 周长与长轴比 } r_p \text{ (Davis 1986)} \quad r_p = P/l \quad (8)$$

$$7) \text{ 平均半径 } \bar{R} \text{ (Auston 1984)} \quad \bar{R} = R_j/n \quad (9)$$

## 2 单一景观要素的格局分析

单一景观要素,比如说某一植被类型,可由各种大小参差、形状不一的斑块有机地结合起来而形成自己的格局,这样的格局反映了景观要素的自身特征,同时也反映了景观本底的空间变化,还反映了景观要素之间的相互关系以及各种生态因子对格局的影响<sup>[3]</sup>。在景观生态学中,这一类景观格局最为重要,是研究最多的格局,相应地研究方法也是比较成熟的。

### 2.1 连续样方方差分析

连续样方方差分析和第一个方法是由 Greig-Smith<sup>[5]</sup>提出来的,经 Kershaw<sup>[5]</sup>、Hill<sup>[8]</sup>、Goodall<sup>[5]</sup>等人的发展而产生了多个方法<sup>[9]</sup>。这一类方法要求景观上的样方在空间上是互相连接的,一般用由小样方组成的样带或由小样方组成的网格取样,并将样方合并成不同大小的区组,针对不同区组大小而进行方差分析,结果用区组-方差图表示,可求得格局的规模(scale)或强度(intensity)。这类方法在研究景观中植物种群格局中应用最为广泛。双向轨迹方差法<sup>[11]</sup>主要是计算各区组的方差

$$Vb = \frac{n-2b-1}{j=0} \sum_{i=j+1}^{j+b} (x_i - x_{i+b})^2 / 2b(n+1-2b) \quad (10)$$

式中  $Vb$  是区组  $b$  的方差,  $x_i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ) 代表第  $i$  个连续小样方的景观要素观测值(如种群密度、植被盖度、土壤化学成分等)。分析结果用区组大小为横坐标,方差为纵坐标,绘制区组-方差图。图上峰值所对应的区组大小代表着格局的规模。如果两类景观要素具有一致的格局规模(如植被和土壤),说明二者有相互依赖的生态关系。

### 2.2 空间自相关分析

空间自相关分析(spatial autocorrelation analysis)是检验某一景观要素的观测值是否显著地与其相邻空间点上的观测值相关联<sup>[10]</sup>。如果相邻两点上的值均高或均低,则我们称其为空间正相关,否则称为空间负相关。空间自相关分析在景观生态学中应用较多,现已有多种指数可以使用,但最主要的有两种指数,即 Moran 的  $I$  指数和 Geary 的  $C$  指数

$$I = \frac{N \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N W_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N W_{ij} (x_i - \bar{x})^2} \quad (i, j) \quad (11)$$

$$C = \frac{(n-1) \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N W_{ij} (x_i - x_j)^2}{2 \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N W_{ij} (x_i - \bar{x})^2} \quad (i, j) \quad (12)$$

式中  $x_i$  和  $x_j$  分别代表景观要素  $x$  在空间单元  $i$  和  $j$  中的观测值,  $\bar{x}$  为  $x$  的平均值,  $W_{ij}$  为相邻权重,  $N$

为空间单元总数。这里,  $I$  指数与统计学上的相关系数相近, 其值变化于  $0 \sim 1$  间。当  $I=0$  时代表空间无关, 当  $I>0$  为正相关, 而  $I<0$  时为负相关。C 值变化于  $0 \sim 3$  间,  $C<1$  时为正相关, C 值越大, 相关性越小<sup>[10]</sup>。

自相关系数可以与尺度结合起来, 以分析不同尺度下的空间相关关系, 这样的结果可以用尺度—自相关系数图表示, 其可以直观地看出空间相关性随尺度的变化。

### 2.3 变量图和相关图分析

变量图 (variogram) 和相关图 (correlogram) 是地统计学的两种方法。变量图是分析某一景观要素在空间的变异性, 其可定义为

$$r(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^N [x(i) - x(i+h)]^2 \quad (13)$$

式中  $r(h)$  为变异指数,  $h$  为两点间的距离,  $x(i)$  和  $x(i+h)$  分别代表景观要素在空间两点  $i$  和  $i+h$  上的观测值,  $N(h)$  为距离为  $h$  时的样本总对数。由于这里有  $1/2$  因子, 有的学者称其为半变量图 (semi-variogram)。在取不同的  $h$  值时, 可求得不同的变异指数, 从而绘图得到变量图, 其可反映尺度变化与格局的关系<sup>[11]</sup>。

相关图是描述景观要素的空间相关性, 与自相关分析有类似之处, 它用下式定义

$$C(h) = \frac{\frac{1}{N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [x(i)x(i+h)]^2 - \bar{x}^2}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [x(i)]^2 - \bar{x}^2} \quad (14)$$

式中  $C(h)$  为相关图相关系数,  $h$ 、 $x(i)$ 、 $x(i+h)$  和  $N(h)$  的含义同 (13) 式,  $\bar{x}$  为  $x$  的平均值。有不同的  $h$  值求得的相关系数可绘出相关图。同样, 相关图可反映空间尺度变化与相关性的关系。

### 2.4 空间插值法

空间插值法 (Kriging) 也是地统计学方法, 它是用以估计空间某一点上景观要素的值, 其估计方程

$$\hat{X}(j) = \sum_{i=1}^n \lambda_i X(i) \quad (15)$$

式中  $X(i)$  是景观要素在  $i$  点上的观测值,  $\hat{X}(j)$  为其在点  $j$  上的估计值,  $\lambda_i$  是与  $X(i)$  有关联的加权系数。 $\lambda_i$  的值可以通过变量图或相关图计算值, 再用线性方程组解出。可以证明, 空间插值法估计值是最优无偏估计值<sup>[12]</sup>。

### 2.5 谱分析法

谱分析法 (spectral analysis) 是以光谱理论为基础而发展起来的, 是 Ripley<sup>[9]</sup> 首先在生态学中应用的。该方法可以用连续样方的观测值, 也可以用分离观测点值。对于一个由  $n$  个连续小样方  $x_1, x_2, \dots, x_n$  来说, 有关系

$$X_j = C_0 + \sum_{j=1}^{\frac{n}{2}-1} \{ C_j \cos(\frac{2-ij}{n}) + S_j \sin(\frac{2-ij}{n}) \} + C_{n/2} (-1)^i \quad (16)$$

式中  $j$  为区组大小或空间距离, 可以取  $1$  到  $(n/2) - 1$  间的任何值。 $C_k$ 、 $S_k$  可分别计算  $C_0 = (x_1 + x_2 + \dots + x_n) / n$ ,  $C_j = \{ \sum_{i=1}^n x_i \cos(\frac{2-ij}{n}) \} \frac{2}{n}$ ,  $S_j = \{ \sum_{i=1}^n x_i \sin(\frac{-ij}{n}) \} \frac{2}{n}$ , 再计算周期图, 其反映某一因子的周期性变化

$$I_j = (C_j^2 + S_j^2) n / 8 \quad (17)$$

周期图就可以反映景观格局的变化规律。该方法更适合于分析周期性波动的景观格局。

### 2.6 小波分析

小波分析 (wavelet analysis) 是 Morlet<sup>[13]</sup> 首先使用的方法, 用于研究景观要素在多个尺度上的特征。其波值  $W(a, x_j)$  是由一系列卷积函数 (convolutionary function) ( $f(x_j)$ ), 同相应空间尺度上的窗函数的乘积而求出, 其公式为

$$W(a, x_j) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \sum_{i=1}^n f(x_j) g(x_i - x_j) \quad (18)$$

式中  $x_j$  为窗函数的中值,  $g(x_i - x_j)$  为窗函数,  $a$  表示尺度。Bradshaw 和 Spies 用小波分析研究了花旗松 (*Pseudotsuga mesizii*) 林的林窗结构与尺度的关系,取得了较好的效果。该方法的详细推导过程参见 Morlet 的文章<sup>[13]</sup>。

## 2.7 分形分析

分形分析 (fractal analysis) 也有叫分维分析的,它是以分形几何为基础的,由 Mandelbrot<sup>[14]</sup>所创立。分形几何在考虑空间尺度时更有效<sup>[14]</sup>,在景观生态学中,其可用于研究不规则景观斑块的周长、廊道(河流、小路等)的长度,还可研究斑块面积与周长的关系等。这里我们只介绍分析格局规模的方法。该方法重要的是确定格局的分维数 (fractal dimension), 可以用下面式子描述

$$D = 2 - \log r_h / 2 \log h \quad (19)$$

式中  $r_h$  为半方差,相当于变量图中的变异系数,  $h$  为空间距离(尺度),  $D$  代表分维数。用分形分析,我们可以求得任何景观要素的分维数  $D$ , 确定其格局特征,同时可以比较不同景观要素的格局特征,以及确定不同生态因子对景观格局的影响。比如,若植被要素与某土壤要素具有相同的  $D$  时,说明二者有一致的格局。

## 2.8 斑块间隙分析

斑块间隙分析 (patch gap analysis) 是研究同一类景观要素斑块的分离程度,也就是分析其间隙大小的,间隙大小是格局的重要特征。主要用两种指数描述,一是最近距离指数 (nearest neighbor index), 二是连接指数 (proximity index)

$$I = \overline{D_0} / \overline{D_E} \quad (20)$$

式中  $I$  是最近距离指数,  $\overline{D_0}$  是斑块与其最近相邻斑块间距离观测值的平均,  $\overline{D_E}$  是在随机分布下  $\overline{D_0}$  的期望值(理论估计值)<sup>[31]</sup>, 它们可以用下式计算

$$\overline{D_0} = \frac{N}{i=1} D_0(i) / N, \quad \overline{D_E} = \frac{1}{2} \sqrt{d}$$

式中  $D_0(i)$  是第  $i$  个斑块与其最近相邻斑块间的距离,注意这里距离应从斑块中心测起,  $d$  为斑块密度,它等于  $d = N/A$ ,  $N$  为斑块数,  $A$  为所研究景观的面积。当  $I = 1.0$  时,斑块为随机分布,  $I < 1.0$  时斑块趋于群集;若  $I = 0$ , 则斑块没有间隙,  $I > 1.0$  时,斑块则趋于规则分布。

连接指数可由下式确定

$$P = \frac{N}{i=1} \left[ \left( A(i) / D_0(i) \right)^2 / \left( \frac{N}{i=1} A(i) / D_0(i) \right)^2 \right] \quad (21)$$

式中  $A(i)$  为第  $i$  个斑块的面积,  $P$  为连接指数,其它符号同(20)式。 $P$  值介于 0~1 间,  $P$  值越大,说明斑块聚集程度超高。

## 2.9 趋势面分析

趋势面分析 (trend surface analysis) 是 Gttings<sup>[15]</sup>首次使用的,用于描述景观要素在空间大尺度上的变化趋势。趋势面分析是将取样点的空间位置作为坐标轴,比如东西向作为  $U$  轴,南北向作为  $V$  轴,观测点的坐标值记为  $(U_j V_j)$ , 景观要素观测值记为  $X_j = X(U_j V_j)$  ( $j = 1, 2, 3, \dots, N = \text{观测点数}$ )。格局的变化可以有多种拟合方法,多项式法即多元回归法用的最多。拟合值称作趋势值。多项式拟合公式

$$X(U_j V_j) = \sum_{ij} U_i V_j \quad (22)$$

拟合结果可以用趋势分析图表示,它可以直观地反映景观要素在空间的变化趋势。该方法在研究景观中植物种群变化趋势中用得较多<sup>[1,2,10]</sup>。

## 3 景观镶嵌体特征分析

在景观中,各种景观要素的斑块交错分布,有机地结合在一起就形成了景观镶嵌体 (mosaic)<sup>[3]</sup>。镶嵌结构是景观的最主要特征之一,有人认为景观生态学的实质就是研究景观镶嵌体结构的,因为景观就是各种各样的镶嵌体<sup>[3]</sup>。景观镶嵌体的格局特征反映了各景观要素的特征,也反映了景观要素之间的相互关系,同时反映了景观本底空间差异。对景观镶嵌体的研究主要有一些指数,现简述如下:

### 3.1 景观多样性

景观多样性 (landscape diversity) 是景观要素丰富性及其分布特性的综合反映,它与景观中各种环境因子有密切关系。其主要用多样性指数、优势度 (dominance) 指数、相对丰富度 (relative richness) 指数和相对均匀度 (relative evenness) 指数描述。

(1) 多样性指数  $H^{[7,16]}$ , 它是景观斑块丰富程度和均匀程度的综合反映

$$H = - \sum_{i=1}^s P_i \ln P_i \quad (23)$$

式中  $s$  为景观斑块类型 (或生态系统) 的数目,  $P_i$  为第  $i$  类斑块面积占景观总面积的比例。

(2) 优势度指数  $D^{[16]}$ , 指某一类景观斑块占优势的程度

$$D = \ln S + \sum_{i=1}^s P_i \ln P_i \quad (24)$$

(3) 相对丰富度指数  $R^{[16]}$ , 反映景观斑块类型的丰富程度

$$R = S / S_{\max} \times 100 \% \quad (25)$$

式中  $s$  同式 (23),  $S_{\max}$  为斑块类型的最大可能数, 依景观类型凭经验确定。

(4) 相对均匀度指数  $E^{[7,16]}$ , 反映各景观斑块类型分布的均匀程度

$$E = H_2(j) / H_2(\max) \times 100 \% \quad (26)$$

式中  $H_2 = - \ln \sum_{i=1}^s P_i^2$ ,  $H_2(j)$  是景观  $j$  的修订的 Simpson 优势度,  $H_2(\max)$  为含  $s$  个斑块类型的景观  $j$  的最大可能的  $H_2$ , 就是说当所有斑块大小相等的  $H_2$  值。

### 3.2 景观边界 (landscape boundary)

(1) 边缘率指数 (Edge ratio)  $E_{i,j}^{[12]}$

$$E_{i,j} = e_{i,j} \times l \quad (27)$$

式中  $e_{ij}$  代表含有斑块类型  $i$  和  $j$  交界面的水平和垂直的格子数,  $l$  为一个格子的边长。不同大小的格子可用于测定不同尺度下的边缘率。

(2) 相对相异度指数 (Relative dissimilarity)  $P^{[7,17]}$

$$P = \left( \sum_{i=1}^N D_i / N \right) \times 100 \% \quad (28)$$

式中  $N$  为相邻格子中边界类型数目,  $D_i$  为相邻格子中第  $i$  类边界的相异系数。

对于景观边界, 还可以测定单位面积内的边界总长度和单位面积内的边界数, 分别称做边界长度和边界密度, 这里不再赘述。

### 3.3 斑块格局指数

(1) 斑块隔离度指数  $I$  (isolation)  $^{[1]}$

$$I = \left( \frac{2}{x} + \frac{2}{y} \right) \quad (29)$$

这里将所有的景观斑块都放置在由  $X$  轴和  $Y$  轴组成的分成格子的二维空间之中, 然后依据格子分别计算所有斑块  $X$  轴坐标值和  $Y$  轴坐标值的方差  $\frac{2}{x}$  和  $\frac{2}{y}$ 。该指数可反映景观斑块的大小。

(2) 斑块蔓延度指数  $C$  (contagion)  $^{[7,18]}$

$$C = 2 S \log S + \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^s q_{ij} \log q_{ij} \quad (30)$$

式中  $s$  同式 (23),  $q_{ij}$  是第  $i$  类斑块与第  $j$  类斑块为邻的比率 (概率)。该指数反映两类景观要素的关系。同理, 该公式可以扩展到多个类型关系的分析。

(3) 景观斑块破碎性指数  $F$  (fragmentation)  $^{[19]}$

$$F = (N_p - 1) / N_c \quad (31)$$

式中  $N_p$  是各类斑块的总数,  $N_c$  是观测网格中的格子总数。  $F$  值越大, 说明景观破碎性越高, 即斑块较小, 数量较多。(31) 式也可以考虑斑块的平均面积  $\bar{A}$ , 则式子应为

$$F = \bar{A} (N_p - 1) / N_c \quad (32)$$

## 4 结 语

景观生态学现正处在蓬勃发展的新阶段,景观格局研究也越来越受到人们的重视<sup>[20~23]</sup>。有关格局分析的方法还很多,这里提及的是主要的和常用的,有的是近年来才发展的新方法,它们代表着一定的发展方向。在实际研究中,要解决某一方面的研究问题,这里提供的方法已基本可以满足需要。若要了解更多的分析方法或想搞清楚这些方法的数学原理和推导,可参考文献<sup>[2,7,16~18]</sup>。

景观格局研究方法的计算一般不太复杂,用统计学软件均能完成。在国际上也有一些专门进行格局分析的软件包,比如 FRAGSTAS (Mc Garigal 等 1993)、SPANS (Turner 等 1988)、SPATIAL (Marks 1989)、LSPA (Li 1989) 等。这些软件的信息可以向原作者函索。

另外,在景观格局分析中一个有用的计算机系统就是地理信息系统 (Geographical Information System, GIS),它不但可以将景观格局数字化、分析并输出分析图,而且可以对图形进行迭加、网格分析、邻区比较等处理,工作效率较高。

### 参考文献:

- [1] Forman, R. and Godron. Landscape Ecology[M]. New York: Wiley & Sons, 1986.
- [2] Turner, M. G. and R. H. Gardner (eds.). Quantitative methods in landscape ecology[M]. New York: Springer-Verlag, 1991.
- [3] Forman, R. Land mosaics, the ecology of landscapes and regions [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1995.
- [4] Wines J. A. The analysis of landscape patterns: interdisciplinary seminar in ecology[M]. Colorado: Colorado State University, 1988.
- [5] Greig-Smith, P. Quantitative plant ecology[M]. London: Blackwell, 1983.
- [6] 肖笃宁. 景观生态学: 理论、方法及应用[M]. 北京: 中国林业出版社, 1991.
- [7] Turner, M. G. Landscape ecology: the effect of pattern on process[J]. *Annual Review of Ecology Systematics*, 1989, (20): 171 ~ 197.
- [8] Hill, M. O. The intensity of spatial pattern in plant communities[J]. *J. Ecol*, 1973, 61: 225 ~ 235.
- [9] 张金屯. 植被数量生态学方法[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1995.
- [10] Cliff, A. D. and J. K. Ord. Spatial Processes[M]. London, Pion, 1981.
- [11] Legendre, P. and M. Fortin. Spatial pattern and ecological analysis[J]. *Vegetatio*, 1989, 80: 107 ~ 138.
- [12] Webster, R. Quantitative spatial analysis of soil in the field[J]. *Advanced Soil Science*, 1985, (3): 1 ~ 70.
- [13] Morlet J. et al. Wave propagation and sampling theory[J]. *Geophysics*, 1982, 47: 203 ~ 236.
- [14] Mandelbrot, B. B. Fractal geometry of nature[M]. San Francisco, Freeman, 1982.
- [15] Gttns, R. Trend-surface analysis of ecological data[J]. *J. Ecol*, 1968, 56: 845 ~ 869.
- [16] Romme, W. H. Fire and landscape diversity in subalpine forests of Yellowstone National Park[J]. *Ecological Monograph*, 1982, (52): 199 ~ 221.
- [17] Pielou, E. C. Mathematical ecology[M]. New York: Wiley and Sons, 1977.
- [18] Oneill, R. V. et al. Indices of landscape pattern[J]. *Landscape Ecology*, 1988, (1): 153 ~ 162.
- [19] Li, H. Spatio-temporal pattern analysis of managed forest landscapes[D]. Ph. D Thesis, Oregon: The Oregon State University, 1989.
- [20] 阳含熙, 卢泽愚. 植物生态学的数量分类方法[M]. 北京: 科学出版社, 1982.
- [21] 刘建国. 当代生态学博论[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1995.
- [22] 李博主. 现代生态学讲座[M]. 北京: 科学出版社, 1995.
- [23] 方精云. 植物气候生态位及三维空间分布的图示化[J]. *山地学报*, 1999, 17(1): 34 ~ 39.

## QUANTITATIVE METHODS IN LANDSCAPE PATTERN ANALYSIS

ZHANG Jin-tun , QIU Yang , ZHENG Feng-ying

(*Institute of Loess Plateau, Shanxi University, Taiyuan 030006, PRC*)

**Abstract** Landscape ecology is a relatively new branch of ecology and is becoming more and more important in this field. It is a discipline concerning landscape structure, landscape functions and landscape dynamics. The study core of landscape ecology is landscape pattern analysis on different scales, including spatial scale and temporal scale. Quantitative methods are essential to development of landscape pattern study. Numerical methods are of increasing importance in landscape ecology. The development of numerical techniques has been remarkable in the last twenty years. This paper intends to review the development of quantitative techniques in landscape pattern analysis, and to introduce the most common and the latest methods in the following groups: (1) Techniques for studying a single patch. Single patch is the basic characteristic of a landscape and its formation is usually related to single environmental variable. Therefore it is significant meaningful in ecology to describe its feature. Quantitative description of single patch includes the indices as follows: patch form, elongation, circularity, compactness, and development etc. (2) Techniques for studying patterns of a single landscape element. A landscape is consisted of many elements. Each landscape element has its own characteristics. The patterns of landscape elements are most important in landscape pattern analysis and many scientists have paid much attention to this kind of pattern analysis. Much more quantitative methods have been invented to study the pattern of landscape elements. This paper reviews techniques for analyzing landscape pattern such as variance analysis of continuous quadrats, spatial autocorrelation analysis, variogram and correlogram, kriging analysis, spectral analysis, wavelet analysis, patch gap analysis, trend surface analysis, etc. (3) Techniques for studying landscape mosaic structure. Mosaic structure is the comprehensive feature of a landscape. The measures of mosaics reflects relationships of landscape elements, environmental variables and their construction and distribution. Some measures focus on the neighborhood, or on arrangement of the whole landscape. The spatial pattern in mosaics is numerous and complex and is a worthy research frontier. Many papers have been published in the study of mosaic structure of landscape recently. And its theory has been applied to landscape planning. Here we describe some common measures such as landscape diversity (including comprehensive diversity, dominance, richness, relative evenness of landscape types, etc.), landscape boundary measures (including edge ratio, relative dissimilarity of two landscape types etc.), indices of patch arrangement pattern (including patch isolation, contagion, fragmentation of different landscape types etc.) and so on. These methods mentioned above are most popular and common used in landscape pattern analysis. Some are newly developed in the past decade. Many methods are firstly described in Chinese literature and therefore are particularly useful for Chinese scientists.

**Key words:** Landscape ecology; pattern analysis; quantitative methods; landscape element; mosaic structure