

# 科尔沁沙地景观格局特征分析

常学礼

(中国科学院沙漠研究所 兰州 730000)

邬建国

(美国亚利桑那州立大学生命科学系)

**摘要** 用修改分维数、分维数和景观多样性指数方法,对科尔沁沙地不同沙漠化土地景观空间格局进行了研究。结果表明,在所划分的人工固沙区、围封保护区和流动沙丘区三种沙地景观类型中,人工固沙区景观空间格局最复杂,修改分维数 $D_m$ 为1.5476;其次为围封保护区 $D_m$ 为1.4975;流动沙丘景观格局最简单 $D_m$ 为1.4205。在沙漠化发展过程中(从保护区景观到流沙区景观) $D_m$ 减少,景观格局趋向简单;在沙漠化逆转过程中(从流沙区景观到人工固沙区景观) $D_m$ 增大,景观格局趋向复杂。在不同的景观类型中,斑块格局因受不同的作用过程影响变化规律各异。在人工固沙区,由于人工固沙措施为主的作用过程的影响,斑块类型从固定沙丘(a)、半固定沙丘(b)、半流动沙丘(c)到流动沙丘(d),格局多样性逐渐趋向复杂( $D$ 和 $D_m$ 依次增加);在围封保护区,由于受季节性放牧、樵采和植被自然恢复等过程的多重作用影响,斑块类型a和d的空间结构最为复杂,斑块修改分维数分别为1.4663和1.4435。此外,从本项研究所用的三种格局分析方法的结果来看,修改分维数 $D_m$ 比分维数 $D$ 和景观多样性指数 $H$ 能更好地描述景观和斑块的空间格局。

**关键词:** 景观, 斑块, 格局, 过程, 分维数, 修改分维数, 景观多样性指数。

## SPATIAL ANALYSIS OF PATTERN OF SANDY LANDSCAPES IN KERQIN, INNERMONGOLIA

Chang Xueli

(Institute of Desert Research, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou, 730000, China)

Wu Jianguo

(Arizona State University West, Phoenix, USA)

**Abstract** We use fractal dimension ( $D$ ), modified fractal dimension ( $D_m$ ), landscape diversity index ( $H$ ) to analyze the spatial pattern in relation to ecological processes of sandy landscapes in Kerqin, Inner Mongolia. Our results show that among three types of sandy landscapes, the artificial fixed sand-dune region exhibited the most complex spatial pattern ( $D_m = 1.5476$ ), the fenced sand-dune area was less complex ( $D_m = 1.4975$ ), and the flowing sand-dune region was least complex ( $D_m = 1.4205$ ). This suggests that during desertification (i.e., from a fixed or fenced sand-dune to a flowing sand-dune landscape),  $D_m$  decreased, and the spatial pattern of landscapes tended to be simpler. On the contrary,  $D_m$  seemed to increase progressively during the recovery process of desertified lands (i.e., from flowing sand-dunes to artificial fixed sand-dunes), and thus landscape pattern became more

\* 国家自然科学基金(49601020)和中国科学院留学回国人员择优支持基金资助。

收稿日期: 1996-02-16, 修改稿收到日期: 1996-10-09。

complex. For different landscapetypes, the spatial pattern of patches was affected by various factors and processes, which changed variably. In the artificial fixed sand-dune region, the complexity of individual patches increased from the fixe (type a), semi-fixed (type b), semi-flowing (type c), to flowing sand-dune (type d) patch type due to human activities (both  $D$  and  $D_m$  increase progressively). In the fenced region, however, the fixed and flowing patch types were the highest in spatial complexity ( $D_m$  was 1.4663 and 1.4435 for type a and type d, respectively). The results of this study suggest that modified fractal dimension is superior to fractal dimension and diversity index in describing landscape diversity at both the individual patch and landscape levels

**Key words:** landscape, patch, pattern, process, fractal dimension, modified fractal dimension, landscape diversity

在景观生态学研究, 空间格局一直是景观生态学家所关注的重点<sup>[1-4]</sup>, 有关空间格局的研究也有多种方法: 如空间自相关分析 (Spatial Auto-correlation Analysis)、波谱分析 (Spectral Analysis) 和半变异矩分析 (Semivariogram Analysis) 等<sup>[5-8]</sup>。特别是近年来发展起来的分形分析, 为景观格局分析提供了更为简洁、方便的数学工具<sup>[3,9-13]</sup>。在景观格局分析中, 由于景观异质性特点以及斑块组合的复杂性, 使景观空间格局分析不仅要考虑斑块的形状、大小和类型, 同时还要考虑到景观中斑块的相邻性 (Juxtaposition) 和均匀性 (Evenness)。为此 Olsen 等 (1993) 在景观格局分维分析的基础上发展了一种修改分维数 (Modified Fractal Dimension) 分析方法, 用来描述景观空间格局的多样性<sup>[14]</sup>。本文将基于修改分维数、分维数和景观多样性指数对不同沙漠化土地景观格局进行分析, 并揭示沙地景观在不同的沙漠化过程中的特点。同时, 还将应用景观间隙度指数 (Lacunarity) 探讨格局分析中的尺度效应。

沙地景观格局在时空尺度上都表现出很大的异质性, 自然过程 (如: 干旱、风、降水等) 和人为活动 (如: 开垦、采矿、砍伐等) 都强烈地影响着沙地景观<sup>[15,16]</sup>。对沙地景观格局在沙漠化过程中的特点进行研究, 将是对传统的沙漠化机制研究的一个补充, 它在以往沙漠化研究中强调自然因素和人为干扰的基础上, 着重从景观空间格局与沙漠化过程的相互关系进行分析, 对揭示沙漠化发生发展和其逆转机制提供新的理论补充。

## 1 研究区自然概况

研究区位于科尔沁沙地南部, 行政区划隶属于内蒙古自治区, 哲里木盟奈曼旗, 该区介于东经 120°19'40" ~ 121°31'44", 北纬 42°14'10" ~ 43°32'20" 之间, 属温带大陆性半干旱气候类型, 年平均气温 6.3℃; 年平均降水量 366mm, 主要集中在 6、7、8 三个月, 占全年降水的 67.4%; 年蒸发量 1935mm。地带性土壤为沙质栗钙土, 在风的作用下退化为风沙土。该区地貌类型以固定沙丘、半固定沙丘、半流动沙丘、流动沙丘和甸子地相间分布为特征。整个植被景观为草本、灌木和乔木镶嵌体 (Mosaic)。该区属农牧交错地区, 农田主要分布在面积较大、土质较好的甸子地, 各类型沙丘主要为天然放牧场, 农牧用地的比例为 1:10。当地居民的新材全部来源于农作物秸秆和草场中的半灌木、灌木和乔木的枝条。

## 2 研究方法

### 2.1 研究区的划分

本项研究的底图是中国科学院奈曼沙漠化研究站尧勒甸子村示范区 1990 年土地利用现状图, 比例尺 1:5000。整个示范区共包括 8 个土地利用类型 (斑块类型), 其中自然类型 4 个: 固定沙丘 (a)、半固定沙丘 (b)、半流动沙丘 (c) 和流动沙丘 (d); 人工类型 4 个: 农田、果园、道路和居民用地。在所选定的 3 个研究小区中, 只包括 4 种自然类型, 人工类型没有出现, 每个研究小区的面积为 1000 × 1000m<sup>2</sup>。3 个小区的景观特点为: 人工固沙区, 植被恢复工作开始于 1985 年, 主要特点是采用人工固沙措施进行了 5a 的综合治理, 包括

造林、种草、设置机械沙障等,整个小区以半固定沙丘、固定沙丘为主,流动沙丘和半流动沙丘已经很少,仅在小区边缘有少量分布。该类型的植被景观以乔(杨树)、灌(小叶锦鸡儿)、草交错分布为特点,代表了人为沙漠化逆转后的景观特征。2. 流沙区,主要特点是经人为过度利用后(滥砍、滥牧、滥垦)形成的大片流沙,其中点缀分布有半流动沙丘,半固定沙丘和固定沙丘已经消失。该类型植被景观为短命沙生植物(沙米)和少量的一年生植物,代表了严重沙漠化土地自然景观。3. 保护区,该区从1985年开始一直处于半围封状态,有轻微的樵采和季节性放牧,整个区域为固定沙丘、半固定沙丘、半流动沙丘和流动沙丘相间分布的格局,灌木(小叶锦鸡儿等)点缀于草本植物和蒿类草植被之中,是该区最常见的沙地景观。不同沙丘类型的植被特征见表1<sup>[15]</sup>。

表1 不同斑块类型的植被组成特征

Table 1 The vegetation characteristic of different patch types in sandy land

	固定沙丘 Fixed sand-dune	半固定沙丘 Semi-fixed sand-dune	半流动沙丘 Semi-drifting sand-dune	流动沙丘 Drifting sand-dune
植被类型 Plant types	灌丛+ 多年生禾草	多年生禾草+ 蒿类草	蒿类草+ 杂类草	沙生植被
层片数 Layer	3	2	3	2
盖度 Cover rate	> 50%	30% ~ 40%	20% ~ 30%	< 10%

## 2.2 图形转换

在底图上确定了研究区域后,对原始图形用透明格子网转换。在本项研究中格子选用边长为1.25cm的正方形为主要研究手段,在1000×1000m<sup>2</sup>的小区内(图上为20×20cm<sup>2</sup>)共划分为16×16=256个格子,每个格子代表实地面积62.5×62.5=3906.25m<sup>2</sup>。在同一个方格中若有多个斑块(patch)类型出现,且斑块的面积和超过格子的2/3,则以所占格子面积最大的斑块类型转换,如果一个小的斑块超过1/2个格子面积,且又恰好单独占有两个以上的格子,按其面积分布最大的格子转换。转换后的3个小区土地利用现状图见图1~图3。

## 2.3 景观空间格局的测定

### 2.3.1 分维数

分维数主要揭示斑块及斑块组成的景观的形状和面积大小之间的相互关系,它反映了在一定的观测尺度上斑块和景观格局的复杂程度。本项研究的对象是斑块,通过斑块的特征来反映景观的空间格局,所以分维数是采用面积-周长法来测定,即:

$$P = kA^{D/2} \quad (1)$$

$$D = 2 \ln(P/4) / \ln A \quad (2)$$

本文的格局分析是建立在单个斑块的基础上, $k=4$ 为常数。在公式(1)、(2)中, $P$ 为斑块周长, $A$ 为斑块面积, $D$ 为分维数,且满足 $1 < D < 2$ , $D$ 值越大,反映斑块的形状越复杂;当 $D=1$ 时,则斑块形状为简单的欧几里德正方形<sup>[12,17,18]</sup>。

### 2.3.2 修改分维数

由公式(2)所确定的分维数虽然能够反映斑块的形状和景观的格局,但是并没有考虑景观中斑块的空间分布多样性。为此本文还采用修改分维数来研究景观和斑块的格局特征。与分维数相比较,修改分维数主要是考虑了斑块间的相邻性(参数 $C$ )和对斑块的周长进行了修改,具体定义如下:

$$D_m = 2 \ln(P_m/4) / \ln A \quad (3)$$

$$P_m = P + [2(A - 1)C / (C_i - 1)] \quad (4)$$

在(3)、(4)式中, $D_m$ 为修改分维数; $P_m$ 为修改周长, $C$ 为相邻斑块数(不包括对角相邻), $C_i$ 为景观中所有斑块类型数,在本文中 $C_i=8$ , $A$ 、 $P$ 定义同前。 $D_m$ 越大则说明斑块的形状和其相邻性越复杂,反之亦然。调

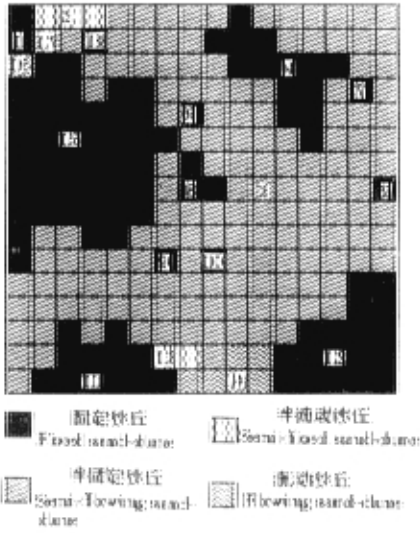


图1 人工固沙区土地利用图  
(网格划分单元  $16 \times 16$ , 每格代表实地面积  $62.5 \times 62.5 m^2$ )

Fig 1 Land use map of artificial fixed sand-dune region (grid cell =  $62.5 \times 62.5 m^2$ )

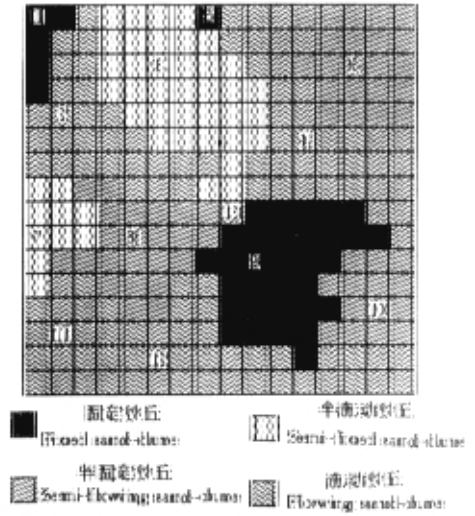


图2 围封保护区土地利用图

Fig 2 Land use map of the fenced sand-dune region

查区景观格局分维数和修改分维数用斑块面积加权平均和求出。即:

$$D_L = \frac{\sum_{i=1}^m (A_i \times D_i)}{\sum_{i=1}^m A_i} \quad (5)$$

$D_L$  为景观分维数或修改分维数,  $A_i$  为第  $i$  个斑块所占景观面积的比例,  $D_i$  为第  $i$  个斑块的分维数或修改分维数。

### 2.3.3 景观多样性

景观多样性指数是建立在信息论原理的基础上<sup>[3]</sup>, 其计算公式为:

$$H = - \sum_{i=1}^m (P_i) \times \ln(P_i) \quad (6)$$

$H$  为景观多样性指数,  $P_i$  为斑块类型  $i$  所占景观面积的比例,  $m$  为斑块类型数目。  $H$  值越大, 表示景观多样性越高。

### 2.3.4 景观间隙度指数

间隙度是由 Plochnik 等引入景观生态学的研究中<sup>[19]</sup>。该分析法也是建立在格子图的基础上, 不要求系统平稳假设, 不受边界的影响<sup>[20]</sup>。具体计算如下:

设有一边长为  $M$  的景观图(格子图), 组成景观的小格子边长为 1 个单位, 然后将一个  $r \times r$  单位的方格放在景观左上角  $r$  为整数。当  $r = 2$  时, 在方格覆盖下的 4 个格子中, 记录所研究对象(斑块)占据格子的数量, 记作  $S_r$ 。然后将格子左右、上下移动 (gliding box), 每次移动一格, 可以得到一组随方格大小 ( $r$ ) 变化的数值, 记作  $n(S, r)$ 。则景观中可容纳边长为  $r$  的方格总数记作  $N(r)$ , 则有:

$$N(r) = (M - r + 1)^2 \quad (7)$$

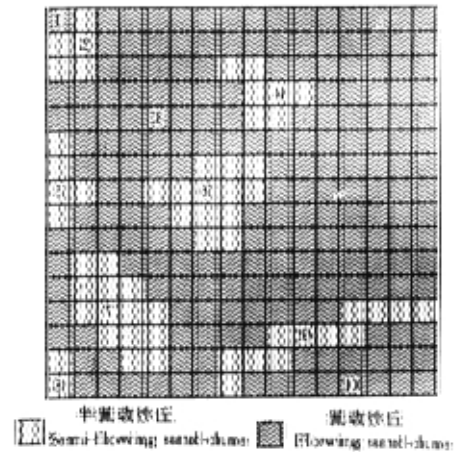


图3 流动区土地利用图

Fig 3 Land use map of the flowing sand-dune region

将  $n(S, r)$  的频率分布转为概率分布  $Q(S, r)$ :

$$Q(S, r) = \frac{n(s, r)}{N(r)} \quad (8)$$

则  $Q(S, r)$  的均方差和方差分别为:

$$Z^{(1)} = SQ(\bar{S}, r) = \bar{S}(r) \quad (9)$$

$$Z^{(2)} = S^2Q(S, r) = S_s^2(r) + \bar{S}^2(r) \quad (10)$$

Mandelbrot, (1983) 将间隙度定义为<sup>[21]</sup>:

$$\Lambda(r) = \frac{Z^{(2)}}{(Z^{(1)})^2} = \frac{S_s^2(r)}{S^2(r)} \quad (11)$$

由上述关系式不难看出, 间隙度直接受方格大小、景观斑块密度和形状的影响<sup>[19]</sup>, 在本文中 will 用不同大小的格子分析尺度效应。

### 3 结果与分析

空间格局与生态学过程的关系是生态学中的核心问题之一<sup>[22]</sup>。对景观空间格局的分析则是景观生态学中一个重要的、而且具有挑战性的研究课题<sup>[23]</sup>。空间格局可以从两个层次来探讨, 其一是组成景观的斑块格局与过程的关系, 其二是整个景观的格局与过程的关系。本文的讨论就将从这两个方面进行。

#### 3.1 不同沙地景观类型的空间格局特征与过程

景观格局的分维分析表明(见表2), 在3种沙地景观类型中, 分维数  $D$  以人工固沙区最高为1.3117, 其次为流沙区1.2861, 保护区最低为1.2217。说明景观格局在不考虑斑块的相邻性和均匀性的情况下, 人工固沙区有最复杂的景观格局, 其次为流沙区和保护区。从修改分维数的分析结果来看, 人工固沙区最高,  $D_m$  为1.5476, 其次为保护区1.4975, 最少是流沙区1.4205。说明不仅考虑斑块形状, 同时也考虑斑块间的组合和斑块的平均性的情况下, 人工固沙区的景观格局仍是最为复杂的, 与分维数分析结果相比较所不同的是保护区的格局复杂性大于流沙区, 两者的结果是相反的。景观多样性指数分析结果表明(见表2), 在3种景观类型中, 保护区的景观多样性最高为1.2925, 人工固沙区次之0.8491, 流沙区最低0.5351。

表2 沙地景观和斑块格局的分维数、修改分维数、多样性指数

Table 2 The fractal dimensions, modified fractal dimensions, and diversity indices of the patches and the landscapes in sandy land

	人工固沙区		围封保护区		流沙区	
	Fixed sand-dune region		Fencing region		Drifting sand-dune region	
	景观 Landscape	斑块 Patch	景观 Landscape	斑块 Patch	景观 Landscape	斑块 Patch
分维数 $D$	1.3117	1.1445	1.2217	1.1721	1.2861	1.2287
修改分维数 $D_m$	1.5467	1.2963	1.4975	1.3704	1.4205	1.3428
多样性指数 $H$	0.8491	-	1.1915	-	0.5351	-

上述的分析显示, 相同的景观类型, 不同的分析方法, 所得的结果相互矛盾。下面就形成这一结果的原因作一些分析。首先, 从景观多样性指数来看,  $H$  的内含信息仅包括斑块的面积和类型, 而没有反映斑块形状指标的参数(见公式(6)), 所以其结果只能反映景观格局的斑块类型数量和面积信息。从分维数和修改分维数来看, 虽然分维数能够反映景观和斑块的面积和形状(含有面积  $A$  和周长  $P$  的信息), 但是和修改分维数相比较, 其不能表达景观组成的多样性和斑块间相邻性<sup>[14]</sup>。而修改分维数  $D_m$  既含有形状(周长  $P$ ) 和面积( $A$ ) 的信息, 又包含斑块的相邻性和平均性的信息(见公式(3)、(4))。如图1中斑块No. 1和No. 13, 在面积和周长都相等( $A_1 = A_{13}, P_1 = P_{13}$ ), 相邻斑块数不同( $C_1 = 2, C_{13} = 3$ )的情况下, 分维数  $D_1 = D_{13}$ , 不能反映这一景观格局的变化。而修改分维数  $D_m$  的变化则可以描述这一变化, 即在周长、面积相等, 当相邻斑块数从2增加到3时,  $D_m$  由1.4324增加到1.5552。图2中斑块No. 10和图3中斑块No. 7也同样证明了这一规

律。

所以,在景观斑块形状、大小、数量和空间组合影响着生物物种分布、动物迁移、流体径流和土壤侵蚀等生态学过程和边缘效应的情况下<sup>[4,24]</sup>,修改分维数是一个比较理想的描述景观空间格局的综合指标。

从沙漠化的发展过程(由围封保护区景观到流沙区景观)中,流沙所占面积由43%增加到77%(见图2、图3),流沙面积增长速率为 $6.7\text{hm}^2/\text{a}$ ,沙地景观格局的变化有如下特点:修改分维数的变化表明,沙漠化的发生发展过程是景观格局简单化的过程,景观修改分维数 $D_m$ 减少了0.077;同时,景观中斑块的平均修改分维数也由保护区的1.3704,减少到流沙区中的1.3428,降低了0.0276。在沙漠化逆转过程中(从流沙区景观到人工固沙区景观),流沙的面积由77%减少到2%(见图1、图3),流沙面积增长速率为 $-8.3\text{hm}^2/\text{a}$ ,相对应的景观修改分维数 $D_m$ 增加了0.2039。表明在这一过程中景观格局的形状和多样性趋向复杂。但是景观中斑块的平均修改分维数却从1.3428减少到1.2963,分维数 $D$ 的变化具有相同的规律,减少了0.0842,说明在这一过程影响下,景观中斑块的空间结构和多样性趋向简单。

### 3.2 不同斑块类型的格局与过程

斑块是组成景观的要素<sup>[24]</sup>,在不同的生态系统中,斑块的形成过程往往是不同的<sup>[15,23-25]</sup>,而不同的过程又产生不同的格局。在人工固沙区景观和围封保护区景观中(见图1、图2),组成景观的斑块受到了不同过程的影响(见表3)。在人工固沙区中,分维数 $D$ 和修改分维数 $D_m$ 的变化规律性明显,从斑块类型a、b、c到d, $D$ 和 $D_m$ 逐渐增大,分别由1.1145和1.2173增加到1.2263和1.5176,说明了斑块的格局从固定沙丘到半固定沙丘、半流动沙丘和流动沙丘依次越来越复杂。正如前面所介绍,从流沙区到人工固沙区,流沙面积减少了 $15\text{hm}^2/\text{a}$ ,而半流动沙丘面积也减少了 $4.1\text{hm}^2/\text{a}$ (见图1、图3),人工作用过程主要是针对流动沙丘和半流动沙丘,至于半固定沙丘和固定沙丘很少再采取固沙措施。所以,沙漠化恢复过程对斑块类型d的影响最大,其次依次为c、b和a;结果是斑块的格局从a到d趋向复杂,修改分维数 $D_m$ 和分维数 $D$ 依次增大。

表3 人工固沙区中不同斑块类型的分维数和修改分维数

Table 3 The fractal dimensions and modified fractal dimensions of patches in the artificial fixed sand-dune and the protected sand-dune regions

斑块类型 Patch types	人工固沙区 Fixed sand-dune region		围封保护区 Fencing region	
	分维数 $D$	修改分维数 $D_m$	分维数 $D$	修改分维数 $D_m$
	a	1.1145	1.2173	1.2826
b	1.1896	1.3666	1.1210	1.3076
c	1.2157	1.5301	1.1216	1.2916
d	1.2263	1.5672	1.2058	1.4435

在围封保护区中,由于受季节性放牧和樵采以及植被的自然恢复过程的影响,斑块的修改分维数和分维数变化明显比较复杂(见表3)。在季节性放牧和樵采过程中(保护区开放期),由于斑块类型a(固定沙丘)有着高的灌木生物量、丰富的植物种组成和高的草场质量<sup>[26-28]</sup>,所以受这一过程的影响也最大,在保护区中斑块类型a在所有类型中有着最大的 $D_m$ 和 $D$ ,分别为1.4663和1.2826;其次,受这一过程影响的是斑块类型b和c, $D_m$ 和 $D$ 都依次减少。从另一个角度来看,保护区还存在着另外一个过程,即围封保护期的植被恢复过程。许多的研究表明,在科尔沁地区围封可使流沙区的植被在2~3a内得到恢复<sup>[26,29]</sup>。这一过程无疑对流沙区影响最大,因为在流沙上,任何位置植被的生长都直接地影响到斑块d的空间格局。表3中斑块类型d有着较高的 $D_m$ 和 $D$ 值,说明了在该区中流动沙丘有着较复杂的空间格局,影响其格局的主要过程是植被自然恢复。

此外,还需要强调地是景观格局的研究是建立在尺度的基础之上,景观格局的研究结果与观察尺度密

表4 景观格局分析中的尺度效应

Table 4 The scale effect of landscape in analyzing pattern

间隙度指数 Lacunarity index	$r=2$	$r=3$	$r=4$	$r=5$
$(r)$	2.0204	1.8033	1.6365	1.5257

分析中,同一观察物体,因观察尺度的变化,其量化值也发生改变。在大尺度的分析中,一些小的细节被忽略;而在小尺度(分辨率高)的研究中,小的斑块特征也能反映出来。

#### 4 讨论

修改分维数的分析表明,在该地区的3种景观类型中,人工固沙区有着复杂的景观空间格局,其次为围封保护区和流沙区。从沙漠化的发展过程来看(从围封保护区到流沙区),是一个景观异质性降低的过程。在这一过程中,景观中斑块的类型数减少了2个,斑块数减少了3个(见图2,图3),景观的修改分维数 $D_m$ 和多样性指数 $H$ 降低。沙漠化的逆转过程是景观异质性提高的过程,在这一过程中斑块类型增加了2个,斑块数增加了8个(见图1,图3),景观的分维数、修改分维数和多样性指数明显地增加。与此相反,在这一过程中景观中斑块的 $D$ 和 $D_m$ 平均值却降低(斑块空间结构复杂性降低),造成这样结果的主要原因是:人工固沙中造林、种草的规范化,使斑块的形状趋向简单,从而极大地影响了斑块的格局。

斑块是组成景观的要素,不同的过程是通过影响斑块,最终在景观上反映出来。就人工固沙单一过程而言,其主要对流动沙丘斑块类型的格局影响最大,对固定沙丘斑块类型的格局影响最小;斑块分维数 $D$ 和修改分维数 $D_m$ 的变化,可以恰当地描述这一过程对景观中斑块格局的影响。在季节性放牧和樵采以及植被的自然恢复多重过程影响下,斑块的格局变化较复杂。其中,季节性放牧和樵采过程对固定沙丘斑块的格局影响最大,而植被恢复过程则主要影响流动沙丘斑块类型的空间格局。

景观格局与过程分析一定要考虑尺度效应,因为许多生态学格局随空间尺度显著变化<sup>[4,7]</sup>。从本文采用景观间隙度指数对人工固沙区中的固定沙丘格局特征的分析表明,景观格局分析的量化结果受观测尺度大小的影响。尺度越大(分辨率低),景观间隙度指数越小,反之亦然。

#### 参 考 文 献

- Burrough P A. Principles of Geographic Information Systems for Earth Resources Assessment. Clarendon Press, Oxford, U K, 1986. 193
- Lam N S. Description and Measurement of Landsat TM Images Using Fractals. *Photogr. Engin. Rem. Sen.* **56**: 187~195
- O'Neill R V, Krummel J R, Gardner R H, et al. Indices of Landscape pattern. *Landscape Ecol.* 1988, **1**: 153~162
- Turner M G and Gardner R H (editors). *Quantitative Methods in Landscape Ecology*. Springer-Verlag, New York, U SA, 1991
- 邬建国. 数学模型与自然保护. *应用生态学报*, 1992, **3**(3): 286~288
- Cliff A D and Ord J K. *Spatial Processes: Models and Application*. Pion Limited, London, U K, 1981
- O'Neill R V, Gardner R H, Milne B T, et al. Heterogeneity and spatial hierarchies. In: J. Kolasa and S. T. A. Pickett (eds), *Ecological Heterogeneity*. Springer-Verlag, New York, U SA, 1991. 85~96
- Wu J, Jelinski D E and Qi Y. Spatial pattern analysis of a Boreal forest Landscape: scale effects and interpretation. Page 165 in Proceedings of the VI International Conference for Ecology, Manchester, England, 1994, August 21~26
- De Cola L. Fractal Analysis of a Classified Landsat Scene. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 1989, **55**: 601~610
- Hastings H M, Pkelney R, Monticciolo R et al. Time Scale, Persistence and Patchiness. *BioSystem*, 1982, **15**: 281~289

- 11 Milne B T. Measuring the fractal geometry of Landscape *Appl Math and Comput* 1988, **27**: 67~ 79
- 12 Milne B T. Lessons from applying fractal models to landscape patters. In: *Quantitative Methods in Landscape Ecology*. (Turner M G and Gardner R H. eds). Springer-Verlag, New York, U SA. 1991, 199~ 235
- 13 Orbach R. Dynamics of Fractal networks, *Science*, 1986, **213**: 814~ 819
- 14 Olsen E R, Ramsey R D and Winn D S. A Modified Fractal Dimension as a Measure of Landscape Diversity. *Photogr. Engin. Rem. Sen.* 1993, **59**: 1517~ 1520
- 15 朱震达, 刘恕. 中国北方地区沙漠化过程及其治理区划. 北京: 中国林业出版社. 1981
- 16 朱震达等. 中国的沙漠化及其治理. 北京: 科学出版社. 1989
- 17 Peitgen E J and Sanpe D (editors). *The Sciences of Fractal Images* Springer-Verlag, New York, U SA, 1988, 312
- 18 Sugihara G and May R M. Application of Fractal in Ecology. *TREE*. 1990, **5**: 79~ 86
- 19 Plotnick R E, Gardner R H and O'Neill R V. Lacunarity indices as measures of landscape texture *Landscape Ecology*, 1993, (3): 201~ 211
- 20 Moeur M. Characterizing spatial patterns of trees using stem mapped data *Forest Science*, 1993, **39**(4): 756~ 775
- 21 Mandelbrot B B. *The Fractal Geometry of Nature*, Freeman W H. N Y, U SA. 1983
- 22 Levin S A. The problem of pattern and scale in ecology. *Ecology*, 1992, **73**: 1943~ 1967
- 23 Wu J and Loucks From balance of nature to hierarchical patch dynamics: A paradigm shift in ecology. *Q. Rev. Biol.* 1995, **70**(4): 439~ 466
- 24 Forman R T T and Godron M. *Landscape ecology*. John Wiley and Sons, New York, U SA. 1986
- 25 Pickett S T A and White P S (eds). *The Ecology of Natural disturbance and Patch Dynamics* Academic Press, San Diego, U SA. 1985
- 26 张伟. 内蒙古奈曼旗沙漠化草地封育及其利用. 草业科学, 1991, **8**(1): 38~ 40
- 27 常学礼, 李胜利. 科尔沁沙地草场植物组成及生物量动态的研究. 草业科学, 1994, **11**(6): 48~ 51
- 28 常学礼, 赵学勇, 李胜利. 差嘎蒿在科尔沁沙地草场植被中的作用. 中国沙漠, 1996, **16**(1): 27~ 31
- 29 王康富, 蒋瑾. 科尔沁草原沙漠化土地的整治问题. 农业现代化研究, 1987, (3): 6~ 11
- 30 邬建国, D. Jelinski 生态学中的格局与尺度——可塑性面积单元问题. 现代生态学讲座(李博主编). 北京: 科学出版社, 1995. 1~ 9
- 31 Jelinski D E and Wu J. The modifiable areal unit problem and implication for landscape ecology. *Landscape Ecol.* 1995

## 《生态研究与探索》简介

《生态研究与探索》一书是以浙江省生态学会青年工作委员会和浙江师范大学联合举办的“浙江省首届青年生态工作者学术讨论会”的交流论文为基础, 经编委会和有关领域专家的反复审阅, 筛选, 几经修改, 最终定稿编辑而成。全书共精选论文87篇, 计70万字, 定价70.00元, 内容涉及基础、农业、环境和医学等生态学领域的理论研究和实践应用。根据论文来源和内容, 本书设专题综述、研究报告和生态实践三大部分。其中专题综述文章有23篇, 包括气候变化对我国农业生态系统的影响、生态农业、休闲观光农业、EM 技术、绿色食品、GIS、作物生产模拟模型、生态位、生物多样性等内容。研究报告计42篇, 包括植物的基础生态研究、红壤壤开发、数学模型、农药在土壤中的行为、地面水致癌性预测试验、氟污染、微生物生态、鼠类研究、西湖水质污染生态、水生生物生态研究、杂草群落和种群生态研究等内容。生态实践部分共收录论文22篇, 包括生态建筑(含生态住宅、生态公厕、生态庭院等)、环境卫生、生态镇建设、雨水资源的利用、小流域开发、山区资源的开发和利用、农业产业化、农村和农业的可持续发展等内容。

需要者请与浙江农业大学农业生态研究所 浙江省生态学会 徐佩君女士联系。

地址: 310029 杭州华家池

浙江省生态学会 徐佩君