

科尔沁沙地景观研究中的尺度效应

常学礼^{1,2}, 张安定², 杨 华², 高玉葆¹

(1. 南开大学生命科学学院, 天津 300071; 2. 烟台师范学院地理与旅游系, 山东 烟台 264025)

摘要:从研究区域取样尺度和分析尺度两个方面入手,对科尔沁沙地景观的尺度效应进行了分析,结果表明:取样尺度的尺度效应可以通过回归分析和统计分析来判断其变化趋势和范围。回归分析的结果表明,景观中斑块数量(y)与取样面积(x)之间有很好的拟合关系 $y = -7.1282x + 220.31 (R = 0.958 > 0.708 = \alpha_{0.01(10)})$;最大斑块面积(y)和取样面积(x)二者的关系为 $y = 0.004x^2 - 0.0096x + 0.3346 (R = 0.947 > 0.708 = \alpha_{0.01(10)})$,关系密切。取样面积对景观结构特征的影响分析显示,在取样面积最小为 0.28 的情况下,景观多样性指数的变化为抛物线型,在取样面积约为研究区面积的一半左右时,景观多样性最高,为 1.931。不同取样面积的平均多样性指数为 $1.863 (\pm 0.075)$ 。从景观优势度指数的变化来看,呈倒抛物线型。在取样面积约为研究区面积的一半左右时,优势度最低,为 0.467。不同取样面积的平均优势度指数为 $0.534 (\pm 0.075)$ 。在取样面积不变的情况下,研究尺度的分析表明,沙地景观间隙度具有分形结构。间隙度与研究斑块的占有概率有关,占有概率越高,分维数越大。在研究对象占有概率相同的情况下,不同分布格局存在不同的景观间隙度,研究尺度越大,差别越大。相对而言,实际的景观间隙度指数更趋向于聚集分布,而偏离理想的均匀分布。

关键词:沙地景观; 斑块; 景观多样性; 景观间隙度; 尺度效应

Scale effects of landscape research in Kerqin Sandy Land

CHANG Xue-Li^{1,2}, ZHANG An-Ding², YANG Hua², GAO Yu-Bao¹ (1. Life Sciences College, Nankai University, Tianjing 300071, China; 2. Department of Geography and Tour, Yantai Normal College, Shandong Yantai 264025, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(4): 635~641.

Abstract: There is highest heterogeneous on sandy land landscape due to the facile changing of topography and land cover in Kerqin Sandy Land. The main causes, which induce the landscape changing, include unsuitable human economic activity, precipitation fluctuation, and wind erosion under huge Quaternary sand sediment condition in this area. Therefore, what are relation between the landscape characters and research scales in different levels is a principal threshold for the landscape study. According to studied findings, the implications of scale effect can be concluded as below.

First, the scale effect on landscape research in Kerqin Sandy Land was addressed in this article from regional sampling scale and mathematically analyzing scale with GIS technique and lacunarity index analysis. Analyses showed that the trend and scope of sampling scale effect could be described statistically

基金项目: 国家重点基础研究发展规划资助项目(G2000018607); 国家自然科学基金资助项目(49601020); 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所创新资助项目(CX210066)

收稿日期: 2002-01-20; 修订日期: 2002-10-20

作者简介: 常学礼(1963~), 男, 内蒙古兴和县人, 博士, 教授, 主要从事沙区资源环境和景观生态学研究。

Foundation item: National Basic Priorities Programme (G2000018607), National Science Foundation (49601020) and Knowledge Innovation Item of CAREERI, CAS(CX210066)

Received date: 2002-01-20; **Accepted date:** 2002-10-20

Biography: Chang Xue-Li, Ph. D. professor. Mainly engaged in the research of landscape ecology and desert resources and environment. E-mail: XLChang@eyou.com

at both patch and landscape scales. Relationship between sampling area (y) and patch number (x_1) was expressed as $y = -7.1282x + 220.31$ ($R = 0.958 > 0.708 = \alpha_{0.01(10)}$), while relationship between the maximum patch area (x^2) and sampling area (y) could be presented as $y = 0.004x^2 - 0.0096x + 0.3346$ ($R = 0.947 > 0.708 = \alpha_{0.01(10)}$). At landscape scale, the trend of landscape elements, such as landscape diversity index and landscape dominant index, were slightly fluctuated corresponding to the change of sampling scale. The association curve of sampling area and diversity index was a parabola with the diversity index peaked at 1.931 when the sampling area was half of the studied area. The averaged value of the diversity indices was $1.863 (\pm 0.075)$ at all scales, which were divided into eleven levels when the minimum sampling scale was 28% of the total studied area. The association curve of the sampling area and the dominant index was a reverse parabola and the dominant index was at 0.674 as the lowest when the sampling area was half of the studied area. The average value of the dominant indices was $0.534 (\pm 0.075)$ in this treatment.

Second, findings also pointed out that different sampling area under landscape matrix was a primary condition for landscape research when the spatial analysis, specifically Arc-info analysis was employed. Otherwise, the consistency of sampling rule would be changed. Meanwhile, results demonstrated that the maximum patch type was changed from mobile sand-dune to cropland when the sampling area was less than 28% of the total studied area. Therefore, it could be possible to scaling down or up for landscape spatial attributes analysis under properly defined conditions when sampling area was greater than 28% of the total area.

Third, the lacunarity analysis showed that sandy land landscape had fractal structure in Kerqin Sandy Land when the sampling area was set fixed. The lacunarity index was closely related to the occupying probability of research patches. The higher the probability was, the higher the fractal dimension was. Patch distribution was corresponded to the lacunarity change when the patch occupation was set unchanged; Comparatively, the change of actual lacunarity of the sandy land landscape was closer to a cluster distribution and deviated from the theoretical even distribution pattern.

Key words: sandy land landscape; patch; landscape diversity; landscape lacunarity; scale effect

文章编号: 1000-0933(2003)04-0635-07 中图分类号: P208, Q149 文献标识码: A

在景观生态学研究,尺度是影响结果的最主要的方面之一^[1]。与空间格局、异质性、等级结构等根本不同之处在于尺度是研究者可调控的因子,而其它则不能^[2,3]。尺度的概念可以从两个方面来表示^[4],其一为粒度(Grain),亦即分辨率,对应于 TM 影像中的像素(Pixel),或实际研究中的最小观测尺度;其二位幅度(Extent),是指研究区域的总面积与实际研究中的取样面积一致。沙地景观在不同的时空尺度都具有极大的异质性^[5,6]。很显然在研究某一沙地景观时,不同的研究尺度(取样面积)和观察尺度(分辨率)对景观分析的结果有直接的影响^[7~9]。据此,本文将从不同的研究尺度(取样面积)和分析尺度入手,分别在沙地景观中从斑块和景观两个层次上进行分析,以期揭示沙地景观的尺度效应。

1 自然概况

奈曼旗位于科尔沁沙地腹地,地处东经 $120^{\circ}19'40'' \sim 121^{\circ}35'40''$, 北纬 $42^{\circ}14'10'' \sim 43^{\circ}32'20''$, 总面积 8120km^2 。地势南高北低,南部为浅山丘陵,海拔高度多在 $400 \sim 500\text{m}$ 左右。中部沙沼坳甸相间,海拔高度变化在 $300 \sim 400\text{m}$ 之间;地貌类型以固定沙丘、半固定沙丘、流动沙丘、甸子地相间分布为主(见图 1);北部平原区,海拔高度 300m 以下,东北部最低为 228.9m 。

奈曼地区属于温带大陆性半干旱气候类型。平均气温 6.8°C ;年平均降水量 366.3mm ,主要集中在 6、7、8 三个月,降水占全年的 67.4%;年平均蒸发量 1935mm ,是年平均降水的 5 倍多; ≥ 8 级年平均大风日数 33.5d ,以春季(3~5 月份)大风出现次数最多,占全年总日数的 55%~61%;年平均沙暴日数 7.6d ,最多

高达 23d。

该区的主要植物种有小叶锦鸡儿(*Caragana microphylla*)、差巴嘎蒿 (*Artemisia halodendron*)、冷蒿 (*Artemisia frigida*)、扁蓿豆(*Mellissitus ruthenicus*)、糙隐子草(*Cleistogenes squarrosa*)和狗尾草(*Setaria viridis*) 等灌木、多年生和 1 年生草本植物组成。

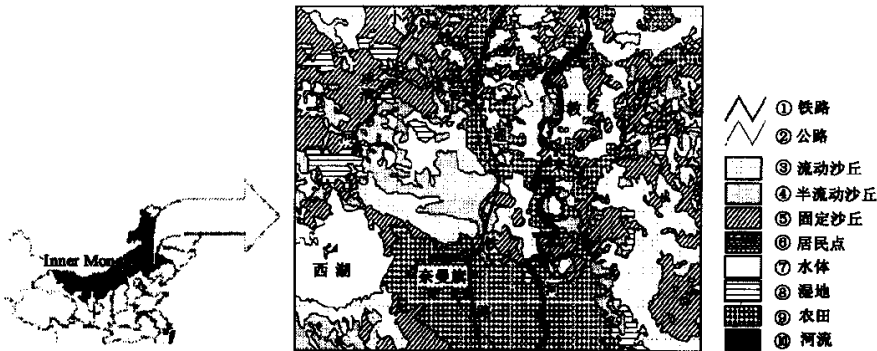


图 1 科尔沁沙地典型地区的位置与景观(内蒙古奈曼旗,1991)

Fig. 1 Study site and landscape of Kerqin sandland (Naiman Banner, Inner Mongolia)

- ① Railway; ② Road; ③ Mobile dune; ④ Semi-mobile dune; ⑤ Fixed dune; ⑥ Town; ⑦ Lake; ⑧ Wetland; ⑨ Cropland; ⑩ River

2 研究方法

本项研究选取位于科尔沁沙地南部的奈曼旗中部沙区为研究对象,研究区包括了奈曼旗大沁塔拉镇、先锋乡、桥和乡、昂乃乡、章古台苏木和巴嘎波日和苏木共 6 个乡镇苏木,总面积为 498.4 km²。

研究用 1991 年美国 Landsat TM 图像为信息源(图 1),结合地面考察进行图像目视解译。图像分析用 Arcview 和 Arc-info 软件来进行。图像处理用机助目视解译方法完成。在图像解译中,将整个研究区的景观类型分为 10 类,包括:流动沙丘地、半固定沙丘地、固定沙丘地、下湿地、农田、水体、河道、居民点、铁路和公路。为了使 TM 图像中的斑块分类有明显的边界,其中植被盖度大于 50%的沙地为固定沙丘地,植被盖度在 15%~50%之间的为半流动沙丘地,小于 15%为流动沙丘。

景观研究尺度(取样面积)对结果的影响分析用 Arc-info 软件完成,主要步骤为:(1)图像解译;(2)在 Arc-info 环境下对解译图形切割,最小面积为总面积的 0.28;(3)景观结构特征分析。在本文的分析中采用了景观多样性指数(*H*)和优势度指数(*D*)分别来表示,其计算公式如下:

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

在(1)式中, P_i 表示斑块 i 在景观中所占的面积比例, m 为斑块种类数。对于给定的 m ,当 $P_i=1/n$ 时, H 达到最大值($H_{\max}=\ln n$)。通常,随着 H 的增加,景观结构组成成分的复杂性也趋于增加。

$$D = H_{\max} + \sum_{i=1}^m P_i \ln P_i \tag{2}$$

优势度指数是多样性指数的最大值与实际计算值之差。通常, D 值越大,一个或少数几个斑块类型在景观中就愈占主导地位。

观察尺度(分辨率)对研究结果的影响分析用景观间隙度指数(lacunarity),具体计算见文献^[10]。间隙度变化不仅能够反映观察尺度(分辨率)对景观结构特征的影响,而且也能够解释景观中所研究斑块的密度和形状的影响数据

3 结果与分析

3.1 研究区域的尺度效应

3.1.1 对斑块的影响 景观结构与格局的研究是建立在尺度的基础之上,对于同一景观来说,不同的分析尺度所得的研究结果可能不同^[1,3]。同样,对于某一研究区域,取样面积的大小也影响到景观结构特征的变化。从研究面积对景观中斑块类型数量的影响来看(见图 2),总的趋势为随取样面积的减小景观中的斑块数量对应减少。但是这一过程并非绝对的,不同的取样面积的边界切割可能造成同一个斑块被分割成 2 个或 2 个以上的小斑块,从而增加景观中斑块的数量。在本文的分析中当取样面积为 0.41 时,斑块数量由取样面积为 0.48 的 166 个增加到 176 个(图 2 中箭头所指)。回归分析的结果表明,景观中斑块数量(y)与取样面积(x)之间有很好的拟合关系 $y = -7.2182x + 220.31$ ($R = 0.958 > 0.708 = \alpha_{0.01(10)}$),二者的关系密切。

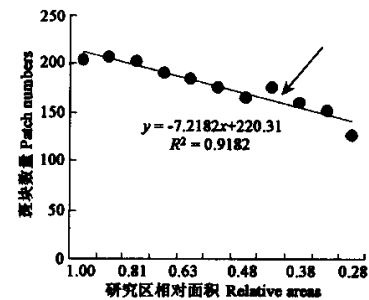


图 2 研究面积与斑块数量的关系

Fig. 2 Relation between study areas and patch numbers

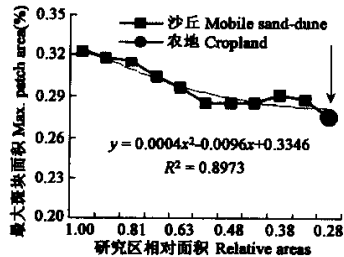


图 3 研究面积与最大斑域类型的关系

Fig. 3 Relation between study areas and Max. patch areas

从取样面积对最大斑块面积的影响来看(图 3),研究区面积的减小使景观中最大斑块面积(基底)呈下降趋势,但是当研究区面积占总面积的 0.33~0.55 之间时,景观中最大斑块的面积呈增加趋势。同时,从图 3 中还可以看出,研究区面积的减小不仅影响到最大斑块面积,而且还导致最大斑块(基底)类型发生了变化,在本项研究中由流动沙丘斑块转换为农田斑块(图 3 中箭头所指)。从最大斑块面积(y)和取样面积(x)二者的关系来看,关系密切 $R = 0.947 > 0.708 = \alpha_{0.01(10)}$,与斑块数量相比较,关系较复杂,拟合方程为一元二项式 $y = 0.0004x^2 - 0.0096x + 0.3346$ 。

3.1.2 对景观结构特征的影响 取样面积的大小不仅影响到斑块,而且对景观结构特征也有极大的影响,因为斑块是景观的组成要素,斑块面积和数量的变化必然影响到景观^[2,9,13,14]。研究面积对景观结构特征的影响分析显示,景观多样性指数的变化为抛物线型,在取样面积变化在 1~0.55 之间时,景观多样性指数呈增加的趋势,由 1.853 增加到 1.931 达到峰值;取样面积小于 0.55 时为下降的趋势,其中在 0.41~0.33 之间下降的最快,由 1.911 下降到 1.724(图 4)。景观多样性指数的变化说明,不同的取样尺度影响到了景观组成要素的变化,在取样面积约为研究区面积的一半左右,景观多样性最高。不同取样面积的平均多样性指数为 $1.863(\pm 0.075)$ 。

从景观优势度指数的变化来看,呈倒抛物线型(图 5)。在取样面积为 1~0.55 时呈下降趋势,并在面积为 0.55 时达到最低点,为 0.467。当取样面积大于 0.55 时,景观优势度指数呈增加的趋势。景观优势度指数的变化表明,景观中占优势的斑块类型(本文研究中为流动沙丘斑块,见图 3)在取样面积约为研究区面积的一半左右时,优势度最低。不同取样面积的平均优势度指数为 $0.534(\pm 0.075)$ 。

3.2 观察尺度的尺度效应

在取样面积不变的情况下,不同的分析尺度有着不同的分析结果。在大尺度的分析中,一些小的细节被忽略;而在小尺度的分析中,小的斑块特征也能反映出来^[15,16]。说明在景观格局分析中,同一观察物体,因观察尺度的变化,其量化值也发生改变。已有的研究表明,景观间除度指数是研究观察尺度的

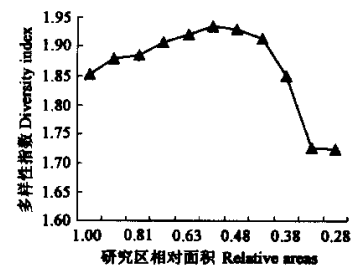


图 4 研究面积与景观多样性的关系

Fig. 4 Relation between study areas and landscape diversity indices

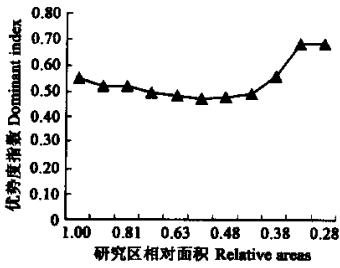


图 5 研究面积与景观优势度的关系

Fig. 5 Relation between study areas and landscape dominant indices

尺度效应的较好工具^[10,12]。

景观间隙度的尺度分析以 1991 年科尔沁沙地典型地区景观图为例,在原图上叠加一个由 5mm×5mm 透明格子组成的层面,转换所选样线(带)捕捉不同景观类型为 0、1 组成的分析图。其中 1 代表以流动沙丘地为基底的景观,0 则代表非基底类型的其它景观斑块类型。根据作为基底斑块类型的占有概率,分别设计排列出理想的均匀分布和聚块分布作为自然分布的参照。最后将 0、1 组成的图转换成 0、1 组成的数组输入到 Gap 模型计算不同观测尺度景观间隙度的变化情况。

分析结果表明,用景观间隙度指数描述的科尔沁沙地景观结构具有分形特征(图 6,图 7),不同的基底占有概率对应应有不同的分形特征。在 1985 年的科尔沁沙地景观中,当样带中流动沙丘斑块的占有率为最高时($p=0.41$),景观间隙度的指数最小,曲线在 3 条曲线的底端;当占有率为 $p=0.25$,间隙度指数曲线位于中部;当占有率为 $p=0.1$,间隙度曲线在最高;说明景观间隙度指数随研究斑块的占有率增加而减少(图 6)。3 种不同占有概率的景观间隙度与尺度的对数关系基本呈直线型,说明科尔沁沙地景观具有分形特征。对图 6 中的 3 条曲线做进一步的回归分析结果见表 1。

从表 1 可以看出,科尔沁沙地景观间隙度与尺度之间存在着很好的线性回归关系,二者之间关系密切。因此,根据表 1 中回归方程可推算出科尔沁沙地景观间隙度的分维数。具体步骤:

设, $L=kS^F$, L 为景观间隙度指数,分别代表基底占有概率为 0.41 ($L_{0.41}$)、0.10 ($L_{0.10}$) 和 0.25 ($L_{0.25}$), k 为常数项, F 为间隙度分维数, S 为观察尺度。其中 $F_i=1+b$, b 为回归方程的自变量系数。

即,景观间隙度指数与尺度负相关(图 6;表 1),当 $b=0$ 时(景观中只有一种类型,与尺度无关。), $F=1$ 景观为简单的几何形状;当 $b<0$ 时,分维数 F 值越大,景观的结构越复杂。

计算结果为 $F_{0.41}=0.737$, $F_{0.25}=0.606$, $F_{0.10}=0.557$ 。所以,可以得出科尔沁沙地以某一斑块类型为基底的间隙度与斑块类型的占有概率有关,占有概率越高,分维数越大。以不同斑块类型为基底的景观间隙度与研究尺度之间存在分形关系,不同空间尺度的研究结果可以相互转换。

此外,在研究对象景观占有概率相同的情况下,不同的分布格局对景观间隙度的影响也是比较明显的。从图 7 中可以看出,对于同一景观类型(占有率不变),不同的分布格局,景观间隙度指数随尺度的变化趋势不相同。从总体来看,研究尺度越小,三者的差别越小。随着研究尺度的增加,相互之间的差异增大。相比较而言,实际的景观间隙度指数更趋向于聚集分布,相互之间的距离较近;而反观理想的均匀分布,其于实际分布不同,而且其本身随研究尺度的增加出现有规律的断点,说明理想的均匀分布存在等级结构,要有规律的过程作用才能形成(如:人工混交林景观等)。

表 1 沙地景观间隙度与观察尺度对数的回归分析

Table 1 Regression analysis of lacunarities and scales in sandy landscape

回归方程 Regression function	相关性检查 Correlation check
$\ln(L_{0.41})=0.790-0.263\ln(S)$	* * $R=0.985>0.561=a_{0.01(18)}$
$\ln(L_{0.10})=2.51-0.443\ln(S)$	* * $R=0.976>0.561=a_{0.01(18)}$
$\ln(L_{0.25})=1.27-0.394\ln(S)$	* * $R=0.993>0.561=a_{0.01(18)}$

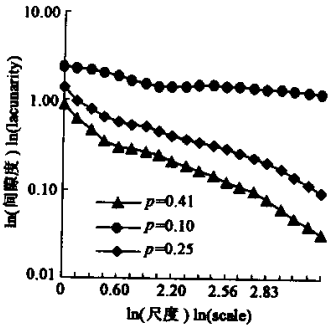


图 6 不同斑块占有概率的尺度特征

Fig. 6 Scale traits of different patch occupation probability

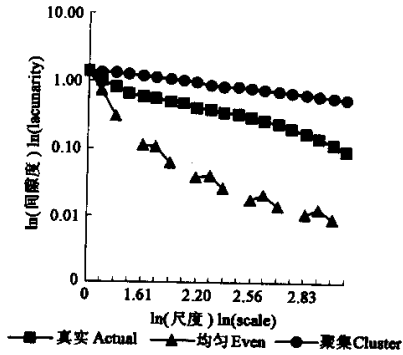


图 7 不同斑块分布格局的尺度特征

Fig. 7 Scale traits of different patch distribution patterns

4 结论

科尔沁沙地景观的尺度效应分析表明,在区域景观研究中尺度效应有两种表现形式,其一是研究区取样面积的尺度效应,其二是选定研究区域后的分析过程中的尺度效应。对于研究区取样面积的尺度效应而言,在斑块和景观两个尺度上的尺度效应的变化可以分别用回归分析方法和统计方法对其的变化趋势和范围进行判断。当然,最佳避免取样尺度影响的方法是研究区域和取样区域一致。而事实上更多的研究是通过典型性研究来阐述问题的^[5~7],所以取样尺度效应的研究是生态学和环境学研究中必不可少的方法。从不同的分析(或观测)尺度对结果的影响来看,尺度效应与研究对象的占有概率密切相关。这一结果与Mandelbrot的理论推导和Plotnick的实例应用的结果相似^[11,12]。在景观尺度上,若用景观间隙度指数分析尺度效应,则不同的分析尺度之间存在着很好的线性回归关系(或分形关系),分维数的大小与研究对象的占有率密切相关,占有概率越高,分维数越大。在研究对象景观占有概率相同的情况下,不同的分布格局存在不同的景观间隙度,研究尺度越大,三者的差别越大。相对而言,实际的景观间隙度指数更趋向于聚集分布,而偏离理想的均匀分布。

另外要强调地是在Arc-info环境下对解译图形的切割(不同取样尺度),应以景观中最大斑块类型(基底)的属性不变的前提下进行,否则取样的一致性和代表性将发生变化。本文的研究表明,当取样面积小于140km²(498.4 km²×0.28)时,景观中最大斑块类型由流动沙丘转变成水浇地。所以,在科尔沁沙地,当取样面积大于总面积28%时,空间属性的研究结果可以按一定的规律推绎到整个研究区。

在景观生态学的研究中,景观的结构、组成、功能的变化是其研究的核心问题^[4,8],尺度效应的研究,在一定程度上简化了研究过程并使研究结果在一定的范围内可推广使用,如:取样面积与斑块数量的关系、取样面积与最大斑块面积的关系和分析尺度与研究斑块的格局关系等。这些结果涉及到了景观的结构和组成的变化,但尚未涉及景观功能的变化,这也是今后研究中应加强的内容。同时还需要指出,不仅空间取样和分析尺度影响景观的分析结果,而且在时间尺度上也同样存在着尺度问题(O'Neill, et al, 1992; Levin, 1992^[1,3]),一个完整的景观分析应建立在时空尺度上。

References:

[1] Levin S A, The problem of pattern and scale in ecology. *Ecology*. 1992, **73**: 1943~1967.
[2] Turner, M G, and Gardner R H. *Quantitative Methods in Landscape Ecology*. Springer-Verlage, New York, USA, 1990, 26.
[3] O'Neill, R V, Gardner R H, Milne B T, et al. Heterogeneity and spatial hierarchies. In: Kolasa J and Pickett S

T A,eds. *Ecological Heterogeneity*. Springer-Verlag, New York, USA, 1991. 85~96.

[4] Forman R T T and Godron M. *Landscape ecology*. John Wiley and Sons, New York, USA, 1986. 194~203.

[5] Chang X L,Wu J G. Study on characteristics of landscape patterns in Kerqin sandland, *Acta Ecologica Sinica*, 1998, **18**(3):225~232.

[6] Wu B and Ci L J. Temporal and spatial patterns of landscape in the Mu Us sandland, northern China. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, **21**(2):191~196.

[7] Milne B T. Lessons from applying fractal models to landscape patters. In:Turner M G and R H Gardner, eds. *Quantitative Methods in Landscape Ecology*. Springer-Verlag, New York, USA, 1991. 199~235.

[8] Wu J G and Loucks O L. From balance of nature to hierarchical patch dynamics: A paradigm shift in ecology. *The Quarterly Review of Biology*, 1995, **70** (4):439~466.

[9] Forman R T T and Godron M. *Landscape ecology*. John Wiley and Sons, New York, USA, 1986. 194~203.

[10] Chang X L. Application of landscape lacunarity in desertification research. *Journal of Desert Research*, 1997, **17** (4):351~354.

[11] Mandelbrot B B. *The Fractal Geometry of Nature*. W. H. Freeman, NY, USA, 1983. 315~316.

[12] Plotnick R E, Gardner R H and O'Neill R V. Lacunarity indices asmeasures of landscape texture. *Landscape Ecology*, 1993, **8**(3):201~211.

[13] Fu B J. Spatial patterns analysis of agricultural landscape in loess region. *Acta Ecologica Sinica*, 1995,**15**(2):113~120.

[14] Wang X L, Xiao D N, Bu R C, *et al.* Landscape pattern analysis of wetland in Liaohe delta. *Acta Ecologica Sinica*, 1997, **17**(3):317~323.

[15] Xiao D N, Bu R C and Li X Z. Ecological spatial theory and landscape heterogeneity. *Acta Ecologica Sinica*, 1997, **17**(5):453~461.

[16] Fu B J. Study on landscape diversity analysis and its cartography. *Acta Ecologica Sinica*, 1995, **15**(4):345~350.

参考文献:

[5] 常学礼, 邬建国. 科尔沁沙地景观格局的特征分析. *生态学报*, 1998, **18**(3):225~232.

[6] 吴波, 慈龙骏. 毛乌素沙地景观格局变化研究. *生态学报*, 2001, **21**(2):191~196.

[10] 常学礼. 景观间隙度指数在沙漠化研究中的应用. *中国沙漠*, 1997, **17**(4):351~354.

[13] 傅伯杰. 黄土区农业景观空间格局分析. *生态学报*, 1995, **15**(2):113~120.

[14] 王宪礼, 肖笃宁, 布仁仓, 等. 辽河三角洲湿地的景观格局分析. *生态学报*, 1997, **17**(3):317~323.

[15] 肖笃宁, 布仁仓, 李秀珍. 生态空间理论与景观异质性. *生态学报*, 1997, **17**(5):453~461.

[16] 傅伯杰. 景观多样性分析及其制图研究. *生态学报*, 1995, **15**(4):345~350.