

辽河三角洲湿地的景观格局分析

王宪礼 肖笃宁 布仁仓 胡远满

(中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳, 110015)

A **摘要** 利用遥感、GIS手段对辽河三角洲湿地景观的格局与异质性进行研究, 结果表明, 研究区空间格局的基本构型以大斑块为主体, 破碎化程度较低, 基本呈聚集型分布。构成景观主体的是稻田景观、苇田景观和滩涂景观, 尤以稻田景观为最。聚集度指数人工湿地为0.924, 自然湿地次之为0.897, 半自然湿地为0.870。整个研究区共有斑块1213个, 最大斑块为1401.38 km², 最小斑块只有0.394 km²。其间相差3600余倍, 表明斑块在大小上变异很大。斑块形状较为规则, 同类型斑块间的差异较小, 自我相似性较好, 从这一角度来说, 研究区景观的总体构型较为规整且有章可循。密集的廊道体系是研究区景观的重要特色之一。随着人类干扰强度增加, 景观多样性下降, 优势度增高。

关键词: 湿地, 景观格局。

景观生态学

ANALYSIS ON LANDSCAPE PATTERNS OF LIAOHE DELTA WETLAND

Wang Xianli Xiao Duning Burencang Hu Yuanman

(Institute of Applied Ecology, Academia Sinica, Shenyang, 110015)

Abstract In this essay we studied the landscape patterns and its heterogeneity of the Liaohe Delta with the help of Remote sensing and GIS. The result showed that the study area was composed of large patches mainly distributed in clusters. The main components of the landscape are paddy field, weed field and beach, and the paddy field is the most important one. The contagion indices of artificial wetland, natural wetland and semi-natural wetland were 0.924, 0.897 and 0.870, respectively. There were 1213 patches in the studied region, and the largest one was 1401.38 km², which was 3600 times of the smallest one (0.394 km²). This showed that the difference of patch areas was very large. The shapes of patches were regular in the area, and the difference of patches in the same type was very small. A concentrated corridor system was another characteristic of the area. With the increasing disturbances, the landscape diversity decreased and the dominated increased.

Key words: wetland, landscape patterns.

• 国家自然科学基金资助项目。

收稿日期: 1996-04-27, 修改稿收到日期: 1996-10-04。

景观是由大大小小的斑块组成的, 斑块的空间分布称为格局。景观格局是由许多景观过程长期作用的产物, 同时景观格局也直接影响景观过程。不同的景观格局对景观上的个体、种群或生态系统的作用差别很大。

1 研究方法

1.1 自然概况

辽河三角洲位于辽河平原南部。渤海辽东湾顶部, 是由辽河、双台子河、大凌河、小凌河、大清河等一系列河流作用形成的冲海积平原, 总体呈湾状三角洲, 而辽河三角洲是其主体部分。盘锦市是三角洲的核心, 代表着整个三角洲的特征。因此, 本文选取盘锦市为研究范围, 后文的计算和分析都以盘锦市为对象。

辽河三角洲属暖温带大陆性半湿润季风气候。地貌为冲海积平原, 地势平坦, 地貌类型单一, 地面高程小于 7 m, 坡降为 1/20000~1/25000, 海岸地带地势低洼, 湿地遍布, 潮沟发育。从小凌河口~大清河河口, 形成的潮间带滩面平坦, 平均坡降 1/2000~1/4000, 滩面宽在 3~4 km, 在双台子河口最宽, 达 8~9 km。

辽河三角洲主要土壤类型有水稻土、盐草甸土、沼泽土。由于具有独特的水文、土壤等条件, 从而造成了植被在本区的分异。本区植被群落类型以水生或湿生为主。辽河三角洲发育着大面积的以芦苇沼泽为主的湿地, 总面积 900 km² 左右, 为目前世界第一大苇田。经过 40 余年的开垦, 该区现有稻田 2000 km² 左右, 形成了规模巨大的人工湿地, 加上不断淤涨的滩涂及水面, 合计湿地面积占总土地面积的 90% 以上。

1.2 技术路线

本文根据 1:100000 假彩色 TM 卫片(1994 年 9 月 8 日)、1:100000 地形图(1977 年 8 月航测, 1978 年 5 月调绘, 1979 年第一版)、1:100000 土地利用现状图(1986 年航测, 1987~1988 年调绘, 1989 年编绘)、1:100000 土壤图(1981 年调查, 1985 年成图)、1:200000 地貌图(国家海洋局, 国家测绘局 1988 年)以及 1:150000 植被图(董厚德编绘, 内部资料, 交流)等, 以植被、土壤、地貌等自然地理要素为指标, 通过卫片解译和其他图件的综合分析及野外调查, 采用分段命名法, 编制了辽河三角洲湿地的景观分类系统, 并绘出了研究区的景观类型图和湿地类型图。此外, 还单独编订了廊道类型系统并绘制了一张廊道类型图。利用 ARC/INFO 软件对以上各图件进行计算和分析, 获得了相应的属性数据, 根据这些数据对辽河三角洲湿地景观的格局进行分析。

2 景观格局指数

对景观空间格局与异质性的定量描述是分析景观结构、功能及过程的基础。通过格局和异质性分析就可以把景观的空间特征与时间过程联系起来, 从而能够较为清楚地对景观内在规律性进行分析和描述。这是景观生态学与其它生态学科的重要区别之一。

2.1 景观多样性指数(H):

H 值的大小反映景观要素的多少和各景观要素所占比例的变化。当景观是由单一要素构成时, 景观是均质的, 其多样性指数为 0; 由两个以上的要素构成的景观, 当各景观类型所占比例相等时, 其景观的多样性为最高; 各景观类型所占比例差异增大, 则景观的多样性下降^[1]。景观多样性的计算公式如下:

$$H = - \sum_{i=1}^m (P_i) \log_2(P_i)$$

式中, P_i 是 k 种景观类型占总面积的比, m 是研究区中景观类型的总数。

2.2 优势度指数(D):

优势度指数表示景观多样性对最大多样性的偏离程度, 或描述景观由少数几个主要的景观类型控制

• 该指数取值与分类系统的精细程度密切相关。

的程度。优势度指数越大, 则表明偏离程度越大, 即组成景观各景观类型所占比例差异大, 或者说某一种或少数景观类型占优势; 优势度小则表明偏离程度小, 即组成景观的各种景观类型所占比例大致相当, 优势度为 0, 表示组成景观各种景观类型所占比例相等; 景观完全均质, 即由一种景观类型组成。

优势度指数计算公式为:

$$D = H_{\max} + \sum_{k=1}^m (P_k) \log_2(P_k)$$

其中, $H_{\max} = \log_2(m)$, P_k 为 k 种景观占总面积的比, m 为景观类型总数。 H_{\max} 为研究区各类型景观所占比例相等时, 景观拥有的最大的多样性指数^[2]。

2.3 均匀度指数:

均匀度是描述景观里不同景观类型的分配均匀程度。Romme 的相对均匀度计算公式为^[4]:

$$E = (H/H_{\max}) \times 100\%$$

式中, E 是均匀度指数(百分数), H 是修正了的 Simpson 指数, H_{\max} 是在给定丰富度 T 条件下景观最大可能均匀度。 H 和 H_{\max} 计算公式为:

$$H = -\log\left[\sum_{k=1}^m (P_k)^2\right]$$

$$H_{\max} = \log(m)$$

$P(k)$ 和 m 的定义同上;

均匀度和优势度一样, 也是描述景观由少数几个主要景观类型控制的程度。这两个指数可以彼此验证。

2.4 景观破碎化指数

在较大尺度研究中, 景观的破碎化状况是其重要的属性特征。景观的破碎化与人类活动紧密相关, 与景观格局、功能与过程密切联系, 同时它又与自然资源保护互为依存。

破碎化指数即为描述景观里某一景观类型在给定时间里和给定性质上的破碎化程度。除廊道密度指数外, 本文所采用的破碎化指数的取值为 0~1 之间; 0 代表无破碎化存在, 而 1 则代表给定性质已完全破碎化。

2.4.1 景观斑块数破碎化指数 该指数的计算公式为:

$$FN_1 = (N_p - 1)/N_c$$

$$FN_2 = MPS(N_f - 1)/N_c$$

式中, FN_1 和 FN_2 是两个某一景观类型斑块数破碎化指数, N_c 是景观数据矩阵的方格网中格子总数, N_p 是景观里各数斑块的总数; MPS 是景观里各数斑块的平均斑块面积(以方格网的格子数为单位), N_f 是景观中某一景观类型的总数^[3]。

本文对该计算公式进行了改进, N_c 不采用方格网中格子总数, 而是用研究区最小的斑块面积去除总面积, 也就是用最小斑块面积作为每一网格的大小, 这种做法就是减少由于网格尺度不同而造成的数据变化, 从而使该指数在某一研究区的某一分类系统下稳定。同样, MPS 也以研究区的最小斑块的数目为单位。在本指数计算中, 最小斑块被视为正方形网格(cell)。

2.4.2 廊道密度指数

廊道景观在研究区单位面积内的长度也是一种衡量景观破碎化程度的指数。廊道除了作为流(flows)的通道外, 它还是分割景观, 造成景观破碎化程度加深的动因; 单位面积中廊道愈长, 景观破碎化程度愈高。通过廊道密度计算, 可以弥补斑块破碎化计算中同一种景观类型破碎化程度被忽视的一面。

2.5 斑块的分数维(fractal dimension, FD)

分维数是分维变量的维度, 它是分维变量的主要特征数。分维数的一般数学表达式为:

$$Q(L) = LD$$

式中, $Q(L)$ 是在观测尺度 L 上获得的某种量(即分维变量), D 是量 Q 的分维数。

分维数在不同的分析中计算方法不同。景观斑块的分维数采用周长与面积关系进行计算,公式为:

$$\log(1/4) = k \cdot \log(S) + C$$

这是一周长与面积线性回归方程。式中, k 为直线斜率, C 为截距, 廊道为斑块的边长; S 为相应斑块的面积。

分数维 $FD = 2k$

在实际计算中, FD 值一般均处于 1~2 之间^[5, 6, 3]。其物理意义有两个方面: 其一, FD 愈趋近于 1, 则斑块的自我相似性愈强, 斑块形状则愈有规律; 其二, FD 值愈趋近于 1, 则斑块的几何形状愈趋向简单, 表明受干扰的程度越大, 这是因为, 人类干扰所形成的斑块一般几何形状较为规则, 因而易于出现相似的斑块形状, 如果仅从分数维本身数学公式出发, 它只代表斑块的自我相似性。

2.6 聚集度指数:

聚集度描述的是景观里不同生态系统的团聚程度。由于这一指数包含空间信息, 因而广泛地被应用于景观生态学领域。它是描述景观格局的最重要的指数之一。

聚集度的计算公式为:

$$RC = 1 - C/C_{max}$$

式中, RC 是相对聚集度指数(0~1 取值), C 为复杂性指数, C_{max} 是 C 的最大可能取值。 C 和 C_{max} 的计算公式:

$$C = - \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m P(i, j) \log[P(i, j)]$$

$$C_{max} = m \log(m)$$

式中, $P(i, j)$ 是生态系统 i 与生态系统 j 相邻的概率, m 是景观里生态系统类型总数。在实际计算中 $P(i, j)$ 可由下式估计:

$$P(i, j) = EE(i, j) / Nb$$

式中, $E(i, j)$ 是相邻生态系统 i 与 j 之间的共同边界长度, Nb 是景观里不同生态系统间边界的总长度, RC 的取值大, 则代表景观由少数团聚的大斑块组成, RC 取值小, 则代表景观由许多小斑块组成。

3 结果分析

本文对以上各种指数的计算都是分两套系统进行的: 一是景观类型系统(表 1), 二是湿地类型系统(亦是景观系统, 是由不同景观类型, 由低级向高级组合而成的)(表 2)。这两套系统之间可以彼此参证, 互为补充。

表 1 景观类型系统表

Table 1 The landscape types

| 景观类型 Landscape type | 各类景观面积(km ²) Area of different landscape types | 所占比例(%) Percentage | 斑块个数 Number of Patches | 所占比例(%) Percentage |
|--------------------------------------|--|-----------------------|------------------------------|-----------------------|
| 人工景观 Artificial landscape | 535.429 | 0.126 | 782 | 64.5 |
| 砾沙质冲洪积扇景观 Alluvial & diluvial fan | 142.487 | 0.034 | 31 | 2.6 |
| 平洼地景观 Low-lying area | 212.856 | 0.050 | 59 | 4.9 |
| 低湿地景观 Low wetland | 901.825 | 0.213 | 112 | 9.2 |
| 低平地景观 Low flat ground | 1506.936 | 0.355 | 115 | 9.5 |
| 滩涂景观 Beach | 431.789 | 0.102 | 30 | 2.5 |
| 砂洲景观 The shoal | 93.228 | 0.022 | 8 | 0.7 |
| 河流、河漫滩景观 River and bank | 368.564 | 0.087 | 68 | 5.6 |
| 三角洲景观 The delta | 48.481 | 0.012 | 8 | 0.7 |
| 合计 Sum | 4241.955 | | 1213 | |

下面对计算所得的指数数据分别进行分析和评价,以求获得一些规律性的认识。

3.1 多样性指数分析

对景观类型系统中不同景观类进行多样性计算,可以发现,低湿地景观多样性指数值最高,为1.657,这一类景观的植被以芦苇为主,表明不同类型的芦苇湿地景观类型较多,而低平地景观多样性指数最低,只有0.488,原因在于该类景观包含类型较少且占绝对优势的是稻田;其它成份只占很小的份额(表3)。

表2 湿地类型系统表

Table 2 The wetland types

| 类型 Wetland type | 1994年湿地景观 类型的面积(km ²) Area of different wetlands in 1994 | 各类湿地所 占比例 Percentage of different wetlands (%) | 斑块个数 Number of patches | 斑块数所占比例 Percentage of patch numbers (%) |
|--------------------------|---|--|---------------------------|--|
| 人工湿地 Artificial | 2299.452 | 0.542 | 171 | 31.0 |
| 半自然湿地 Semi-natural | 917.608 | 0.216 | 157 | 29.3 |
| 自然湿地 Natural wetlands | 744.351 | 0.175 | 100 | 18.7 |
| 库塘 Reservoir and pond | 65.046 | 0.015 | 61 | 11.4 |
| 河流 River | 104.813 | 0.025 | 3 | 0.6 |
| 虾蟹田 Shrimp and crab pond | 110.685 | 0.026 | 43 | 8.0 |
| 合计 Sum | 4241.955 | | 535 | |

表3 景观格局指数表

Table 3 Indices of landscape pattern

| 景观类型 landscape type | H | D | E | H _{max} | FN ₂ | 分数维 | 聚集度指数 |
|-----------------------------------|-------|-------|-------|------------------|-----------------|-------------------|-----------|
| | | | | | | Fractal dimension | Contagion |
| 人工景观 Artificial landscape | 1.225 | 0.360 | 0.615 | 1.585 | 0.644 | 1.207 | 0.457 |
| 砾沙质冲洪积扇景观 Alluvial & diluvial fan | 1.657 | 0.343 | 0.696 | 2.000 | 0.025 | 1.305 | 0.538 |
| 平洼地景观 Low-lying area | 1.973 | 0.612 | 0.677 | 2.585 | 0.048 | 1.362 | 0.686 |
| 低湿地景观 Low wetland | 2.657 | 0.928 | 0.608 | 3.585 | 0.094 | 1.311 | 0.826 |
| 低平地景观 Low flat ground | 0.488 | 1.834 | 0.089 | 2.322 | 0.094 | 1.411 | 0.715 |
| 滩涂景观 Beach | 1.243 | 0.757 | 0.526 | 2.000 | 0.024 | 1.191 | 0.681 |
| 砂洲景观 The shoal | 1.219 | 0.781 | 0.554 | 2.000 | 0.006 | 1.214 | 0 |
| 河流、河漫滩景观 River and bank | 2.368 | 0.439 | 0.775 | 2.807 | 0.055 | 1.394 | 0.690 |
| 三角洲景观 Delta | 1.688 | 0.634 | 0.624 | 2.322 | 0.006 | 1.017 | 0.706 |

注: H_{max}——景观最大多样性指数

从总体来看,本研究区景观区样性指数值为4.027,远高于各类景观的多样性指数值。其原因是显而易见的,即类型数多(50类)。

对于湿地分类系统,剔除居民及工业用地,把库塘与虾蟹田归入人工湿地,河流归入自然湿地,计算其多样性指数(共3类),结果规律性很强,即自然湿地>半自然湿地>人工湿地(见表4)。

3.2 优势度分析

优势度以低平地最高,为1.834,砾沙质冲洪积扇和人工景观最低,<0.400(表3);低平地景观中稻田景观占绝对优势,故优势度很高,低湿地以几种芦苇湿地景观占优势。人工景观和砂洲则各类型较为均一,故优势度很小。

研究区总的优势度为1.657,优势度很高,以稻田,苇田和滩涂占优势。

在湿地系统中,优势度取值与多样性指数取值趋势相反,即人工湿地>半自然半人工湿地>自然湿地(表4)。

3.3 均匀度分析

均匀度指数以河流河漫滩景观为最高,为 0.775,相比之下低平地景观最低,为 0.089,其它各类景观均匀度 0.5~0.7 之间处于中等水平(表 3)。

湿地系统均匀度相比较,其趋势为自然湿地>半自然湿地>人工湿地,且均>0.65(即 65%)。可以说均匀度偏低(表 4)。

表 4 湿地格局指数表

Table 4 Indices of wetland pattern

| 类型 Type | 分数维 | | | | | | 聚集度指数 Contagion |
|---|--------|----------------------|-------|-------|-------|-----------|--------------------|
| | FN_2 | Fractal dimension | H | D | E | H_{max} | |
| 居民与工业用地 Residential and industrial land | 0.558 | 1.278 | | | | | |
| 库塘 Reservoir & pond | 0.049 | 0.975 | | | | | |
| 虾蟹田 Shrimp and crab pond | 0.035 | 1.171 | | | | | |
| 河流 River | 0.002 | 1.562 | | | | | |
| 人工湿地景观 Artificial wetland | 0.140 | 1.393 | 2.166 | 2.004 | 0.277 | 4.17 | 0.924 |
| 半自然湿地景观 Semi-natural wetland | 0.129 | 1.256 | 2.713 | 1.094 | 0.583 | 3.807 | 0.870 |
| 自然湿地景观 Natural wetland | 0.082 | 1.222 | 3.07 | 1.017 | 0.638 | 4.087 | 0.897 |

注: H_{max} —景观最大多样性指数

3.4 景观破碎化指数分析

3.4.1 景观斑块数破碎化指数

该指数包括两种 FN_1 和 FN_2 , 这两个指数的值域为 [0, 1]。

用图上最小斑块(图上面积)0.006(inch²)去除总面积得 $N_c=119451.956$ 。

经计算 $FN_1=0.010$, 为整个研究区景观斑块破碎化指数。

FN_2 为各类景观的斑块破碎化指数(见表 3)。 FN_2 最大的是人工景观, 为 0.644, 最小的是沙洲和三角洲景观, 均为 0.006, 从表上数据可以看出随着人类干扰程度增加, 斑块破碎化指数增加, 所以通过这一指数, 可以确定人类对景观的干扰程度。在湿地类型中(表 4), 斑块破碎化指数亦遵循这一规律。

3.4.2 廊道密度指数

廊道密度在研究区中为 1.089 km/km², 水和道路密度分别为 0.649 km/km² 和 0.351 km/km², 表明水网在景观中居主体, 并且是分割景观的主要廊道类型。

3.5 斑块的分数维

分维值以大凌河口三角洲景观为最低(最接近 1), 滩涂景观, 人工景观和沙洲景观次之, 低平地景观和河流、河漫滩景观最高(表 3)。

湿地分类系统中, 水库、坑塘的分维值最接近 1, 虾蟹田次之, 河流最高(表 4)。

人工湿地及上文中低平地景观的分维值都偏高, 其原因在于本文工作的比例尺上, 稻田的斑块划分不能按田块进行, 其分维值偏高是其整体的自相似程度较低, 且形状不规则的致。

3.6 景观聚集度指数

研究区总的聚集度指数为 $RC=0.955$, 表明整个研究区是以少数大斑块为主体构建起来的, 这些大斑块包括大面积的水稻田, 苇田及滩涂景观。

在各类景观中, 低湿地景观的聚集度为最高, 为 0.826, 其次为低平地, 0.715。这两类景观分别以苇田和稻田为主体, 故而聚集度指数大。最低的是沙洲景观, 为 0, 表明构成该种景观的各斑块体空间上没有任何联系完全离散分布, 其次为人工景观, 0.475, 表明这一类景观是由许多小斑块组成的, 这一组数据与图面定性判别符合很好(见表 3)。

从湿地类型角度分析(居民及工业用地参与各种类型计算, 河流归入自然湿地, 虾蟹田和库塘归入人工湿地), 可以发现, 人工湿地的聚集度指数最高, 为 0.924, 其它半自然湿地和自然湿地相近, 均为 0.850 以上(见表 4)。表明研究区的各湿地类型主体均为大斑块, 这与实际状况完全符合。其实, 稻田(人

工湿地)、苇田和滩涂共同构成研究区基本背景。

4 结论与讨

通过以上各种指数分析,关于研究景观格局可以得出如下结论。

4.1 空间格局的基本构型以大斑块为主体,基本呈聚集型分布。构成景观主体的是稻田景观、苇田景观和滩涂景观,尤以稻田景观为最。在空间分布上,自陆向海,基本上是按着稻田、苇田、滩涂的方式排列,其中苇田处于陆地生态系统和海洋生态系统之间,形成了一个有效的缓冲带,对于缓解海洋污染,以及对海洋生物和其他生物物种的保护具有十分重要的作用。因而在三角洲的开发过程中,应注重保护这一景观结构,以达到三角洲的持续发展之目的

4.2 整个研究区共有斑块 1213 个,最大斑块为 1401.38 km²,最小的斑块只有 0.394 km²。其间相差 3600 余倍,表明斑块在大小上变异很大。

斑块形状较为规则,同类型斑块间的差异较小,自我相似性较好,从这一角度来说,研究区景观的总体构型较为规整且有章可循。

4.3 密集的廊道体系是研究区景观的重要特色之一

初步可以把廊道景观划分为 10 类,总长度为 4656.363 km,平均每平方公里有 1.089 km 的廊道,廊道中可以灌溉和排水的渠道为主体,共有 2378.576 km,占总廊道长度的 51.1%,是维系研究区人工湿地和半自然湿地的动脉。同时,廊道又分割了景观,改变了自然景观的原貌。渠道的开通造就了大片人工湿地,延缓了半自然湿地向旱地的退化,同时通过排水洗盐又造成了自然的沼泽湿地退化等。

同时,廊道的增加又是造就景观破碎化的动因和前提,由于渠道和道路的开通,方便了人类的活动,因而加剧了对湿地的人为干扰。

研究区廊道分布最密集区是人工湿地区,即人类活动愈频繁区,廊道的密度亦加大。正如湿地类型的多样化一样密集的廊道景观也是研究区的重要特征之一。

4.4 干扰与景观演替在空间特征上的反映

4.4.1 随着人类干扰强度增加,景观多样性下降,优势度增高,占优势的景观包括稻田,芦苇沼泽湿地以及滩涂景观等。景观多样性下降和优势度增高表明人类对景观的管理程度的加强,这种结果一方面增加了地区的经济效益,另一方面也降低了该地区的生物生境的多样性,造成一些物种种群数量的减少甚至消失。因而,如何把经济开发和自然保护结合好是有待于进一步深入研究的课题。

4.4.2 随着人为干扰强度的增加,景观破碎化程度加深,景观破碎化与优势度增高并不矛盾,由于人类定向选择造成许多景观类型(生态系统)退化或消失,同时人类活动又不断分割景观使原来成为整体的自然景观分化成为不同类型景观斑块。

参 考 文 献

- 1 赵 羿等. 沈阳市东陵区景观格局变化及其对环境的影响研究. 都市与计划(台湾), 1993, 20(1): 75~87
- 2 肖笃宁. 景观空间结构的指标体系和研究方法. 见肖笃宁主编. 景观生态学: 理论、方法及应用. 北京: 林业出版社, 1991. 92~98
- 3 李哈尔滨, 伍业纲. 景观生态学的数量研究方法. 见: 刘建国主编. 当代生态学博论. 北京: 中国科学技术出版社, 1992. 209~233
- 4 Romme W H. Fire and Landscape Diversity in Subalpine Forests of Yellowstone National Park. *Ecological Monograph* 1982, 52: 199~211
- 5 Monica Gorgel Tumer, Lynn Ruscher C. Changes in Landscape Patterns in Georgia, USA. *Landscape Ecology*, 1988, 1(4): 241~251
- 6 Monica G. Tumer and Robert H. Gardner eds. *Quantitative methods in Landscape Ecology*. Springer Verlag New York Inc. 1991