

三江平原沼泽湿地景观空间格局变化

汪爱华, 张树清, 张 柏

(中国科学院东北地理与农业生态研究所, 长春 130012)

摘要:景观空间格局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。这一研究可为环境资源的合理管理提供有价值的资料,已成为景观生态学研究的核心之一。通过选取斑块连接指数、分布质心和扩展度等模型,来表征三江平原沼泽湿地景观近 20a 来空间格局变化情况。结果表明:(1)三江平原沼泽湿地的破碎化较为严重,斑块数量增加了 46%,斑块密度净增加 2 倍。与 1980 年相比,1996 年最大斑块面积缩小了 65.37%,最大斑块周长缩短了 52.47%。(2)三江平原沼泽湿地斑块间隙在不同时期都较大,且随着沼泽湿地面积的减小和斑块数量的增加,其斑块间隙越来越大,进一步说明沼泽湿地的破碎化较为厉害。(3)1980~1996 年间三江平原沼泽湿地的分布质心向西南方向偏移了 7.05km,1996~2000 年向西北方向偏移了 6.01km。(4)1980、1996、2000 年三江平原沼泽湿地的扩展度分别接近于 14.222、11.101 和 11.262。其值都远大于 1,说明斑块形状与圆形相差较大,形状不规则。近 20a 来,人类活动对沼泽湿地空间格局变化的影响程度较大,1980~1996 年尤为明显,而在 1996~2000 年,由于采取了保护措施,其影响程度开始变弱。

关键词:三江平原;空间格局;连接指数;分布质心;扩展度

A study on the change of spatial pattern of wetland in the Sanjiang Plain

WANG Ai-Hua, ZHANG Shu-Qing, ZHANG Bai (Northeast Institute of Geography and Agricultural Ecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun, 130012, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(2): 237~243.

Abstract: Landscape spatial pattern mainly refers to the distribution of patches, which are different in size and shape in space owing to the interaction of various ecological activities. The study on landscape spatial pattern provides valuable information for rational management of the environmental resources. And it has been one of the key study areas in landscape ecology as a whole. This article presents the dynamic change of wetland spatial pattern in the last two decades in the Sanjiang Plain based on the trial of models of proximity index, distribution centroid, and extended dimension, a parameter to represent the shape of wetland patches.

Sanjiang Plain consists of Heilong River, Songhua River and Wusuli River, located in the region of 43° 49' 55"~48° 27' 40"N, 129° 11' 20"~135° 05' 26"E, where 23 counties covers a gross area of 108,900 km². Satellite imageries of different years, Landsat MSS in 1980, Landsat TM in 1996 and 2000 respectively, were used to analyse the dynamic change of wetland spatial pattern in the study area. For the images

基金项目:中国科学院知识创新工程资助项目(KZCX2-308-3-5; INF105-SPB-1-24)

收稿日期:2001-12-07; **修订日期:**2002-07-02

作者简介:汪爱华(1977~),女,安徽合肥人,硕士研究生。主要从事遥感和地理信息系统的应用研究。

致谢:英文摘要得到吉林大学周云轩教授的指导,特此表示感谢!

Foundation item: The Knowledge Innovation Project of CAS(No. KZCX2-308-3-5; No. INF 105-SPB-1-24)

Received date: 2001-12-07; **Accepted date:** 2002-07-02

Biography: WANG Ai-Hua, Graduate student. Mainly interested in the field of the application of remote sensing and GIS.

captured approximately in the same season, the change detection error introduced by mere seasonal difference was minimized. Following an interactive interpretation procedure, the distribution map of wetland in 1980, 1996 and 2000 were obtained, which were geometrically registered to a common map projection. Software Arc/Info 7.1 and Excel 2000 were employed in the analysis.

The study shows that the number of patches in 2000 increased by 46% over 1980, the density of patches tripled, and the area and perimeter of the biggest patch in 1996 decreased by 65.37%, 52.47% over 1980. Furthermore, the gap of patches in 1996 and 2000 was larger than in 1980. Both increased number of patches and gap between patches indicate the increasing fragmentation of wetland patches. The distribution centroid of patches has moved 7.05km towards southwest from 1980 to 1996, and 6.01km towards northwest from 1996 to 2000. The development of wetland was 14.222, 11.101 and 11.262 in 1980, 1996 and 2000 respectively, which means that the shape of wetland was very much irregular, far more different from a rounded shape.

In short, the impact of human activity on the spatial pattern of wetland in the last two decades in the Sanjiang Plain was large, especially from 1980 to 1996. It reduced its strength from 1996 to 2000 because some protective measures had been taken.

Key words: the Sanjiang Plain; spatial pattern; proximity index; distribution centroid; development of patches

文章编号:1000-0933(2003)02-0237-07 中图分类号:P208,Q149,X17 文献标识码:A

景观生态学研究由不同生态系统组成的景观的空间结构、相互作用、功能和动态变化,研究景观和区域尺度的资源、环境经营管理,以及人类活动对景观及其组分的影响等问题^[1,2]。景观空间格局是指大小和形状不一的景观斑块在空间上的排列,它是景观异质性的重要表现,又是各种生态过程在不同尺度上作用的结果^[3]。这一研究可为环境资源的合理管理提供有价值的资料,已成为景观生态学研究的核心之一^[4]。

三江平原是由黑龙江、松花江、乌苏里江冲积而成的低平原,区内沼泽广布,是我国最大的沼泽集中分布区。自20世纪50年代,人类开始对三江平原进行了过度的开发和破坏,使得沼泽湿地资源的数量和质量急剧下降^[5],其空间分布格局也遭到严重干扰,从而引起了一系列生态环境问题,表现为区内气候变干、河流径流量减少、地下水位下降、土壤退化和肥力耗竭、环境污染加剧以及动植物资源减少等^[6]。因此,研究三江平原沼泽湿地的空间格局变化对区域湿地资源的管理和可持续发展具有重要的意义。

1 研究区概况

三江平原位于黑龙江省的东北部,地理坐标为43°49′55″~48°27′40″N,129°11′20″~135°05′26″E,总面积10.89万km²。该区西南高东北低,除西部和西南部边界的小兴安岭、老爷岭、张广才岭和横亘中部的完达山为森林覆盖的山区外,广阔的冲积低平原和河流形成的阶地、河漫滩上广泛发育着沼泽和沼泽化草甸。本区在大地构造上属于同江内陆断陷,是新生代大面积沉陷地区。构成平原主体的地貌类型为一级阶地和河漫滩,少量的低山残丘散立于平原中,打破了单一的平原景观。地表组成物质为第四纪沉积物,广泛分布着3~17m厚的粘土、亚粘土层。本区气候类型为温带湿润、半湿润大陆性季风气候,1月均温低于-18℃,7月份均温为21~22℃,≥10℃活动积温为2300~2500℃;无霜期120~140d;年降水量500~650mm,主要集中在5~9月份,占全年降水的80%。本区河流大多具有平原沼泽(性河流)的特点,河流的纵比降小,河槽弯曲系数大,一般在1.5~3.0之间。植被种类组成属于长白植物区系,以沼泽化草甸和沼泽植被为主。土壤主要有棕壤、黑土、白浆土、草甸土和沼泽土5种。区内有5个省辖市,18个市县,总人口851.97万,农业是该区主要产业,据1999年资料统计,18个市县产粮1302.86万t,农林牧渔业总产值达223.64亿元,是国家重点商品粮豆基地。

2 信息获取与研究方法

2.1 数据源与数据处理平台

本文选取的数据源为 1980 年版《三江平原沼泽图》^①以及 1996 和 2000 年 TM 影像(时相为 5~9 月份)解译数据。采用数据处理平台包括 Arcview3.2、Arc/Info7.1 和 Excel2000。

2.2 工作流程与方法

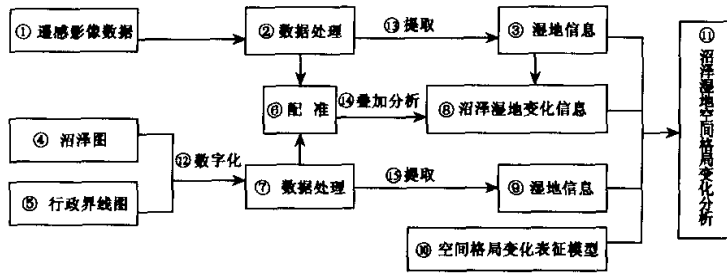


图 1 工作流程图

Fig. 1 The flow of the study

①RS image data ②Data processing ③Wetland information ④Marsh map ⑤Administerial Boundary map
⑥Register ⑦Data processing ⑧Change information of marsh wetland ⑨Wetland information ⑩The change model of spatial pattern ⑪Analysis on the spatial pattern change of wetland

工作流程如下图 1 所示,在 Arcview 下,将《三江平原沼泽图》和三江平原行政界线图(来源于《三江平原沼泽图》)矢量化,并在 Arc/Info 7.1 下对数字化后的 1980 年三江平原沼泽图和 1996 年、2000 年遥感解译数据进行修改、编辑,得到 3 个时期沼泽湿地的空间分布图(图 2),建立空间数据库。三期沼泽湿地分布图采用相同的分类系统和编码体系,并以 1980 年沼泽湿地分布图为主控图层,进行坐标转换和投影转换,同时采用相同的精度控制(fuzzy,weed,dangle 等)建立拓扑关系,这样,三期沼泽湿地分布图就能在相同的分类系统和数学基础上进行比较分析,具有可比性。然后,利用 Arc/Info 的空间分析功能,对不同时期的沼泽数据进行计算和分析,获得相应的空间信息,根据确定的沼泽湿地空间格局变化表征模型,对三江平原沼泽湿地 20a 来的变化情况进行分析。

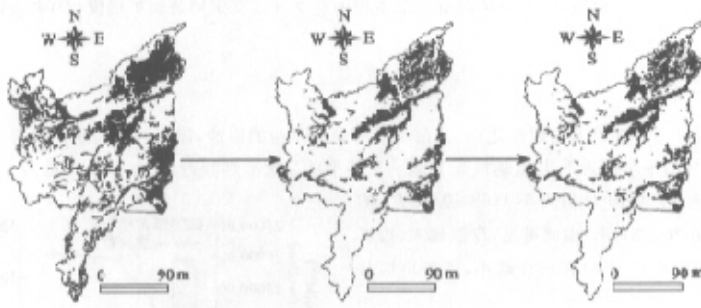


图 2 1980、1996、2000 年三江平原沼泽分布图

Fig. 2 The distribution of wetland in the Sanjiang Plain in 1980, 1996 and 2000

2.3 空间格局变化表征模型的设计

① 来源于“六五”国家科技攻关课题“三江平原区域农业自然资源遥感复查及其综合治理若干建议”,原始数据源为 MSS 图像,时相为 5~9 月份

2.3.1 斑块间隙分析(patch gap analysis) 斑块间隙分析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,间隙大小是格局的重要特征,可用连接指数表示(proximity index)。连接系数可用下式表示^[3]:

$$P = \frac{\sum_{i=1}^N [[K(i)] / [\sum_{i=1}^N K(i)]]^2}{\sum_{i=1}^N K(i)} \quad (1)$$

$$K(i) = R(i) / D_0(i) \quad (2)$$

$$R(i) = \sqrt{A(i) / \pi} \quad (3)$$

将(2)、(3)式代入(1),得:

$$P = \frac{\sum_{i=1}^N [[\sqrt{A(i)} / D_0(i)] / [\sum_{i=1}^N \sqrt{A(i)} / D_0(i)]]^2}{\sum_{i=1}^N \sqrt{A(i)} / D_0(i)}$$

式中, P 为连接指数, $A(i)$ 为第 i 个斑块的面积, $D_0(i)$ 是与其最近的斑块间的距离,这里距离是从斑块质心测起的, N 为斑块数, $R(i)$ 为与第 i 个斑块等面积的圆半径, $K(i)$ 表示第 i 个斑块等面积的圆半径与斑块间最短距离的比率,其值越大,说明两斑块间的距离越近。 P 的值介于0~1之间,其值越大,说明斑块聚集程度越高。

2.3.2 斑块空间变化分析 土地利用的空间变化,可以用土地资源分布重心变化情况来反映,同理,可以用沼泽湿地分布质心变化来研究沼泽湿地的空间变化,其方法分别求出三期湿地分布图中各湿地斑块的质心坐标(经纬度),然后乘以各湿地斑块的面积,最后把乘积累加后除以同期全区域湿地的总面积。第 t 年沼泽湿地分布质心坐标(经纬度)计算方法为^[7]:

$$\begin{aligned} X_t &= \frac{\sum_{i=1}^N (C_n \times X_i)}{\sum_{i=1}^N C_n} \\ Y_t &= \frac{\sum_{i=1}^N (C_n \times Y_i)}{\sum_{i=1}^N C_n} \end{aligned} \quad (5)$$

式中, X_t 、 Y_t 分别表示第 t 年沼泽湿地分布质心的经纬度坐标; C_n 表示第 t 年第 i 个沼泽湿地斑块的面积; X_i 、 Y_i 分别表示第 i 个沼泽湿地斑块质心的经纬度坐标。

通过比较3个时期沼泽湿地的分布质心,可以得到近20a来三江平原沼泽湿地的空间变化规律。

2.3.3 斑块形状指数分析 斑块形状是景观空间格局中一个很重要的特征,对研究景观功能如景观中物种的扩散、能量的流动和物质的运移等情况有非常重要的意义。本文采用斑块扩展度(D)来表现斑块的形状,其公式为^[3,8-11]:

$$D = \frac{P}{2 \sqrt{\pi A}} \quad (6)$$

这是斑块周长与等面积的圆周长之比,其值不受所采用单位的影响,能很好地表示斑块形状与圆形相差的程度,该指数的最小值为1,其值越接近1,表示斑块形状与圆形越相近;正方形的 D 值为1.1283,边长分别为1和2的长方形的 D 值为1.1968,边长为1的正六边形的 D 值为1.8178。由此可见, D 值越大,边界越复杂,边缘地带越大,面积有效性越小,则斑块形状越不规则。

3 结果与讨论

3.1 破碎化分析

如图3所示,三江平原沼泽湿地的分布面积呈显著减少趋势。1980~1996年,沼泽湿地面积减少了51.33%,1996~2000年减少了4.19%。而斑块数量则呈现出显著增加的趋势,特别是1980~1996年,斑块数量增加了326块,平均每年增加20.38块。1996~

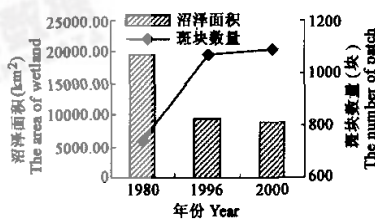


图3 三江平原20a来沼泽动态变化

Fig. 3 The dynamic change of wetland in the last two decades in Sanjiang Plain

2000 年,斑块数量增加速度明显降低,仅增加了 21 块。斑块密度从 1986 年的 0.04 个/ km^2 增加到 2000 年 0.12 个/ km^2 ,净增加 2 倍。与 1980 年相比,1996 年最大斑块面积缩小了 65.37% ,最大斑块周长缩短了 52.47% ,而在 1996~2000 年,最大斑块面积和周长又有所增加。这些表明三江平原沼泽湿地的破碎化较为严重,而在 1980~1996 年尤为明显。

3.2 斑块间隙分析

在 Arc/Info 中用 Centroidlabels 命令将各沼泽湿地斑块的质心标出来,并转换成点 Coverage,用 Pointdistance 命令求出各斑块与其最近斑块间的距离,根据公式(4),计算出沼泽湿地斑块的连接指数,

结果如表 1。由表 1 可以看出,三江平原近 20a 来沼泽湿地的斑块连接指数都较小,且呈现降低趋势。表

明三江平原沼泽湿地斑块间隙在不同时期都较大,且随着沼泽湿地面积的减小和斑块数量的增加,其斑块间隙越来越大,进一步说明沼泽湿地的破碎化较为厉害。

3.3 空间变化分析

将上述得到的沼泽湿地斑块质心的点 Coverage 转换成大地坐标系,得到各斑块质心的经纬度坐标,根据公式(5),计算出 1980、1996、2000 年沼泽湿地的分布质心坐标分别为 $(46.91^\circ\text{N}, 132.71^\circ\text{E})$ 、 $(46.85^\circ\text{N}, 132.68^\circ\text{E})$ 、 $(46.90^\circ\text{N}, 132.65^\circ\text{E})$ 。1980~1996 年沼泽湿地分布质心向南偏移了 0.06° ,向西偏移了 0.03° ,整体上向西南方向偏移了 7.05km 。1996~2000 年沼泽湿地分布质心向北偏移了 0.05° ,又向西偏移了 0.03° ,整体上向西北方向偏移了 6.01km (如图 4)。这主要是因为近 20a 来三江平原的开发重心是在辽阔低湿的东部和北部地区。

3.4 形状变化特征

为进一步探讨三江平原沼泽湿地的空间格局变化,对其进行了扩展度分析,了解近 20a 来沼泽湿地各斑块的形状变化情况,结果如图 5 所示。由图 5 可以得到,1980、1996、2000 年三江平原沼泽湿地的扩展度分别接近于 14.222 、 11.101 和 11.262 ,其值都远大于 1,说明斑块形状与圆形相差较大,形状不规则。从总体上来看,近 20a 来沼泽湿地的扩展度呈下降趋势,减少了 2.96 ,其中 1980~1996 年降了 3.121 ,而在 1996~2000 年又上升了 0.161 。表明近 20a 来,沼泽湿地斑块在发生破碎化的同时,其形状也发生了很大变化,其中 1980 年斑块形状最不规则,2000 年次之,1996 年相对较规则。

3.5 讨论

近 20a 来,三江平原沼泽湿地空间格局发生了很大变化,究其原因主要有:三江平原人口一直呈增长趋势。1980~1998 年间人口增加了近 100 万。人口的急剧增长致使人地之间的矛盾更加突出。为缓解人地矛盾,以及满足国家对粮豆的需求,三江平原出现了多次开荒高潮。1975~1983 年各县农民趁连续旱年沼泽干涸之际大量开荒,开荒面积达 9780.0 km^2 ,是 1949 年三江平原耕地面积的 1.24 倍,至 1983 年,垦殖率达 32.3% ,而湿地率由 1949 年的 49.0% 下降至 16.9% ,农田成为区域主要生态类型(表 2)。1988~1990 年为期 3a 的第一期农业综合开发工程集中连片开发建设了 120 个小区,开荒面积达 1246.7 km^2 。20 世纪 90 年代初,该区实行开放开发、联合开发,有些县、场向国内外出售或转让土地使用权,承包商和厂矿的开荒规模达几千公顷到几万公顷,湿地排水疏干、毁苇开荒到处可见^[6]。将 1980 年沼泽湿地分布图与 1996 年土地利用图进行叠加分析,可知:1980~1996 年,有 68.3% 的沼泽湿地发生了变化,其中有 33.7% 被开垦为旱地,约占 1980 年沼泽湿地面积的三分之一,有 19.7% 变成林地, 10.4% 变成草地,有 2.5% 变成水田,

表 1 三江平原沼泽湿地斑块连接指数

Table 1 The proximity index of wetland patch in Sanjing Plain

年份 Year	1980 年	1996 年	2000 年
连接指数 The proximity index	0.0233	0.0020	0.0019

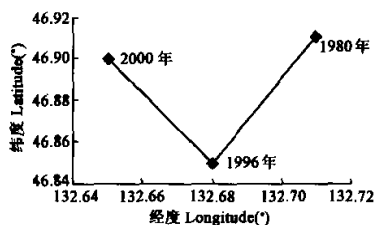


图 4 三江平原 20a 来沼泽湿地空间变化

Fig. 4 The spatial change of wetland in the last two decades in Sanjing Plain

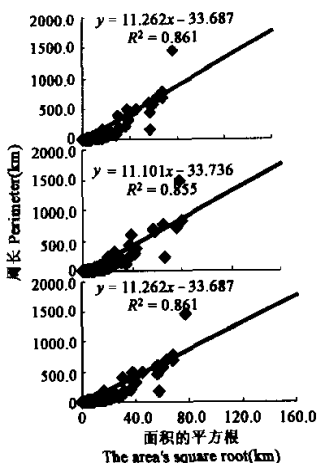


图 5 1980、1996 和 2000 年三江平原沼泽湿地扩展度
Fig. 5 The development of wetland in the Sanjiang Plain in 1980, 1996 and 2000

通过对三江平原沼泽湿地与气候因子做灰色相关分析可知:沼泽湿地面积变化与降水量和湿度变化有较强的正相关,其相关系数分别为 0.796、0.739,而与气温呈负相关,相关系数为 $\sim 0.581^{[12]}$ 。这表明降水量和湿度的减少以及气温的升高都有可能导致沼泽湿地的减少。据湿地数据库统计,1980~1997 年,三江平原绝对湿度降低 50mPa;平均温度提高约 2.0℃;降水量减少,且年际间变化幅度加大。因此,区域气候变化也是沼泽湿地空间格局变化的一个影响因素。

由上述分析可知,近 20a 来三江平原沼泽湿地是在气候因素和人类活动的共同作用下发生变化的,但以人类活动为主。

4 结语

三江平原是我国重要的商品粮生产基地,人类活动非常强烈,在发展经济的同时,人类对区域沼泽湿地的开发和改造也很明显,从而引起了沼泽湿地空间格局的变化,具体表现在:

- (1)三江平原沼泽湿地的分布面积呈显著下降趋势。1980~1996 年,沼泽湿地面积减少了 51.33%, 1996~2000 年较少了 4.19%。
- (2)三江平原沼泽湿地的破碎化较为严重,斑块数量增加了 46%,斑块密度净增加两倍。1996 年最大斑块面积、最大斑块周长较 1980 年分别减少了 65.37%、52.47%。
- (3)三江平原沼泽湿地斑块间隙在不同时期都较大,且随着沼泽湿地面积的减小和斑块数量的增加,其斑块间隙越来越大,进一步说明沼泽湿地的破碎化较为厉害。
- (4)近 20a 来三江平原沼泽湿地的分布质心发生了偏移,1980~1996 年向西南方向偏移了 7.05km, 1996~2000 年向西北方向偏移了 6.01km。
- (5)1980、1996、2000 年三江平原沼泽湿地的扩展度分别接近于 14.222、11.101 和 11.262。其值都远大于 1,说明斑块形状与圆形相差较大,形状不规则。

References

[1] Chen I X, Fu B J. Analysis of impact of human activity on landscape structure in Yellow River delta—A case study of Dongying region. *Acta Ecologica Sinica*, 1996,16(4):337~344.
[2] Xiao D N, Li X Z. The development and perspective of contemporary landscape ecology. *Scientia Geographica*

有 1.1% 的沼泽湿地转化成水域,还有少数沼泽湿地被用于居民点及城镇建设用地。这表明 1980~1996 年由于人类活动的直接影响,沼泽湿地已减少了三分之二,可见人类活动对沼泽湿地的影响程度之大。20 世纪 90 年代后,湿地的功能和价值受到普遍关注,保护湿地的意识越来越强。目前,黑龙江省人民政府已下令停止开垦湿地,并设立了国家级、省级和市级有关湿地的自然保护区 14 处,总面积 5958km²[6]。

表 2 三江平原不同时期耕地和沼泽湿地面积

Table 2 The area of farmland and wetland in different perion in the Sanjiang Plain

年份 Year	耕地 Farmland		沼泽湿地 Wetland	
	面积 Area (km ²)	垦殖率 Rate (%)	面积 Area (km ²)	湿地率 Rate (%)
1949	7860.0	7.2	53400.0	49.0
1983	35210.0	32.3	18357.0	16.9
1994	45724.0	42.0	10406.0	9.6
1996	49218.0	45.2	9466.2	8.7

- Sinica*, 1997, **17**(4): 356~363.
- [3] Zhang J T, Qiu Y, Zheng F Y. Quantitative method in landscape pattern analysis. *Journal of Mountain Science*, 2000, **18**(4): 346~352.
- [4] Turner M. G. and R. H. Gadner. Quantitative method in landscape ecology. New York: Springer-Verlag, 1991.
- [5] Chen G Q, Niu H G, Lu X G, *et al.* Mire-wetlands and its agricultural reclamation in the Sanjiang Plain. In: Chen G Q ed. Study on mire-wetlands in the Sanjiang Plain. Beijing: Science Press, 1996. 152~158.
- [6] Liu X T, Ma X H. Natural Environment Changes and Ecological Protection in the Sanjiang Plain. Beijing: Science Press, 2002.
- [7] Wang X L, Bao Y H. Study on the methods of land use dynamic change research. *Progress in Geography*, 1999, **18**(1): 81~87.
- [8] Liu C R, Chen L Z. Analysis of the patch shape with shape indices for the vegetation landscape in Beijing. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, **20**(4): 559~567.
- [9] Wu J G. Landscape Ecology——Pattern, Process, Scale and Hierarchy. Beijing: Higher Education Press, 2000.
- [10] Forman R T T and Godron M. *Landscape Ecology*. New York: John Wiley and Sons, 1986.
- [11] Forman R. *Land mosaics, the ecology of landscapes and regions*. Cambridge: Cambridge University Press, 1995.
- [12] Zhang S Q, Zhang B, Wang A H. A study on the relationship between distributive variation of wetlands and regional climate change in the Sanjiang Plain. *Advance in Earth Sciences*, 2001, **16**(6): 836~841.

参考文献

- [1] 陈利顶, 傅伯杰. 黄河三角洲地区人类活动对景观结构的影响分析——以山东省东营市为例. *生态学报*, 1996, **16**(4): 337~344.
- [2] 肖笃宁, 李秀珍. 当代景观生态学的进展和展望. *地理科学*, 1997, **17**(4): 356~363.
- [3] 张金屯, 邱扬, 郑凤英. 景观格局的数量研究方法. *山地学报*, 2000, **18**(4): 346~352.
- [5] 陈刚起, 牛焕光, 吕宪国, 等. 三江平原沼泽湿地与农业开发. 见: 陈刚起主编. 三江平原沼泽研究. 北京: 科学出版社, 1996.
- [6] 赵魁义. 中国沼泽志. 北京: 科学出版社, 1999.
- [7] 王秀兰, 包玉海. 土地利用动态变化研究方法探讨. *地理科学进展*, 1999, **18**(1): 81~87.
- [8] 刘灿然, 陈灵芝. 北京地区植被景观中斑块形状的数量分析. *生态学报*, 2000, **20**(4): 559~567.
- [9] 肖笃宁. 景观空间结构的指标体系和研究方法. 见: 肖笃宁编. 景观生态学理论、方法及应用. 北京: 中国林业出版社, 1991.

万方数据
WANFANG DATA