

# 形态学图像处理技术在扎龙湿地景观格局分析中的应用

张玉红, 张 策, 臧淑英

(哈尔滨师范大学地理科学学院, 地理资源与环境遥感重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150025)

摘要: 以数学形态学图像处理技术为主要方法, 对扎龙湿地景观格局进行分类, 形成核心、斑块、边缘和孔隙 4 种格局类型, 并在此基础上与土地覆盖类型图叠加处理, 分析湿地不同景观格局与土地覆盖类型的关系。结果表明, 基于形态学图像处理技术的景观格局分类保持了像元水平的精度, 优于传统的分类方式。1979-2008 年, 扎龙湿地的核心湿地减少, 斑块、边缘和孔隙都相应增加。作为湿地中的优势类型, 含地表水的湿地逐渐转移到非核心的斑块、边缘和孔隙湿地中, 原有的核心湿地逐渐变得破碎。

关键词: 数学形态学; 像元水平; 景观格局; 分类; 破碎化

中图分类号: X826 文献标识码: A 文章编号: 1672-0504(2011)04-0103-04

## 0 引言

大多数用于景观格局分析的指数都是根据像元水平的邻接和连通性推导而来<sup>[1]</sup>, 或者是通过斑块-廊道-基质和斑块镶嵌的景观水平上的概念提出的<sup>[2]</sup>。由于它能描述景观格局, 建立景观结构与过程或现象的联系, 能够解释与理解景观功能, 因此用景观指数成功描述景观结构及动态的研究很多。但是不同的景观指数间的相关性较高, 同时还存在着景观指数的自相矛盾之处, 而且它们是从斑块水平、类型水平和景观水平对景观格局进行描述, 对景观的整体描述相对较好, 而对细节描述不清。因此, 从精度上讲, 需要一种精度更高的对景观格局描述的方法。

2004 年, Bogaert 等发展了景观水平的分类算法, 根据观察到的景观中斑块面积、斑块数量和斑块周长的变化识别出 10 种破碎化类型, 包括内部和外部的破碎化<sup>[3]</sup>。但是, 由于斑块数量巨大, 地图范围过大, 导致基于斑块的方法很难执行一些大面积的评估工作。减少斑块的数量<sup>[4]</sup>则需要改正数据, 这会引入小斑块信息的丢失, 地图的细分经常要去掉单独的斑块, 这会引入斑块大小和形状评估的不准确<sup>[5]</sup>。而且, 景观水平的指数方法只提供了一个单一的数值, 很难独立的解释不同的组成成分<sup>[6]</sup>。另外, 不同的格局排列形成的景观可能有相同的景观水平的指数值。相反, 像元水平的分类允许绘制和

监测像元水平的空间格局, 这为景观格局的时间变化比较提供了一个更简便、更精确的方法。

Vogt 等利用形态学图像处理技术对森林景观进行景观格局的分类和绘制<sup>[7]</sup>, 又在前期工作的基础上, 扩展了形态学处理技术在森林景观中的应用, 在原来的景观格局类型——核心、斑块、边缘、孔隙的基础上, 增加了廊道、捷径及其几种分支, 这进一步从连通性的角度分析景观的破碎程度<sup>[8]</sup>。Riitters 等在 TM (30 m 分辨率) 图像中分别采用 5\*5 和 3\*3 窗体维数大小分析了森林景观的破碎化过程, 并且其研究成果还被广泛应用于城市扩展分析中<sup>[5]</sup>。孔博等以三江平原典型沼泽湿地为研究对象, 应用形态学图像处理技术在基于像元水平的二值沼泽湿地图上对湿地进行分类, 并分析了湿地格局的年际变化<sup>[9]</sup>, 但是并没有把这种景观格局类型与湿地中土地覆盖类型建立关联, 进一步评估湿地景观格局。为了更好地研究湿地景观的破碎化过程, 本文参考 Riitters<sup>[10]</sup> 和 Vogt<sup>[7]</sup> 在森林景观破碎化研究中的方法, 利用数学形态学方法分析湿地的景观格局。

## 1 研究方法

### 1.1 数学形态学

数学形态学(Mathematical Morphology) 是一种分析空间结构的理论, 也是一门强大的图像分析技术, 它主要基于几何理论、积分几何和网格代数<sup>[11]</sup>。最早由 Matheron 和 Serra 提出, 其后 Soille 将形态

收稿日期: 2011-03-22; 修订日期: 2011-06-14

基金项目: 国家自然科学基金项目(40871082); 哈尔滨师范大学青年学术骨干资助计划项目(KGB201016); 黑龙江省高等学校科技创新团队建设计划项目

作者简介: 张玉红(1977-), 女, 博士, 讲师, 从事地理信息系统与遥感技术的应用研究。E-mail: zhangyuhong77@163.com

学用于地理学和遥感信息提取研究,用于形状识别、边缘检测、纹理分析、图像恢复和增强<sup>[12]</sup>。数学形态学的基础是二值形态学,基本变换包括腐蚀(Erosion)、膨胀(Dilation)、开(Opening)、闭(Closing)。二值腐蚀和膨胀互为对偶运算,腐蚀具有收缩图像的作用,膨胀具有扩大图像的作用。利用腐蚀和膨胀运算的特点可以完成一些特殊的图像处理过程。因为数学形态学具有严格的数学理论基础,利用具有一定形态的结构元素度量和提取图像中的对应形状,可以对图像进行分析和识别,因此可以应用到很多领域中,近几年开始被应用到景观生态学中。

## 1.2 湿地景观格局图的制作

### 1.2.1 数据的选择

以黑龙江省西部扎龙湿地为研究区,选取扎龙湿地 1979 年和 2008 年的湿地分布数据比较和分析近 30 年来湿地景观格局的破碎化过程。湿地类型以明水、含地表水的湿地和无地表水的湿地为主。1979 年是近几十年来最干旱的年份,很多明水湖泊萎缩,湿地的周边有很宽的干旱类型的地物带,但此时湿地核心区域的含水沼泽是集中连片的,破碎化程度不大;相比之下,2008 年水量相对丰沛,但是湿地内部历经 30 年之后景观发生了很大的变化。

### 1.2.2 湿地景观格局的分类与制作

本研究重点为湿地与非湿地破碎化程度,因此采用二值图像的基本形态学操作来处理和分析扎龙湿地的景观格局情况。根据 Riitters 提出的森林景观格局的类型<sup>[13]</sup>,利用土地覆盖图提取湿地类型转化为栅格图像作为处理的原始图,通过形态学图像处理技术把湿地分为 4 种格局类型,在处理过程中使用了八邻域结构元素(SE1)和四邻域结构元素(SE2);使用了腐蚀和膨胀两种基本的形态学操作,分别对湿地进行收缩和膨胀操作,最终得到扎龙湿地的景观格局分类图(图 1,见封 3)。

(1) 核心(Core)像元是湿地区域的内部,与湿地边界有一定的距离,通过 SE1(3\*3 窗口)进行腐蚀操作可直接获得。核心湿地代表没有破碎化的湿地,对湿地内部物种有潜在的适宜性。

(2) 斑块(Patch)像元是湿地区域,但是因为太小而不能包含核心,即指所有在腐蚀操作后消失的那些孤立的部分,这个斑块定义不同于经典的 Forman 的斑块定义。因为是孤立的部分,所以斑块内部物种和外部物种交流的可能性较小。

(3) 边缘(Edge)像元是核心湿地与非核心湿地的过渡区域,是从非核心湿地像元经腐蚀、膨胀后的

结果中减去斑块像元。

(4) 孔隙(Perforated)像元是核心湿地和非湿地斑块的过渡区域,经非湿地斑块膨胀后得到,也可以通过湿地像元减去核心、斑块和边缘像元的并集。孔隙作为一种内部边缘也是生态学家感兴趣的区域,因为它和边缘一样能产生边缘效应。

### 1.2.3 景观格局类型的相对频率计算

首先通过地理叠加分析进行归纳统计得到交叉统计制表数据,然后计算某湿地类型出现在某个景观格局类型中的相对频率(Relative Frequency),它是一个比值,是在一个特定的格局类型中某湿地类型所占的比例与此类湿地面积占湿地总面积的比例之比。

## 2 结果分析

### 2.1 湿地景观格局类型的数量变化

从总面积上比较(表 1),研究初期与末期的湿地数量呈减少趋势,但绝对数量变化不大,大约只有 55 km<sup>2</sup>。从不同的格局分类看,扎龙湿地的主要格局类型是核心湿地,其次是边缘和斑块,孔隙湿地的比例较少。从时间变化上看,核心湿地的面积和比例都有所减少,相对少的边缘和斑块比例升高。孔隙的数量同样呈上升趋势。

表 1 扎龙湿地景观格局面积变化  
Table 1 The area change of Zhalong wetland landscape pattern

景观格局分类	1979 年			2008 年		
	像元数	面积(km <sup>2</sup> )	比例(%)	像元数	面积(km <sup>2</sup> )	比例(%)
核心	221 808	798.51	73.74	783 236	704.91	68.60
斑块	28 776	103.59	9.57	119 312	107.36	10.45
边缘	46 756	168.32	15.55	214 420	192.97	18.78
孔隙	3 442	12.39	1.14	24 776	22.32	2.17
总面积	300 783	1 082.82	100	1 141 744	1 027.57	100

注:1979 年影像为 Landsat MSS 影像,像元大小为 60 m\*60 m;2008 年影像为 Landsat TM 影像,像元大小为 30 m\*30 m。

### 2.2 景观格局类型与土地覆盖的关系

根据交叉统计表计算了每种格局对应的湿地类型的相对频率。例如,核心湿地中含地表水的湿地的相对频率通过统计表计算得出:(557.27/798.51)/(725.84/1 082.82)=1.0412。相对频率的值大于 1,表示在这种特定的景观格局类型中更容易出现该湿地类型。

研究区湿地面积大约有 1 000 km<sup>2</sup>,近 30 年湿地的面积变化较大,但是可以明显地看出无论是干旱的 1979 年,还是相对湿润的 2008 年,其优势景观类型为含地表水的湿地(1979 年为 67.03%,2008 年为 52.22%),其次是无地表水的湿地(1979 年为 27.13%,2008 年为 29.10%),而明水的比例相对较小(1979 年为 5.84%,2008 年为 18.68%)。从景观

格局分类看, 湿地面积大部分是核心湿地(1979 年为 73.74%, 2008 年为 68.60%), 孔隙湿地较少(1979 年为 1.14%, 2008 年为 2.17%)。

从表 2 和表 3 可以看出, 无地表水湿地的相对频率在非核心湿地中的值都较高, 超过 1, 表明在破碎的湿地斑块中, 无地表水湿地相对于其它湿地类型更有可能出现。对比两年的数据还可以看出, 越来越多的非核心斑块中含地表水湿地的相对频率开始高于 1, 表明湿地中的优势类型开始出现在一些破碎的斑块、边缘和孔隙湿地中, 原有的核心湿地逐渐变得破碎。

表 2 1979 年景观格局类型与湿地类型交叉统计  
Table 2 The cross table between landscape pattern and wetland type in 1979

景观格局分类	湿地分类			格局分类总面积
	明水	含地表水的湿地	无地表水的湿地	
核心	57.93(1.24)	557.27(1.04)	183.31(0.85)	798.51
斑块	0.67(0.11)	57.10(0.82)	45.82(1.63)	103.59
边缘	4.54(0.46)	102.83(0.91)	60.95(1.33)	168.32
孔隙	0.10(0.14)	8.64(1.04)	3.65(1.09)	12.39
分类总面积	63.24	725.84	293.74	1 082.82
分类比例	5.84%	67.03%	27.13%	100%

注: 括号内为相对频率值; 面积单位为: km<sup>2</sup>。

表 3 2008 年景观格局类型与湿地类型交叉统计  
Table 3 The cross table between landscape pattern and wetland type in 2008

景观格局分类	湿地分类			格局分类总面积
	明水	含地表水的湿地	无地表水的湿地	
核心	179.41(1.36)	338.94(0.92)	186.56(0.91)	704.91
斑块	0.94(0.05)	61.45(1.10)	44.97(1.44)	107.36
边缘	10.72(0.30)	119.99(1.19)	62.27(1.11)	192.97
孔隙	0.84(0.20)	16.23(1.39)	5.25(0.81)	22.32
分类总面积	191.91	536.61	299.05	1 027.57
分类比例	18.68%	52.22%	29.10%	100%

注: 括号内为相对频率值; 面积单位为: km<sup>2</sup>。

以 1979 年为例, 将扎龙湿地分为 515 个大小为 256\* 256 的正方形区域, 计算每个区域中湿地所占的比例和每种格局类型占湿地总面积的比例, 生成散点图(图 2, 见封 3)来分析湿地景观格局的变化。由图 2 可以看出, 湿地比例较小, 在湿地内部斑块的比例较高, 而核心湿地几乎没有。随着湿地比例的增加, 核心湿地逐渐增多, 斑块湿地逐渐减小。边缘湿地随着比例的增大, 其比例上升到一定程度开始下降。由于本研究只采用一种八邻域规则的 3\* 3 窗口, 因此所得到的孔隙湿地比例较少, 但也能看出, 孔隙湿地呈现出一种上升的趋势。

### 3 结论与讨论

以扎龙湿地最干旱的 1979 年和相对湿润的

2008 年进行比较, 分析湿地景观破碎化程度的变化。扎龙湿地的核心湿地减少, 斑块、边缘和孔隙都相应增加, 代替了集中连片的核心湿地, 是湿地破碎化最有力的证明。同时, 作为湿地中的优势类型, 含地表水的湿地逐渐转移到非核心的斑块、边缘和孔隙湿地中, 原有的核心湿地逐渐变得破碎。从精度上讲, 基于形态学处理技术的景观格局分类保持了像元水平的精度。

形态学图像处理技术应用于空间格局的分析是一项具有创新性和挑战性的研究领域, 目前的研究成果尚少, 初步开展此项工作还有许多不足之处<sup>[11]</sup>。这种方法不仅用来分析破碎化程度, 还可以拓展到很多领域中。如 Wilson 把这种技术成功的拓展应用于城市增长模型中, 并对城市规划进行长期的探索和不断改进<sup>[14, 15]</sup>。传统的对于破碎化的研究多采用斑块密度指数、最大斑块面积、平均斑块面积等反映破碎化状况; 也可用斑块形状破碎化指数(FS)、生境面积破碎化指数(FI)、孔隙度指数和邻接指数来反映破碎化状况, 基于矢量的景观和斑块面积水平上的估计, 并未细化到基于像元水平的湿地结构分类, 此种方法应进一步探讨和开拓。在景观格局分类过程中, 结构元素的窗口大小对分类的结果有一定的影响, 但相对于空间卷积操作来说, 数学形态学方法保持了像素水平的精度, 并且结构元素越小, 格局类型的差异越明显, 即能提供更多的格局信息<sup>[7]</sup>。

#### 参考文献:

[1] M U S I C K H B, G R O V E R H D. Image textural measures as indices of landscape pattern[A]. T U R N E R M G, G A R D N E R R H. Quantitative methods in landscape ecology [C]. New York, 1991.

[2] F O R M A N R T T. Some general principles of landscape and regional ecology[J]. Landscape, 1995, 10(3): 133- 142.

[3] B O G A E R T J, C E U L E M A N S R. Decision tree algorithm for detection of spatial processes in landscape transformation[J]. Environment Management, 2004, 33: 62- 73.

[4] H E I L M A N G E, S T R I T H O L T J R, S L O S S E R N C, et al. Forest fragmentation of the conterminous United States: Assessing forest intactness through road density and spatial characteristics[J]. BioScience, 2002, 52: 411- 422.

[5] R I I T T E R S K H, W I C K H A M J D, C O U L S T O N J W. A preliminary assessment of Montréal process indicators of forest fragmentation for the United States[J]. Environment Monitor Assess, 2004, 91: 257- 276.

[6] N E E L M C, M C G A R I G A L K, C U S H M A N S A. Behavior of class level landscape metrics across gradients of class aggregation and

- area[J]. *Landscape Ecology*, 2004, 19: 435– 455.
- [7] VOGT P, RIITERS K H. Mapping spatial patterns with morphological image processing[J]. *Landscape Ecology*, 2006, 5(6): 589– 592.
- [8] VOGT P, RIITERS K H. Mapping landscape corridors[J]. *Ecological Indicators*, 2007, 7: 481– 488.
- [9] 孔博, 张树清, 卢晓宁, 等. 形态学图像处理方法在湿地破碎化格局中的应用[J]. *生态学杂志*, 2008, 27(3): 491– 496.
- [10] RIITERS K H, WICKHAM J D, O'NEILL R V, et al. Global scale patterns of forest fragmentation[J]. *Conservation Ecology*, 2000, 4(3): 3– 8.
- [11] SOILLE P. *Morphological Image Analysis: Principles and Applications*[M]. Berlin: Springer Verlag, 2003.
- [12] SOILLE P. Advances in mathematical morphology applied to geoscience and remote sensing[J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2002, 9(9): 40– 47.
- [13] RIITERS K H, WICKHAM J D, O'NEILL R V, et al. Fragmentation of continental United States forests[J]. *Ecosystems*, 2002, 5: 815– 822.
- [14] WILSON E H, HURD J D. Development of a geospatial model to quantify, describe and map urban growth[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2003(86): 275– 285.
- [15] HURD J D, WILSON E H. Development of a forest fragmentation index to quantify the rate of forest change[J]. *ASPRS ACSM Annual Conference and FIG XXII Congress*, 2002(4): 22– 26.

## Applying Shape Morphology Image Processing Method to Analyze Landscape Pattern at Zhalong Wetland

ZHANG Yu-hong, ZHANG Ce, ZANG Shu-ying

(Laboratory of Geographical Resources and Environmental Remote Sensing, Geography Science College, Harbin Normal University, Harbin 150025, China)

**Abstract:** Spatial patterns were classified using morphological image processing at the pixel level on binary land coverage maps. There are four types of landscape patterns to be classified at Zhalong wetland including core, patch, edge and perforated. Then land coverage map in further was overlaid on this basis with landscape pattern to analyze the relation between landscape pattern and land coverage. The results show that the classification of landscape pattern with shape morphology image processing owns higher spatial precision and thematic accuracy compared to a previous approach based on image convolution, while retaining the capability to label these features at the pixel level for any scale of observation. The area of core wetland decreased at Zhalong wetland from 1979 to 2008. As a main type, wetland with surface water transformed more from core to patch, edge and perforated, the original core wetland was more and more broken.

**Key words:** mathematical morphology; pixel level; landscape pattern; classification; fragmentation

(上接第 88 页)

## Regional Disparity in the Development of Scenic Spots in China and Its Convergence:

### A Case of A-Grade Scenic Spots during 2001– 2009

LI Fei<sup>1,2</sup>, HE Jian-min<sup>3</sup>

(1. Department of Tourism, Foshan Science and Technology University, Foshan 528000;

2. Center for Land Resources Environment and Tourism Research, Foshan Science and Technology University, Foshan 528000;

3. School of International Business Administration, Shanghai University of Finance & Economics, Shanghai 200433, China)

**Abstract:** Based on the relevant data of A-grade scenic spot in China during 2001– 2009, the regional disparity in the development of scenic spots in China and its convergence was analyzed, and the results showed that: 1) the development of the overall level of scenic spots of China's provinces can be divided into five echelons; the amount and level of integrated scenic spots can be divided into 6 categories; 2) the economic development ratio, transport development ratio, population ratio and space ratio of scenic spots in China and east China show absolute  $\beta$  convergence, indicating that the relative difference gradually narrowed. Meanwhile the result also shows that A-grade scenic spots are developing toward the direction of rationalization and orderliness; the level of scenic spot development is mainly dominated by regional transportation development. To optimize the development of regional transport can promote scenic spots development rationally more than the regional economic development, and the result is benefit of promoting scenic spots balanced and coordinated development.

**Key words:** scenic spot; A-grade scenic spot; regional disparity; convergence

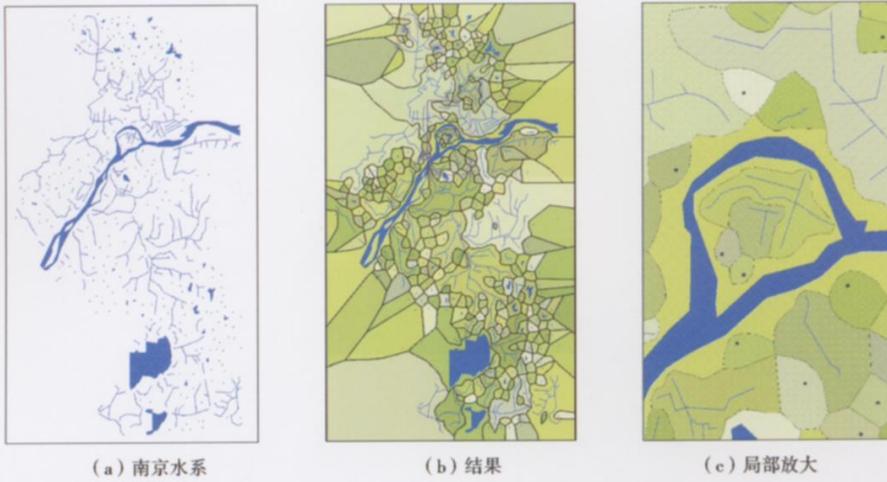


图 7 任意发生元 Voronoi 图实例  
Fig. 7 Instances of Voronoi diagrams of general figures

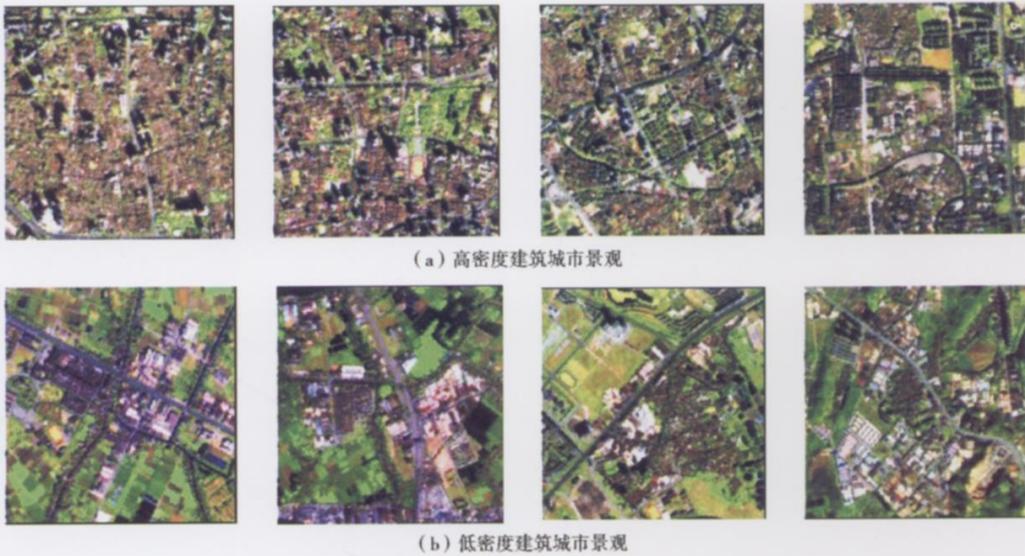


图 1 高密度建筑城市景观与低密度建筑城市景观的典型影像  
Fig. 1 Images of high and low density buildings of urban landscape

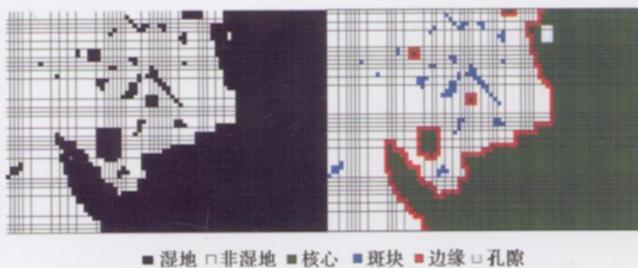


图 1 基于数学形态学的湿地景观格局分类示意(局部)  
Fig. 1 Classification of wetland landscape pattern based on mathematical morphology

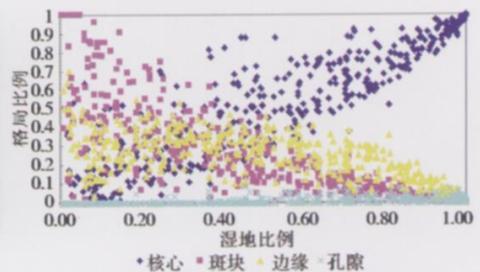


图 2 景观格局比例与湿地比例的关系  
Fig. 2 The relationship between landscape pattern proportion and wetland proportion