

文章编号: 1007-4619 (2008) 02-0291-06

# 矢量景观指数在遥感信息提取中的应用

## ——以乾安湖群为例

李晓峰<sup>1,2</sup>, 张树清<sup>1</sup>, 庞振平<sup>3</sup>, 潘欣<sup>1,2</sup>, 陈铭<sup>1,2</sup>, 那晓东<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院 东北地理与农业生态研究所, 吉林 长春 130012;

2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039; 3. 吉林大学 珠海学院, 广东 珠海 519041)

**摘 要:** 景观方向性是景观空间格局的重要特征, 能够反映和影响景观的生态流。实现快速、准确地从遥感影像上自动提取景观的方向性信息, 对于景观的驱动力分析和景观异质性分析等都具有十分重要的意义。本文基于面向对象的方法对乾安县 TM 影像进行多尺度分割提取湖群, 并利用正方像元指数 SqP 提高分类精度, 应用矢量景观指数于分割处理后的湖群对象, 提取景观的方向性信息。实验结果表明: 该方法对象分割精度高 (制图精度: 97.8%, 用户精度: 97.5%), 方向性信息提取准确、快速, 为湖群的成因分析提供了数量化和可视化依据。本文同时结合了两方面的研究方法, 提供了两方面的研究思路: 一方面是景观格局指数在影像分类中的应用, 另一方面是矢量景观格局理论进一步的应用扩展。

**关键词:** 多尺度分割; 矢量景观格局理论; 矢量景观指数; 景观方向性

**中图分类号:** TP751 **文献标识码:** A

## 1 引 言

在景观生态学研究, 通过遥感和地理信息系统技术, 用景观指数描述景观格局及变化, 建立格局与景观过程之间的联系, 是景观生态学最常用的量化研究方法<sup>[1]</sup>。尽管景观指数在遥感中得到了广泛应用, 但它们却很少被用于遥感图像处理的分类方面。目前遥感分类方法主要集中于利用遥感影像像素的波谱信息, 采用距离、角度、概率等聚类准则或神经网络分类方法及在分类中加入形状、纹理等空间信息来提高精度的分类方法, 如文献 [2—5]。景观指数极少在遥感影像分类框架中被应用的原因之一, 是人们常认为只有在遥感影像分类之后才可以把景观指数应用于图像。事实上, 应用斑块级别的景观指数的惟一条件就是同质区域或图像对象的创建, 无论这些对象被分类与否<sup>[6]</sup>。把相应景观指数应用于通过图像区域融合或边缘检测技术所得到的图像分割对

象上, 产生针对特定地学分析目的所需的景观类别, 不仅能够提高分类精度, 而且能够快速提取有效信息<sup>[7]</sup>。文献 [8] 对景观指数在遥感分类中的作用进行了定量化分析与评价, 结果表明: 把景观指数作为一类辅助信息, 与影像原始光谱进行复合分类, 对那些仅依靠光谱特征很难区分的类别在分类精度上有很大改善。最近 Frohn<sup>[6]</sup> 将 SqP 指数用于遥感影像分类, 取得了较好的效果。但指数 SqP 仍属于形状指数范畴, 提取的只是对象的形状信息, 地学意义不够明显。

景观斑块的方向性是景观空间格局的重要特征, 不同方向性的斑块具有不同的生态功能<sup>[9]</sup>, 矢量景观格局理论则是应用古典力学理论建立起来的刻画景观异质性和矢量性的一种有效理论, 矢量景观指数 PO (patch orientation) 和 VPO (Vectorized patch orientation) 是矢量景观格局理论中用于有效描述景观方向性的指数, 对于揭示景观形成的机理和驱动力, 以及生态梯度分析具有重要意义<sup>[10]</sup>。

收稿日期: 2006-12-18; 修订日期: 2007-02-07

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目“三江平原湿地农田化过程及湿地 农田景观优化格局研究”(编号: KZCX3-SW-356); 基于 GIS 的松嫩平原重要湿地管理系统 (编号: GF/2712-03)。

作者简介: 李晓峰 (1978—), 男, 2005 年在吉林大学基础数学专业获得理学硕士学位, 现为中国科学院东北地理与农业生态研究所博士研究生。主要从事遥感图像处理方面的研究。E-mail: lixiaofeng1228@gmail.com。

本文直接面向提取景观矢量属性的目的,将景观指数 SqP (正方像元指数)应用于遥感影像多尺度分割处理后的同质景观对象,提高分类精度,应用矢量景观指数提取景观斑块的方向性信息,为进一步进行地学可视化和数量化分析提供依据。

## 2 实验研究区概况

研究对象为乾安湖群。乾安县位于吉林省西部平原的腹地,地处东经 123°25'28"—124°22'48",北纬 44°38'10"—45°18'57",总面积 3426.5 km<sup>2</sup>,年降水量仅 292 mm,且 80%集中在 6 月到 9 月,但年蒸发量 1874 mm,蒸发量远远大于降水量,导致该地区干旱化严重。研究区内有大量湖泊——乾安湖群,每个湖泊面积均较小,一般水深为 1—2m。

已有研究资料认为,乾安县地处温带亚湿润大陆性季风气候区,该区西北风和西南风强劲,冬季自西北到东南的盛行风在区域景观形成中扮演重要角色。由于大风和干旱同季,风蚀作用十分明显。风蚀湖主要发育在这一带的阶地平原,湖泊形态多呈“雨滴状”,具有明显的矢量性特征,其长轴多与盛行风向一致<sup>[11, 12]</sup>。

本文将应用矢量景观格局理论于分割后的湖群对象上,提取湖群的方向性信息,为以上结论提供可视化和数量化依据,并进一步分析了湖群的成因,生态流和生态梯度。

## 3 研究方法

### 3.1 数据源

采用 2002 年 8 月 16 日乾安县 28.5 m 分辨率的 TM 影像,并对影像进行几何纠正、辐射校正和切割处理,得到的研究区影像如图 1 所示。由于 TM 影像第 5 波段位于水体的吸收带之间,反映水体和水陆边界特别敏锐,因此基于 TM 影像第 5 波段进行水体的分割。

### 3.2 多尺度分割及后处理

本文研究方法的分析基元是影像分割后的像素群,因此好的分割技术是实现高的识别精度的关键。多尺度影像分割是从任一个像元开始,采用自下而上的区域合并方法形成对象。小的对象可以经过若干步骤合并成大的对象,每一对象大小的调整都必须确保合并后对象的异质性小于给定的阈

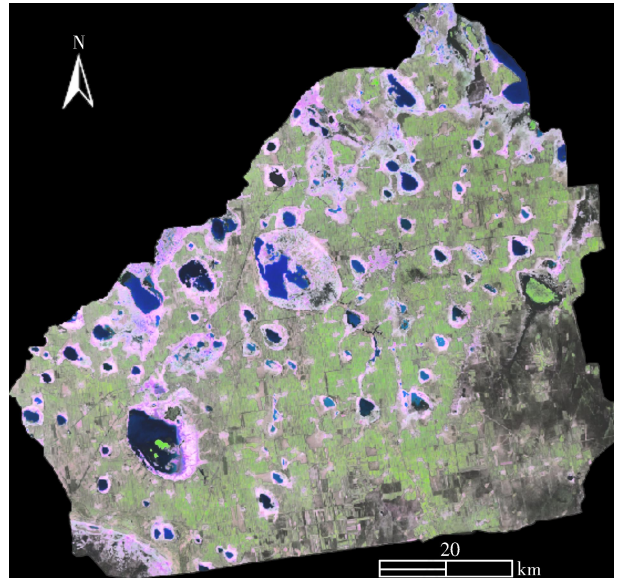


图 1 乾安县 TM 影像

Fig 1 TM image of Qian'an county

值。多尺度影像分割可以理解为一个局部优化过程,而异质性则是由对象的光谱 (spectral) 和形状 (shape) 差异确定的,形状的异质性则由其光滑度 (smoothness) 和紧凑度 (compactness) 来衡量<sup>[13]</sup>。

应用面向对象分类软件 eCognition 4.0 对 TM 影像第 5 波段进行多分辨率分割,经过反复实验,确定分割中输入的参数如下: scale parameter: 40, shape: 0.10, compactness: 0.5, smoothness: 0.5, 分割结果见图 2。从分割的处理结果可以看出:一方面,由于具有相似的光谱值,一些浅水沼泽和小河流痕迹同湖泊一起包含在水体的提取中;另一方面,还有一些被县界切割的形态不完整的湖以及一些椒盐 (salt&pepper) 噪声干扰出现的误分割对象,也出现在分割结果中。这些均非本文的地学研究对象。根据研究对象的形态以及第二部分中已有的先验知识,用面积阈值和正方像元指数 SqP<sup>[6, 14]</sup> 去除这些非研究对象。由于 SqP 指数利用地物对象的面积和周长关系定义,无法区分单点状地物和较大的方形像素块 (值均较小),所以要加入面积阈值进行综合处理。设计的处理规则和步骤如下:

(1) 利用下式计算每个分割对象的 SqP 指数

$$SqP = 1 - (4A^{1/2}) / P$$

式中,  $A$  为每个分割对象的面积,  $P$  为每个分割对象的周长;

(2) 去除 SqP 值比较大的对象,这些一般为小河流痕迹和边界复杂度比较高的浅水沼泽;经过反复试验,确定阈值为 0.6;

(3) 综合考虑分割对象的面积和 SqP 指数并反复试验,确定 SqP = 0.1 的对象多为椒盐噪声或者正方形和矩形的像素块,去除之;

(4) 搜索和县界相交的分割对象并去除;

(5) 基于对该研究区研究对象已有的先验知识<sup>[11,12]</sup>,去除面积  $A < 0.1\text{km}^2$  的分割对象。经过以上步骤处理所得到的分割对象如图 3,从图中可以看出,一些噪声影响产生的非湖对象和形态不完整的湖已经被去除。

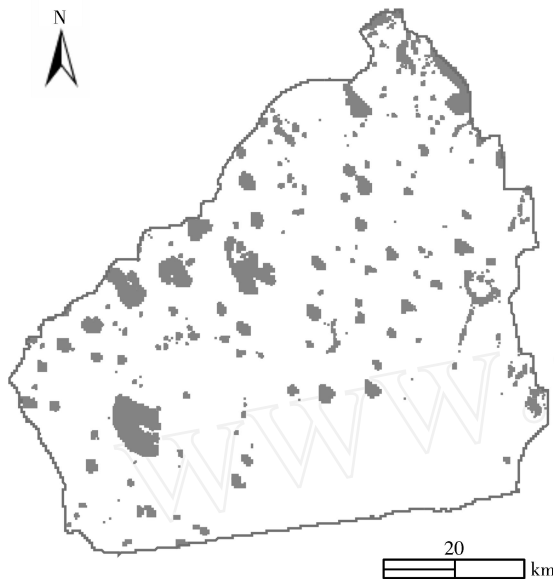


图 2 湖群分割结果

Fig 2 Segmentation-based result of Group Lakes

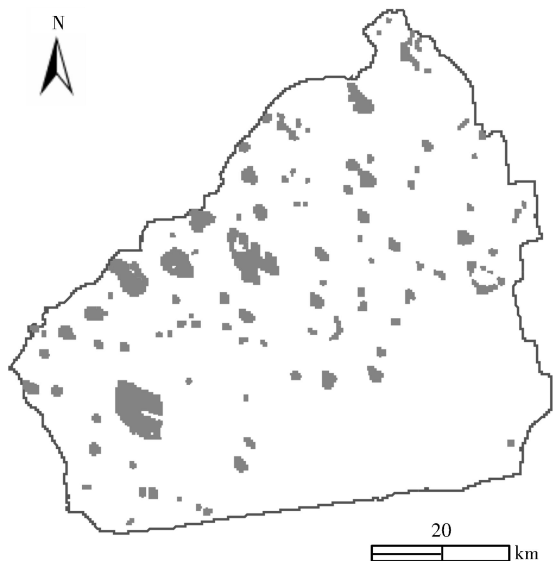


图 3 应用面积阈值和正方像元指数 SqP 处理后的结果

Fig 3 Segmentation-based Result after applying area fuzzy and SqP

在研究区 TM 影像上随机采样并经过实地考察验证,湖群“分类”的制图精度为 97.8%,用户精度为 97.5%,可见经过多分辨率分割及后处理的“分类”结果精度非常高。当然,水域光谱值与其他区域有明显差别也是获得高精度的一个重要因素。

### 3.3 矢量景观格局理论及其应用

矢量景观格局理论 (VATLP)是在古典力学理论中对于平面图形性质(形心,惯性矩,惯性积,形心主轴)定量化描述的基础上发展起来的,由此提出的景观指数 PO 和 VPO 对于揭示板块方向性,生态梯度以及分析异质性驱动力具有非常重要的意义。

矢量景观格局理论首先根据力学理论确定斑块的形心,然后由惯性矩为零确定两个轴,并根据关于两个轴的惯性矩的最小值和最大值确定主轴和副轴,主轴与过形心的水平直线逆时针方向的夹角  $(0^\circ < 180^\circ)$  定义为斑块的 PO 指数。进一步,确定主轴和副轴的正方向,方法如下:设副轴斑块为两部分,面积分别为  $A_1$  和  $A_2$ ,定义主轴的正方向在面积较小的一边,将主轴正方向逆时针旋转  $90^\circ$  则为副轴的正方向。主轴与过形心的水平直线的逆时针方向夹角  $(0^\circ < 180^\circ)$  定义为斑块的 VPO 指数。对于  $A_1 = A_2$  的斑块,称之为“无正方向斑块 (NPOP)”,因为斑块在主轴方向上有很小的异质性,此时 VPO 指数无实际意义。可以设定阈值  $(0 < \theta < 1)$ ,当条件  $|1 - A_1/A_2| > \theta$  满足时,可以用 VPO 指数刻画斑块特征,称此类斑块为“正方向斑块 (POP)”<sup>[10]</sup>。

图 4 显示了矢量景观格局理论在“雨滴状”板块上的应用,XYC 是形心主轴坐标系 (CSCPA),C 是形心,MN 是主轴,PQ 是副轴,CX 和 CY 分别是通过形心 C 的水平直线和垂直直线。

矢量景观格局指数的计算用 C++ 程序实现,并应用于影像处理的结果如图 3,各个湖的方向性如图 5,表 1 和表 2 给出了计算湖群的 PO 指数和 VPO 指数的统计结果。

表 1 乾安湖群 PO 指数计算统计结果

Table 1 Statistical results of PO index of Qian'an Group Lakes

PO/(°)	斑块数	面积 /hm <sup>2</sup>	斑块数百分比 /%	面积百分比 /%
<120	27	1208.63	24	7.00
120—150	68	12363.18	61	72.55
150—180	17	3706.70	15	20.45

表 2 乾安湖群斑块主要方向 (120° < PO < 150°) 上 VPO 指数统计结果 (其中  $\theta = 0.1$ ,  $A_1$  和  $A_2$  分别是斑块副轴东南和西北部分的面积)

Table 2 Statistical results of VPO in main orientation range

(120° < PO < 150°) of Patch in Qian-an Group Lakes, where  $\theta = 0.1$ ,  $A_1$  and  $A_2$  are the areas to the southeast and northwest of the minor principal axis, respectively

VPO <sub><math>\theta=0.1</math></sub> / (°)	斑块数	斑块数百分比 / %	$A_1/A_2$ 与 关系	斑块类型
120—150	6	9	$1 < (A_1/A_2) < 1 +$	NPOP
120—150	45	66	$(A_1/A_2) > 1 +$	POP
300—330	7	10	$1 - < (A_1/A_2) < 1 -$	NPOP
300—330	10	15	$0 < (A_1/A_2) < 1 -$	POP

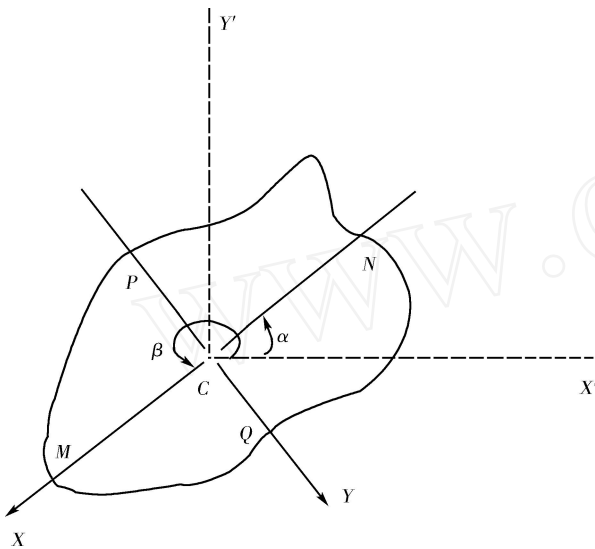


图 4 矢量景观格局理论图示

Fig 4 The schematic diagram of vector analysis theory on landscape pattern (VA ILP)

### 4 结果分析

由表 1 可知湖群中各个湖的 PO 指数主要集中在 120°—150°; 此范围的斑块数为 68, 占斑块总数的 61%, 这说明湖群斑块主要是东南到西北或者是西北到东南走向的。从表 2 可见, 对该 68 个湖进一步应用 VPO 指数 (选取面积阈值  $\theta = 0.1$ ), 计算所得统计结果。在主要方向斑块中有 66% 是东南-西北走向的, 15% 是西北-东南走向的, 其余斑块在给定的阈值条件下, 认为是没有正方向 (NPOP) 的。

由于强劲的风力作用, 大部分湖群斑块的物质和能量流自西北传递至东南, 恰与斑块的主轴正方向相反。通过湖边土壤成分和植被类型可以判断, 土壤养分从上风向移至下风向: 在下风向, 湖群中的大多数湖泊边缘的土壤中伴有细沙并生长着湿

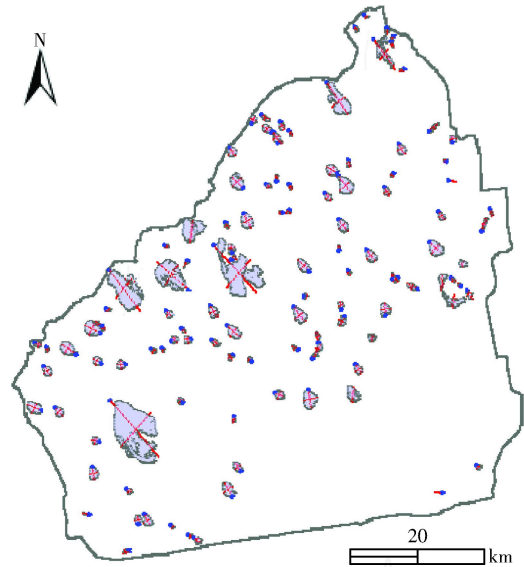


图 5 应用矢量景观格局理论提取的湖群方向信息  
Fig 5 The orientation information extracted by applying VA ILP

地植被, 如苔草和芦苇; 而在上风向, 地面常被粗沙和碱土覆盖, 水边几乎无植被生长。因此, 沿主轴方向有明显的生态梯度, VPO <sub>$\theta=0.1$</sub>  指数是其间接的度量。POP 的“雨滴”状湖考虑是人为植树和风沙共同作用的结果, 而 NPOP 的狭长状湖则是单纯受风沙侵蚀而形成, 这两种斑块的生态功能也有所不同, 和 POP 湖相比, NPOP 类的湖更容易干涸<sup>[10]</sup>。

总之, 将矢量景观格局理论应用于分割后的乾安湖群对象, 不仅为已有结论提供了有力的数量化和可视化证据, 而且也进一步得到了湖群的异质性和生态梯度信息。

### 5 结论和讨论

本文将正方像元指数 SqP 和矢量景观指数 PO 和 VPO 应用于乾安县 TM 影像水体分割后的均质对象, 在准确提取乾安湖群的同时获取了景观的方向性等信息, 为地学分析提供了数量化和可视化依据。根据所得结果对乾安湖群进行了方向性的进一步分类, 分析了湖群产生方向异质性的原因。本研究提供了两方面的研究思路:

一方面, 在对遥感影像进行分类中, 当所感兴趣的对象有相似的光谱值但不同的形状和空间性质特征时, 景观指数的应用是有用的工具, 分类过程中针对不同的地学分析目的也可以考虑将具有不同地学意义的景观指数, 如破碎度、聚集度、核心区面积等, 纳入到影像分类中, 在提高分类精度的

同时获取地学信息。

另一方面,自然界具有方向异质性的景观大量存在,对于景观方向性的研究具有重要的科学和现实意义,比如沙漠中沙丘的方向性研究能够分析风沙地貌形成的动力因素,从而为区域沙害防治提供科学依据。但是由于沙漠地带自然环境恶劣、交通不便等条件的制约,实地考察存在一定困难<sup>[15]</sup>,如果应用矢量景观格局理论于遥感影像分割对象,就能够实现对沙丘方向性信息的快速提取,为进一步的科学分析奠定基础。

### 参考文献 (References)

- [ 1 ] Chen W B, Xiao D N, Li X Z. Classification, Application, and Creation of Landscape Indices [J]. *Chinese Journal of Apply Ecology*, 2002, **13**(1): 121—125. [陈文波,肖笃宁,李秀珍. 景观指数分类、应用及构建研究 [J]. 应用生态学报, 2002, **13**(1): 121—125. ]
- [ 2 ] Steele B M, Combining Multiple Classifiers: an Application Using Spatial and Remotely Sensed Information for Land Cover Type Mapping [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2000, **74**: 545—556.
- [ 3 ] Ji C Y. Land-Use Classification of Remotely Sensed Data Using Kohonen Self-Organizing Feature Map Neural Networks [J]. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 2000, **66**: 1451—1460.
- [ 4 ] Steele B M, Redmond R L. A Method of Exploiting Spatial Information for Improving Classification Rules: Application to the Construction of Polygon-Based Landcover Maps [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2001, **22**: 3143—3166.
- [ 5 ] Liu L Y, Wang J H, Zhao C, et al. Study on Floating Prior Probability MLC Based on Spatial Features and Local Spatial Autocorrelation [J]. *Journal of Remote Sensing*, 2006, **10**(2): 227—235. [刘良云,王纪华,赵春等. 基于地物空间信息的浮动先验概率最大似然分类研究 [J]. 遥感学报, 2006, **10**(2): 227—235. ]
- [ 6 ] Frohn R C, The Use of Landscape Pattern Metrics in Remote Sensing Image Classification [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2006, **27**(10): 2025—2032.
- [ 7 ] Domer B, Lertzmann K, Fall J. Landscape Pattern in Topographically Complex Landscape: Issues and Techniques for Analysis [J]. *Landscape Ecology*, 2002, **17**: 729—743.
- [ 8 ] Cui L L, Integrative Analysis and Evaluation of the Interpretation Features in Remote Sensing Image [D]. Graduate University of Chinese Academy of Sciences (Institute of Remote Sensing Applications), 2005. [崔林丽. 遥感影像解译特征的综合分析与评价 [D]. 中国科学院研究生院 (遥感应用研究所) 博士学位论文, 2005. ]
- [ 9 ] Gustafson E J, Parker G R. Relationships Between Landscape Proportion and Indices of Landscape Spatial Pattern [J]. *Landscape Ecology*, 1992, **7**: 101—110.
- [ 10 ] Zhang S Q, Zhang J N, Li F, et al. Vector Analysis Theory on Landscape Pattern (VAIPL) [J]. *Ecological Modelling*, 2006, **193**: 492—502.
- [ 11 ] Lu J F, Xiao R H, Li Z M, et al. The Regional Difference of Type Combination of Lakes in Songnen Plain [J]. *Journal of Northeast Normal University*, 2000, **32**(2): 99—105. [吕金福,肖荣震,李志民等. 松嫩平原湖泊类型组合的区域分异 [J]. 东北师大学报自然科学版, 2000, **32**(2): 99—105. ]
- [ 12 ] Lu J F, Xiao R H, Li Z M, et al. The Research on Complicated Classification of Lakes in Songnen Plain [J]. *Journal of Northeast Normal University*, 2000, **32**(2): 92—98. [吕金福,肖荣震,李志民等. 松嫩平原湖泊综合分类研究 [J]. 东北师大学报自然科学版, 2000, **32**(2): 92—98. ]
- [ 13 ] Cheng Y H, Feng T, Shi P J, et al. Classification of Remote Sensing Image Based on Object Oriented and Class Rules [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2006, **31**(4): 316—320. [陈云浩,冯通,史培军等. 基于面向对象和规则的遥感影像分类研究 [J]. 武汉大学学报信息科学版, 2006, **31**(4): 316—320. ]
- [ 14 ] Frohn R C, Remote Sensing for Landscape Ecology: New Metric Indicators for the Monitoring, Modeling, and Assessment of Ecosystems [M]. Boca Raton, FL: Lewis Publishers, 1998.
- [ 15 ] Zu R P, Zhang K C, Qu J J, et al. Characteristics of Surface Winds in Takla Makan Deserts and Their Relationship to the Orientation of Dunes in Neighboring Regions [J]. *Journal of Applied Meteorological Science*, 2005, **16**(4): 468—475. [祖瑞平,张克存,屈建军等. 塔克拉玛干沙漠地面风场特征及周边地区沙丘排列关系分析 [J]. 应用气象学报, 2005, **16**(4): 468—475. ]

## The Use of Vector Analysis Theory on Landscape Pattern in Remote Sensing Information Extraction: A Case Study on Qian-an Group Lakes

LIXiao-feng<sup>1,2</sup>, ZHANG Shu-qing<sup>1</sup>, PANG Zhen-ping<sup>3</sup>, PAN Xing<sup>1,2</sup>, CHEN Ming<sup>1,2</sup>, NA Xiao-dong<sup>1,2</sup>

(1. Northeast Institute of Geography and Agroecology, CAS, Changchun 130012, China;

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China;

3. Institute of Zhuhai, Jilin University, Guangdong, Zhuhai 519041, China )

**Abstract:** Pattern directionality is a key characteristic of landscape pattern, it both reflects and affects ecological flow within the landscape, and it is very important to realize fast and accurate auto-extraction of the pattern directionality information, especially for landscape heterogeneity analysis and driving forces analysis

Qian-an county lies in the northwest of Jilin Province in China, where the climate is characterized as temperate semi-arid continental monsoon, the evaporation greatly exceeds the precipitation. Wind, especially the strongly prevailing wind in winter from northwest to southeast plays an important role in shaping some local landscapes. For most time of the year, the weather is extremely dry and the soil is sandy and uncovered. There are many lakes, known as Qian-an Group Lakes in Qian-an county. The lakes are typically small, and the water in the lakes is salty, seasonal and shallow, commonly about 1—2m deep. The lakes are mostly in the shape of a raindrop, with gently sloping lake beds in each lake's northwest (the windward side), and a steeply sloping lake beds in the southeast (the down wind side) with dune or boss piling up on this side. Wind is considered to be one of the most important forces driving the pattern formation of the lakes, i.e., the current shape of the lakes is the result of windy erosion upon the tectonic basins

In order to provide a quantitative and visual basis for the above mentioned conclusion conveniently and objectively, based on object-oriented method Qian-an Group Lakes are extracted by multi-resolution image segmentation from Qian-an TM image. To achieve the high classification accuracy, a perimeter-area shape complexity metric called the Square Pixel Metric (SqP) is used, then vector analysis theory on landscape pattern (VATLP) is applied to the homogeneous objects to extract vector information of group lakes. Where, vector analysis theory on landscape pattern (VATLP) is developed by Shuqing Zhang et al. (2006) based on planar characteristics defined in mechanics such as centroid, moment of inertia, product of inertia and principal axes, and its application helps us better understand the pattern formation of the lakes and the related ecological processes that occur on both ends of the major principal axis, e.g., the transportation of energy and materials flow, and the ecological gradients

The experimental results show that our method achieves the high segmentation accuracy (producer's accuracy: 97.8%, user's accuracy: 97.5%), and extraction of directionality information is accurate and convenient. This can establish the groundwork for the further geographic analysis. This paper offered two-aspect idea: one is the use of landscape pattern metrics in image classification, the other is the further application of vector analysis theory on landscape pattern (VATLP).

**Key words:** multi-resolution segmentation; vector analysis theory on landscape pattern (VATLP); vector index on landscape pattern; landscape orientation