

# 基于面向对象的坑塘遥感监测与动态分析\*

韩鹏鹏<sup>1,2</sup> 黄进良<sup>1</sup> 李仁东<sup>1</sup> 王立辉<sup>1</sup> 胡砚霞<sup>1,2</sup> 黄维<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院测量与地球物理研究所, 武汉 430077; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

**摘要:** 以江汉平原的洪湖市为研究区, 利用 1990—2009 年间的 3 期 Landsat 卫星 TM 遥感数据, 基于面向对象的分类方法进行多尺度分割, 利用光谱、空间、纹理等特征, 并结合专家知识进行坑塘信息提取, 对洪湖市坑塘变化状况进行遥感监测和时空演变分析。结果显示: 利用面向对象的自动分类方法可以有效提取坑塘信息。洪湖市坑塘面积在 1990—2009 年间呈现增加趋势, 其中 1990—2000 年与 2000—2009 年间坑塘面积分别增加了 306.53 km<sup>2</sup> 和 379.69 km<sup>2</sup>。坑塘增加面积随着与湖泊空间距离的增加而减少, 坑塘的增加主要由耕地、湖泊和河流转化而来。利用面向对象的坑塘信息自动提取可以为区域资源环境调查监测提供参考。

**关键词:** 坑塘 遥感 面向对象 动态监测

**中图分类号:** TP79 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2015)01-0272-06

## Remote Sensing Monitoring and Dynamic Analysis of Ponds Based on Object-oriented Rules

Han Pengpeng<sup>1,2</sup> Huang Jinliang<sup>1</sup> Li Rendong<sup>1</sup> Wang Lihui<sup>1</sup> Hu Yanxia<sup>1,2</sup> Huang Wei<sup>1,2</sup>

(1. Institute of Geodesy and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430077, China

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** With the development of remote sensing technology, monitoring and dynamic analysis of ponds is becoming easier to obtain which is very important for regional LUCC research and water resource protection. Taking Honghu city in Jianghan plain as study area, the multi-scale segmentation was carried out based on object-oriented method according to the Landsat TM remote sensing data in 1990, 2000 and 2009. The spectral, space, texture features were used as well as the expert system was also combined for the extraction of ponds information. Remote sensing monitoring and spatial-temporal evolution analysis were carried out on the change of pond in Honghu city. The results showed that ponds area performed an increasing trend in the past 20 years. The increased ponds area in 1990—2000 and 2000—2009 were 306.53 km<sup>2</sup> and 379.69 km<sup>2</sup>, respectively. The increasing pond area decreased with increasing distance to lakes, and the increasing pond area usually changed from farm land, lakes and rivers. Object-oriented ponds information provides important reference data in monitoring region environment and resources.

**Key words:** Ponds Remote sensing Object-oriented Dynamic monitoring

### 引言

卫星遥感技术以其宏观、动态、实时等特点, 成为水体信息提取的有效手段。不少学者借助遥感解

译手段对河流、湖泊、水库、冰川等进行信息提取和动态变化监测的研究<sup>[1-4]</sup>。近年来, 研究学者开始关注遥感数据对水产养殖区的识别和动态变化分析。范亚民等<sup>[5]</sup>利用多期遥感影像从时间、空间和

收稿日期: 2014-05-09 修回日期: 2014-06-21

\* 中科院战略性先导科技专项资助项目(XDA05050107)

作者简介: 韩鹏鹏, 博士生, 主要从事资源环境遥感应用研究, E-mail: hpp0512@sina.com

通讯作者: 黄进良, 研究员, 博士生导师, 主要从事农业遥感研究, E-mail: hjl@whigg.ac.cn

利用类型 3 个方面分析了近 30 年来太湖围湖利用以及东太湖网围养殖的时空变化特征。周小成等<sup>[6]</sup>利用 ASTER 遥感影像对九龙江河口地区进行近海养殖信息的自动提取方法研究。吴岩峻等<sup>[7]</sup>利用 2002 年 4 景 ETM + 作为遥感信息源对海南省水产养殖的面积和位置进行了调查。关学彬等<sup>[8]</sup>尝试利用遥感监测的手段对海南省文昌地区提取水产养殖地块和面积。程田飞等<sup>[9]</sup>分析了各种利用遥感数据进行水产养殖区域识别方法的优缺点和应用情况。近 30 年国内外研究很多,但大多集中于河湖冰川等,而基于遥感监测技术应用于水产养殖的研究和应用相对较少<sup>[10-19]</sup>。

本文借鉴国内外对于水体信息提取的经验,利用多时相的 Landsat TM5 遥感数据进行河湖平原区坑塘信息提取,构建坑塘快速分类规则集,为坑塘时空演变分析和区域水环境资源调查监测提供参考。

## 1 研究区与数据源

### 1.1 研究区概况

洪湖市地处东经  $113^{\circ}07' \sim 114^{\circ}05'$ , 北纬  $29^{\circ}39' \sim 30^{\circ}02'$ , 位于湖北省江汉平原东南部、长江与东荆江之间, 面积为  $2\,519\text{ km}^2$  (图 1)。全境属于古云梦泽东部的长江泛滥平原, 地面海拔高度在  $23 \sim 28\text{ m}$ , 地势平坦低洼, 自西北向东南呈缓倾斜, 南北高, 中间低; 境内河渠纵横交织, 湖泊、坑塘星罗棋布, 水面约占总面积的  $30\%$ 。洪湖市属亚热带湿润季风气候, 四季分明, 光照充足, 雨量充沛, 温和湿润, 无霜期长, 是发展以水产为主的农业生产的理想之地。

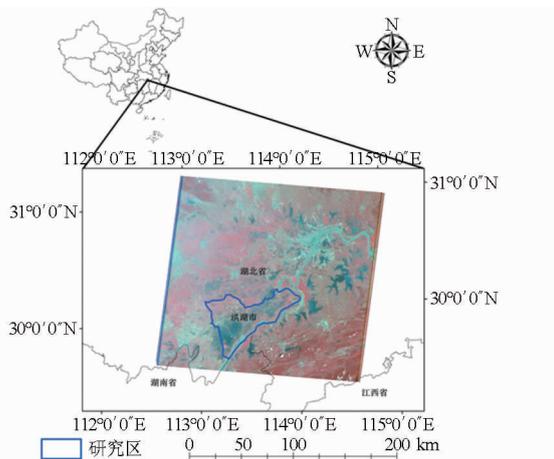


图 1 研究区地理位置

Fig. 1 Location of study area

### 1.2 数据源

本文所用遥感数据为 Landsat TM5 影像数据, 轨道行列号 123/39, 影像获取时间分别为 1990 年

9月2日、2000年9月11日以及2009年9月6日。利用矢量边界提取洪湖市3期遥感影像,并以1990年的TM影像作为参考图像,分别对2000年和2009年的影像进行图像配准和几何校正,校正误差控制在0.5个像元以内。

DEM数据来源于日本METI和美国NASA合作,使用ASTER数据生成的全球数字高程产品GDEM。空间分辨率1 rad/s(约30 m),垂直精度20 m,水平精度30 m。

遥感分类结果样点评估数据主要是2010年的3次野外实测数据,1990年和2000年的采样数据主要是基于Google Earth高分影像和Landsat ETM + 数据人工解译获得。

## 2 研究方法

### 2.1 面向对象原理

面向对象技术<sup>[20-21]</sup>是将光谱近似的像素合并成对象,使影像携带了更多的非光谱属性(空间信息、空间关系信息等),在对象的基础上,提取非光谱信息结合光谱信息提高分类精度。面向对象的分类是将对象看作分类的基元,在此基础上,利用监督分类算法完成分类。

### 2.2 影像分割

影像分割是面向对象分类的基础和前提<sup>[22]</sup>,分割效果直接影响分类的精度。本文采用基于异质性最小原则的区域合并算法。区域合并算法的基本思想是将具有相似性的相邻像元合并构成区域多边形。该方法首先在需要分割的区域内找一个种子像元作为生长起点,然后将种子像元周围与种子像元有相同或相似性质的像元合并到种子像元所在的区域中,接着将这些新的像元作为新的种子像元继续进行上面的过程,直到再没有满足条件的像元。而这个终止的条件就是所设定的分割尺度。分割尺度与分割后获得的对象数量呈负相关。分割效果如图2所示。



图 2 坑塘分割结果

Fig. 2 Segmentation result of ponds

## 2.3 分类规则

在对遥感影像进行有效分割的基础上,构建坑塘分类规则集(图3),选取分类样点,优化特征空间,本文选取 Landsat TM 影像的 6 个光谱特征波段和 3 个纹理特征信息 (GLCM Homogeneity、GLCM Contrast 和 GLCM Entropy)。

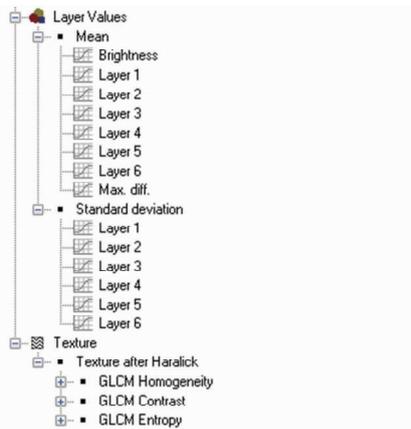


图3 分类特征

Fig. 3 Classification features

由于自动分类存在错分漏分现象,因此在利用样点进行 SVM 自动分类后,需要借助其他规则进行修订,本文主要借助 NDVI、Density、Distance、Shape index、Area、Length/Width 等规则,通过设定隶属度函数值进行坑塘分类的修订完善。

## 2.4 精度评价

基于采样点数据,利用混淆矩阵对研究区土地

覆盖分类结果进行精度评价。本文关注的是研究区坑塘信息,因此,主要对坑塘信息分类结果进行精度评价。误差矩阵的基本统计量包括总体分类精度和 Kappa 系数。坑塘信息提取流程如图4所示。

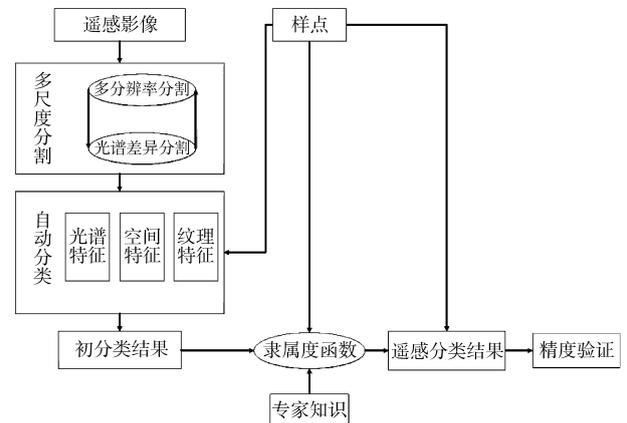


图4 坑塘信息提取流程图

Fig. 4 Flow chart of ponds extraction

## 3 结果与分析

### 3.1 土地覆盖分类结果

基于面向对象的技术,在 eCognition 软件平台上构建多尺度多层次的规则集,利用训练样本进行 SVM 自动分类提取,得到洪湖市 1990、2000 和 2009 年 3 期土地覆盖分类结果(图5),利用实测样点进行精度评价。

基于混淆矩阵的精度评价分析:2009 年洪湖土

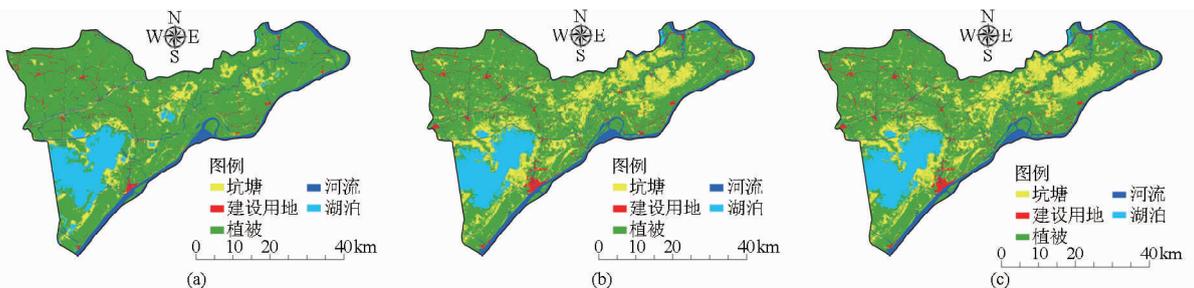


图5 洪湖市土地覆盖分类结果

Fig. 5 Land cover classification of Honghu city

(a) 1990年 (b) 2000年 (c) 2009年

地覆盖总体精度达到 85.66%,其中坑塘信息提取的用户精度和制图精度分别达到 89.42% 和 94.90%。2000 年总体精度达到 86.64%,其中坑塘分类的用户精度为 85.48%,制图精度达到 86.89%。1990 年总体精度达到 87.83%,其中坑塘分类的用户精度为 87.32%,制图精度为 88.57%。3 期坑塘分类精度都在 85% 以上,满足进行后续空间分析的要求。

### 3.2 坑塘时空演变格局

在空间上(图6),洪湖市新增坑塘主要集中在

东北部的冲积平原和洪湖周边区域。1990—2000 年间,洪湖市坑塘面积在东北部有明显的增加,且呈集中分布态势;2000—2009 年间,在洪湖周边地区有大面积的坑塘增加,洪湖市中部和东北部也有明显增加。从坑塘增加面积上分析,1990—2000 年间,洪湖市坑塘增加面积为 306.53 km<sup>2</sup>,占洪湖市面积的 12.2%,平均年增长率为 30.65 km<sup>2</sup>/a;2000—2009 年间,洪湖市坑塘增加面积为 379.69 km<sup>2</sup>,占洪湖市面积的 15.11%,平均年增长率 42.19 km<sup>2</sup>/a。洪湖市坑塘面积不断增长,且年平均增长率呈上升趋势。

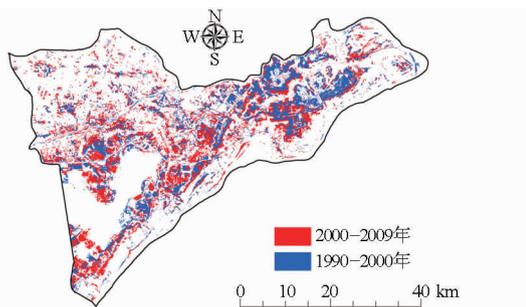


图 6 坑塘增加区域的空间分布

Fig. 6 Spatial pattern of ponds increasing area

从洪湖市坑塘空间演变的结果分析可知,洪湖市坑塘面积增加区域大都分布在湖泊周围。借助 GIS 空间缓冲区分析功能,以 1990 年的湖泊为中心,分别建立 1 km 为间隔的 1~10 km 的缓冲区,并分别统计各个缓冲区内坑塘增加面积(表 1)。对表 1 中坑塘增加面积缓冲区统计分析可知,随着与湖泊距离的增加,坑塘增加面积逐渐减少,坑塘增加区域集中在以湖泊为中心的 1~6 km 的缓冲区内,其中 1990—2000 年间,坑塘增加面积在 1~6 km 的缓冲区内为 294.21 km<sup>2</sup>,占坑塘增加面积的 95.98%;2000—2009 年间,坑塘增加面积分布在 1~6 km 的缓冲区内为 362.11 km<sup>2</sup>,占坑塘增加面

表 1 坑塘增加面积的缓冲区统计

Tab. 1 Static increasing ponds area with different buffer regions

缓冲距离/km	坑塘增加面积/km <sup>2</sup>		
	1990—2000 年	2000—2009 年	增加量
0	0.53	0.77	0.24
1	89.89	117.88	27.99
2	66.40	84.35	17.95
3	55.52	77.60	22.08
4	41.66	47.11	5.45
5	26.40	23.46	-2.95
6	14.34	11.71	-2.63
7	6.32	8.63	2.31
8	4.30	5.06	0.76
9	0.89	1.89	1.00
10	0.28	1.23	0.96

积的 95.37%。

从缓冲区间增加量(图 7 和表 1)可以看出,坑塘持续增加缓冲区间主要位于 1~4 km 之间,而在 5、6 km 缓冲区间,坑塘增加面积表现为减缓趋势。洪湖市坑塘增加空间分布与湖泊的关系越来越紧密,坑塘增加分布离湖泊越来越近,增加面积越来越

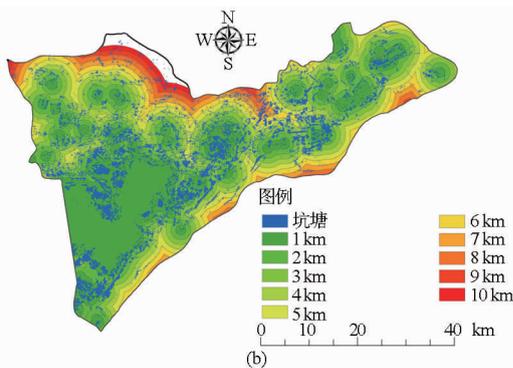
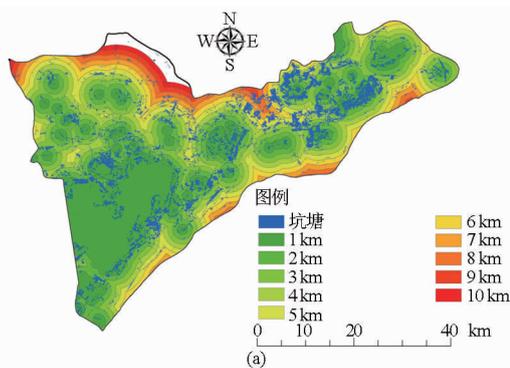


图 7 坑塘增加区域的缓冲区分布

Fig. 7 Spatial relationship between increasing ponds area and buffer regions

(a) 1990—2000 年 (b) 2000—2009 年

### 3.3 坑塘变化检测

通过对洪湖市土地利用转移(表 2)分析可知,洪湖市坑塘面积增加主要是由植被、湖泊和河流 3 类转化而来。1990—2000 年,植被、湖泊和河流转化为坑塘的面积分别为 274.56、21.74、10.21 km<sup>2</sup>;2000—2009 年,植被、湖泊和河流转化为坑塘的面积分别为 338.21、27.49、13.92 km<sup>2</sup>。可以看出,植被、湖泊和河流转化为坑塘的面积均呈增加趋势,尤其是植被增加趋势明显,植被转化为坑塘的面积 2000—2009 年比 1990—2000 年多 63.65 km<sup>2</sup>。洪湖市坑塘面积增加的来源主要是植被区域,即主要是由耕地转变为坑塘,主要表现形式为人工修建鱼塘、

藕塘等。湖泊转化为坑塘主要是环湖沿岸人工养殖面积的扩张,河流转化为坑塘主要是部分河流裁弯取直,河流断流淤积形成许多水洼地和坑塘等。

坑塘在 1990—2000 年和 2000—2009 年间主要转移方向是植被、湖泊和河流,坑塘转变为植被的面积分别为 34.46 km<sup>2</sup> 和 60.69 km<sup>2</sup>,一方面部分废弃坑塘被重新开垦耕种为旱地或演变为裸地;另一方面由于洪湖市坑塘区域多种种植莲藕,莲藕生长期间由于在光谱上的特殊性造成部分混分。坑塘转化为湖泊和河流主要是由于退耕还湖和保护湿地等政策的影响,改造环湖沿河鱼塘,另外遥感影像空间分辨率不足造成的部分混分现象也存在。

表2 洪湖市土地利用转移类型

Tab.2 Changing class of land use in Honghu city

1990—2000年		2000—2009年	
变化类型	面积/km <sup>2</sup>	变化类型	面积/km <sup>2</sup>
植被→坑塘	274.56	植被→坑塘	338.21
湖泊→植被	35.15	坑塘→植被	60.69
坑塘→植被	34.46	湖泊→坑塘	27.49
植被→湖泊	33.91	河流→植被	23.64
植被→建设用地	25.91	湖泊→植被	18.36
植被→河流	23.48	植被→湖泊	15.11
湖泊→坑塘	21.74	河流→坑塘	13.92
河流→植被	19.70	植被→建设用地	11.71
河流→坑塘	10.21	植被→河流	4.68
坑塘→河流	5.06	坑塘→湖泊	3.52
坑塘→湖泊	1.21	坑塘→河流	2.21
坑塘→建设用地	0.87	坑塘→建设用地	0.60
湖泊→河流	0.84	河流→湖泊	0.59
河流→湖泊	0.82	河流→建设用地	0.57
河流→建设用地	0.50	湖泊→河流	0.21

## 4 结论

(1)坑塘在空间分布上具有相对集中性,光谱纹理具有比较明显的可识别性,从而可以利用面向对象的方法,构建分类规则,基于光谱、纹理和其他辅助信息进行坑塘空间分布的遥感提取。

(2)分析发现,洪湖市坑塘面积呈现增加趋势,坑塘增加的面积随着与湖泊空间距离的增加而较小,坑塘大幅扩张的区域集中在距湖泊1~6 km的缓冲区内。洪湖市坑塘面积的变化与湖泊具有密切的关系,坑塘的增加主要是由耕地和湖泊转化而来,其中尤其以耕地转化比例较大。

(3)利用多时相的Landsat数据可以有效提取坑塘信息,并对坑塘信息的时空演变过程进行分析,但是由于空间和光谱分辨率的局限,在坑塘信息提取过程中,存在部分坑塘错分漏分现象,因此可以借助多源数据和高分数据在以后的研究中进行分析,另外坑塘信息提取的规则算法有待进一步改进。

## 参 考 文 献

- 1 张玉书,陈鹏狮,冯锐. 辽宁省河流水系及流域的遥感解译[J]. 生态学杂志,2003,22(3):65-69.  
Zhang Yushu, Chen Pengshi, Feng Rui. Remote sensing interpretation of drainage system and catchments of Liaoning province [J]. Chinese Journal of Ecology, 2003, 22(3): 65-69. (in Chinese)
- 2 闫立娟,齐文. 青藏高原湖泊遥感信息提取及湖面动态变化趋势研究[J]. 地球学报,2012,33(1):65-74.  
Yan Lijuan, Qi Wen. Lakes in Tibetan Plateau extraction from remote sensing and their dynamic changes [J]. Acta Geoscientica Sinica, 2012, 33(1): 65-74. (in Chinese)
- 3 竞霞,黄文江,王纪华,等. 采用IRS-P6遥感数据监测密云水库水质及评价营养状况[J]. 农业工程学报,2008,24(增刊2):13-17.  
Jing Xia, Huang Wenjiang, Wang Jihua, et al. Water quality monitoring and trophic state evaluation in Miyun reservoir based on IRS-P6 remote sensing data [J]. Transactions of the CASE, 2008, 24(Supp. 2): 13-17. (in Chinese)
- 4 聂勇,张德镗,刘林山,等. 近30年珠穆朗玛峰国家自然保护区冰川变化的遥感监测[J]. 地理学报,2010,65(1):13-28.  
Nie Yong, Zhang Yili, Liu Linshan, et al. Monitoring glacier change based on remote sensing in the Mt. Qomolangma National Nature Preserve, 1976—2006 [J]. Acta Geographica Sinica, 2010, 65(1): 13-28. (in Chinese)
- 5 范亚民,李海宇,何花春,等. 近30年来太湖围湖利用及东太湖网围养殖动态变化研究[J]. 长江流域资源与环境,2012,21(2):121-126.  
Fan Yamin, Li Haiyu, He Huachun, et al. Dynamic monitoring of lake reclamation in the Taihu lake and lake enclosure culture of the East Taihu lake in recent 30 years [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2012, 21(2): 121-126. (in Chinese)
- 6 周小成,汪小钦,向天梁,等. 基于ASTER影像的近海水产养殖信息自动提取方法[J]. 湿地科学,2006,4(1):64-68.  
Zhou Xiaocheng, Wang Xiaoqin, Xiang Tianliang, et al. Method of automatic extracting seaside aquaculture land based on ASTER remote sensing image [J]. Wetland Science, 2006, 4(1): 64-68. (in Chinese)
- 7 吴岩峻,张京红,田光辉,等. 利用遥感技术进行海南省水产养殖调查[J]. 热带作物学报,2006,27(2):108-111.  
Wu Yanjun, Zhang Jinghong, Tian Guanghui, et al. A survey to aquaculture with remote sensing technology in Hainan province [J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2006, 27(2): 108-111. (in Chinese)
- 8 关学彬,张翠萍,蒋菊生,等. 水产养殖遥感监测及信息自动提取方法研究[J]. 国土资源遥感,2009,21(2):41-44.  
Guan Xuebin, Zhang Cuiping, Jiang Jusheng, et al. Remote sensing monitoring of aquaculture and automatic information extraction [J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2009, 21(2): 41-44. (in Chinese)
- 9 程田飞,周为峰,樊伟. 水产养殖区域的遥感识别方法进展[J]. 国土资源遥感,2012,24(3):1-5.  
Cheng Tianfei, Zhou Weifeng, Fan Wei. Progress in the methods for extracting aquaculture areas from remote sensing data [J]. Remote Sensing for Land Resources, 2012, 24(3): 1-5. (in Chinese)
- 10 杨英宝,江南,殷立琼,等. 东太湖湖泊面积及网围养殖动态变化的遥感监测[J]. 湖泊科学,2005,17(2):133-138.  
Yang Yingbao, Jiang Nan, Yin Liqiong, et al. RS-based dynamic monitoring of lake area and enclosure culture in East Taihu

- Lake [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2005, 17(2):133 - 138. (in Chinese)
- 11 李新国, 江南, 杨英宝, 等. 太湖围湖利用与网围养殖的遥感调查与研究 [J]. *海洋湖沼通报*, 2006(1):93 - 99.  
Li Xinguo, Jiang Nan, Yang Yingbao, et al. Remote sensing investigation and survey of lake reclamation and enclosure aquaculture in lake Taihu [J]. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 2006(1):93 - 99. (in Chinese)
  - 12 樊建勇, 黄海军, 樊辉, 等. 利用 RADARSAT-1 数据提取海水养殖区面积 [J]. *海洋科学*, 2005, 29(10):44 - 47.  
Fan Jianyong, Huang Haijun, Fan Hui, et al. Extracting aquaculture areas with RADARSAT-1 [J]. *Marine Sciences*, 2005, 29(10):44 - 47. (in Chinese)
  - 13 褚忠信, 翟世奎, 孙革, 等. 遥感监测的黄河三角洲平原水库及水产养殖场面积变化 [J]. *海洋科学*, 2006, 30(8):10 - 12.  
Chu Zhongxin, Zhai Shikui, Sun Ge, et al. Surveying area changes of plain reservoirs and aquafarms in the Yellow River Delta with remote sensing data [J]. *Marine Sciences*, 2006, 30(8):10 - 12. (in Chinese)
  - 14 马艳娟, 赵冬玲, 王瑞梅, 等. 基于 ASTER 数据的近海水产养殖区提取方法 [J]. *农业工程学报*, 2010, 26(14):120 - 124.  
Ma Yanjuan, Zhao Dongling, Wang Ruimei, et al. Offshore aquatic farming areas extraction method based on ASTER data [J]. *Transactions of the CSAE*, 2010, 26(14):120 - 124. (in Chinese)
  - 15 王静, 高俊峰. 基于对应分析的湖泊围网养殖范围提取 [J]. *遥感学报*, 2008, 12(5):716 - 723.  
Wang Jing, Gao Junfeng. Extraction of enclosure culture in Gehu lake based on correspondence analysis [J]. *Journal of Remote Sensing*, 2008, 12(5):716 - 723. (in Chinese)
  - 16 李俊杰, 何隆华, 戴锦芳, 等. 基于遥感影像纹理信息的湖泊围网养殖区提取 [J]. *湖泊科学*, 2006, 18(4):337 - 342.  
Li Junjie, He Longhua, Dai Jinfang, et al. Extract enclosure culture in lakes based on remote sensing image texture information [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2006, 18(4):337 - 342. (in Chinese)
  - 17 初佳兰, 赵冬至, 张丰收, 等. 基于卫星遥感的浮筏养殖监测技术初探——以长海县为例 [J]. *海洋环境科学*, 2008, 27(2):35 - 40.  
Chu Jialan, Zhao Dongzhi, Zhang Fengshou, et al. Monitor method of rafts cultivation by remote sense—a case of Changhai [J]. *Marine Environmental Science*, 2008, 27(2):35 - 40. (in Chinese)
  - 18 谢玉林, 汪闽, 张新月. 面向对象的海岸带养殖水域提取 [J]. *遥感技术与应用*, 2009, 24(1):68 - 72.  
Xie Yulin, Wang Min, Zhang Xinyue. An object-oriented approach for extracting farm waters within coastal belts [J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2009, 24(1):68 - 72. (in Chinese)
  - 19 孙晓宇, 苏奋振, 周成虎, 等. 基于 RS 与 GIS 的珠江口养殖用地时空变化分析 [J]. *资源科学*, 2010, 32(1):71 - 77.  
Sun Xiaoyu, Su Fenzhen, Zhou Chenghu, et al. Analyses on spatial-temporal changes in aquaculture land in coastal areas of the Pearl River estuarine [J]. *Resources Science*, 2010, 32(1):71 - 77. (in Chinese)
  - 20 Ketting R L, Land grebe D A. Computer classification of remotely sensed multi spectral image data by extraction and classification of homogenous object [J]. *IEEE Transactions on Geoscience Electronics*, 1976, 14(1):19 - 26.
  - 21 Shackelford K. A combined fuzzy pixel-based and object-based approach for classification of high-resolution multi-spectral data over urban areas [J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote sensing*, 2003, 41(10):2354 - 2364.
  - 22 杜凤兰. 北京大兴区高分辨率遥感土地利用分类及不确定性研究 [D]. 南京: 南京大学, 2005.