

文章编号: 1007-4619 (2002)05-0364-06

深圳河河口红树林变化的多时相遥感分析

李天宏¹, 赵智杰¹, 韩 鹏²

(1. 水沙科学教育部重点实验室, 北京大学 环境工程系, 北京 100871;

2. 清华大学水利水电工程系, 北京 100084)

摘 要: 通过对深圳河河口地区 6 个时相卫星遥感图像的分析, 得到了该地区 10 多年来红树林湿地面积的变化。通过对多时相红树林分布信息进行二进制编码, 分析了不同时期红树林在空间上的消长。通过计算和对比各个时相红树林覆盖区域的植被指数, 间接反映了红树林的生长状况的空间分布特征, 并结合成像时刻的潮位数据进行了分析。结果表明: 从 1989 年到 1996 年, 深圳河河口红树林湿地面积总体上呈增长趋势, 在 1996 年以后面积变化不明显而在空间分布上有变化。植被指数大的区域主要分布在多年被红树林占据的部位, 深圳福田一侧的红树林空间消长变化不显著, 而主要的变化部分集中于香港米埔红树林保护区靠近深圳河河口的南侧。

关键词: 多时相 TM 遥感图像; 深圳河河口; 红树林; 动态变化

中图分类号: TP79/X87 **文献标识码:** A

1 引 言

红树林是生长在热带、亚热带海岸潮间带上部, 受周期性潮水浸淹, 以红树科植物为主体的常绿灌木或者乔木组成的潮滩湿地木本生物群落^[1]。红树林面积的减少不仅直接造成生态破坏并影响海岸带生态功能, 而且会导致野生动物的生境受到破坏, 如红树林鸟类的数量和种类减少, 最终使物种的多样性受到威胁。随着我国对于红树林资源生态效应认识的深化和对其管理保护的日益重视, 红树林资源的调查和变化监测成为红树林湿地管理保护中重要课题之一^[2]。常规监测红树林的方法是海岸带调查, 不仅速度慢、周期长、耗费大, 而且很难进行历史数据的收集, 不利于红树林动态变化信息的提取。空间遥感技术以其获取数据具有宏观、综合、动态和时间间隔短等特点, 在红树林湿地资源调查中开始得以应用^[3]。尽管目前对于从遥感数据分析得到的红树林面积是否准确尚存在争议^[2], 但是利用多时相的遥感数据能够快速得到红树林分布的变化情况, 为更加详细的实地调查提供靶区已成共识。

深圳河河口西北侧的深圳市福田红树林保护区和南侧的香港米埔保护区是世界著名的湿地生态系统之一, 是东半球候鸟南北迁移地、歇脚地和栖息地, 在全球生态系统中占有重要地位, 备受国际环保组织的关注^[4]。而对于深圳河河口红树林的分布大小尚没有统一的数据^[2], 更谈不上对其动态变化的系统研究。本文利用 6 个时相的卫星遥感数据分析了深圳河河口 10 多年来红树林的变化情况。

2 数据和数据预处理

本文采用的数据有卫星遥感数据、地形图、实测潮位数据和文献资料等辅助数据, 有关数据的主要信息见表 1。由于研究区域的 TM 图像成像时刻为 10:31AM 左右, 根据成像日期的潮位变化趋势, 结合成像前后两个重要时刻的潮位观测记录, 得到成像时刻的潮位(表 2)。由表 1 可以看到, 6 个时相的遥感数据成像时间相差 8 天到几个月不等。但由于红树林属于常绿植被, 加之可见光波段对水体具有一定的透视能力, 而深圳湾内湾的平均水深只有 2—3 m, 这些因素在一定程度上减弱了成像时差和涨落

收稿日期: 2001-07-06; 修订日期: 2001-09-06

基金项目: 本文得到国家自然科学基金委重大项目(No. 59890200)资助。

作者简介: 李天宏(1970—), 男, 陕西渭南人, 北京大学环境工程系讲师。1998年毕业于北京大学遥感与地理信息系统研究所, 获理学博士学位。主要从事环境遥感和环境信息系统的开发与应用研究, 已经在国内外学术刊物上发表论文 10 余篇。

潮的影响, 结合成像时刻的潮位数据能够比较客观地识别出红树林的时空变化状况。

在进行多时相分析之前, 首先将 1998 年的图像对照 1:50000 比例尺的地形图纠正到大地坐标, 然后再以 1998 年纠正后的图像为基准, 对其它 5 个时相的图像进行几何配准。几何配准时位置采样方法

统一采取二次多项式拟合, 灰度重采样统一选择双线性内插法。几何配准的均方根误差均小于 0.5 像素, 满足进行红树林多时相动态变化分析的精度要求。遥感数据处理在遥感图像处理与分析软件 ENVI3.0 中进行。

表 1 本研究中使用的数据
Table 1 Description of data set used in this study

数据类型	来源及获取时间	主要用途
LANDSAT TM/ ETM 数据	中科院遥感卫星地面站	红树林变化分析
	1989 年 12 月 13 日	
	1992 年 12 月 21 日	
	1994 年 10 月 24 日	
	1996 年 03 月 03 日	
	1998 年 10 月 03 日	
2000 年 09 月 14 日		
1:5 万地形图	1982 年航摄, 1983 年调绘, 1986 年第一版	几何纠正的基准 辅助红树林解译
实际潮位观测数据	1954 黄海高程系, 深圳市赤湾站	解译结果的分析
文献资料	80 年代以来	辅助红树林解译

表 2 实际潮位观测数据
Table 2 Tide level dataset by observation

潮位和时刻 \ TM 图像时相		1989/ 12/ 13	1992/ 12/ 21	1994/ 10/ 24	1996/ 3/ 3	1998/ 10/ 3	2000/ 9/ 14
低潮	时刻	05: 10	2: 49	7: 32	3: 59	2: 09	4: 39
	潮位/ cm	4	51	59	45	143	109
高潮	时刻	11: 47	9: 27	13: 45	10: 07	17: 43	10: 30
	潮位/ cm	168	161	184	176	252	268
低潮	时刻	15: 41	13: 54	18: 15	15: 18	14: 55	17: 16
	潮位/ cm	126	112	139	108	59	62
高潮	时刻	21: 55	20: 04		21: 31	21: 39	23: 24
	潮位/ cm	294	261		238	218	223
其它重要时刻	时刻	10: 00	10: 00	10: 00	10: 00	10: 00	10: 00
	潮位/ cm	147	159	165	176	214	268
	时刻	11: 00	11: 00	11: 00	11: 00	11: 00	
	潮位/ cm	164	149	190	171	178	
推算出的成像时刻潮位/ cm		156	154	178	174	196	268

3 红树林分布时空变化

3.1 红树林面积变化

由于 TM 的第 1、2、3 波段相关性高, TM4 为植

被的高反射率波段, 而 TM5 和 TM7 反映水陆界限, 因此, TM4、5、3 三个波段相关性最小, 信息量相对较大。给这三个波段分别赋予红、绿、蓝的假彩色合成方案能够较好地识别出各种地物^[5]。图 1 是不同色调的红树林的波谱特征。图中曲线 1、2、3 分别代表

了红树林高亮区、过渡带和近海带红树林的波谱特征。可以看出在曲线 1 和 2 在第 4 波段(植被的反射高台区)和第 5 波段(近红外区,可以反映水陆界限)有所差别以外,在其它波段上基本上变化不大。而曲线 3 由于受到潮水作用,位置接近泥滩,反映了植被和水体的共同特征。

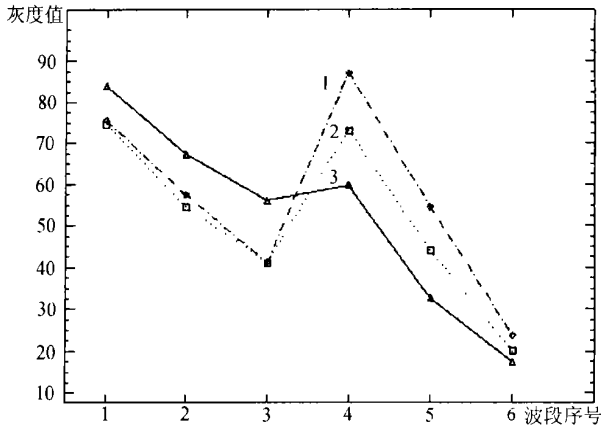


图 1 红树林的波谱特征

Fig. 1 Spectral characteristics of mangrove

参考地形图、辅助资料和野外考察记录,在各时相的假彩色合成图像的 2 倍放大图像上进行屏幕目视解译,得到红树林的分布范围图(图 2,图版 I)。各时相红树林分布面积的统计参数见表 3。

从表 3 的统计数据 and 表 2 的潮位数据可以看出,1989 和 1992 年潮差只有 2 cm,而红树林面积增长了 7.27%,说明这一段时间内红树林面积呈增长趋势。1994 年的潮位比 1992 年高出 24 cm,说明红树林面积至少增长 11.91%。1996 年的潮位比 1994 年低 4 cm,而红树林面积变化微小,说明这两年的数据变化几乎没有变化。1998 年比 1996 年潮位高出 22 cm,说明 1998 年比 1996 年有微弱变化或者没有变化。2000 年恰逢高潮潮位,监测到的红树林面积理论上偏小,同 1998 年相比为微弱增加。从总体上看,1989 年到 1994 年,深圳河河口的红树林的面积呈增长趋势,而 1994 年以后,变化很小或者没有变化。无论是深圳福田还是香港米埔,1989 年到 1994 年红树林面积呈增长状态。深圳福田 1996 年比 1994 年减少了 11.08%,1998 年比 1996 年有微弱增长或者没有变化,2000 年相比 1998 年增长了 9.76%,而同期香港米埔一侧的红树林则变化不大。

表 3 6 个时相的红树林面积变化

Table 3 Area changes of mangrove over 6 phrases

区 域	变化内容	1989	1992	1994	1996	1998	2000
深圳河口	红树林面积/ hm^2	190.53	204.39	228.78	230.13	240.84	241.47
	增长率/ %		7.27	11.91	0.01	4.63	0.26
深圳福田	红树林面积/ hm^2	53.64	56.88	66.60	59.22	60.84	66.78
	增长率/ %		6.04	17.08	-11.08	2.74	9.76
香港米埔	红树林面积/ hm^2	136.89	147.51	162.18	170.91	180.00	174.69
	增长率/ %		7.76	9.95	5.38	5.28	-2.95

3.2 红树林空间分布变化

对遥感图像解译或者分类结果进行多时相空间变化分析,一般将数据转换到地理信息系统(GIS)中后,采用 GIS 系统中的叠加(OVERLAY)操作,然后具体分析新生成单元随时间变化的具体内涵。这样不仅需要在遥感图像处理软件和地理信息系统软件之间进行数据交换,工作量大,而且不利用进行细碎

单元的分析处理。本文采用多时相信息的字节编码方法来表达时相之间红树林的空间消长变化。一个字节(BYTE)有 8 位(Bit),指定低比特位到高比特为依次代表 2000 年到 1989 年的红树林分布(如表 4)通过以上编码方法得到一幅字节型的结果图像,能够以最少的存储空间,表达 6 个时相、像元级别上的动态变化信息。

表 4 红树林多时相变化信息的编码方法

Table 4 Coding method for multiple temporal change of mangrove

字节的位数	Bit7	Bit6	Bit5	Bit4	Bit3	Bit2	Bit1	Bit0
时 相	空	空	1989 年	1992 年	1994 年	1996 年	1998 年	2000 年

在结果图像上, 如某像元灰度值二进制的第5位(Bit)为1, 则表示该像元在该位对应的年份(1989年)为红树林, 如为0, 则表示不是红树林。而像元的灰度值则完整地记录了红树林在6个时相上的消长状况。只要对像元从左到右进行解读灰度值的二进制字符串, 就能够清楚地知道红树林在该像元上随年份的变化情况。例如, 如某像元的灰度值为57, 对应的二进制为“111001”, 则表示该像元在1989年、1992年和1994年为红树林, 后到1996年和1998年红树林消失, 而到2000年时又被红树林覆盖, 等等。

在ENVI遥感图像处理系统中, 通过波段之间

的数学计算功能(Band Math), 采用代数式(1)即可方便地进行多时相红树林变化信息的二进制编码。

$$V_{dyna} = \sum_{i=0}^5 2^i \circ V_{year, i} \quad (1)$$

其中, V_{dyna} 表示6个时相分布消长图像的灰度值, $V_{year, i}$ 表示*i*时相红树林分布图, $i=0, 1, 2, 3, 4, 5$ 分别表示2000年, 1998年, 1996年, 1994年, 1992年和1989年。

通过对变化图像进行直方图统计(图3), 则可以快速得到红树林空间变化的编码数值, 再对编码进行二进制解读即可准确得到具体年份的数量变化状况。

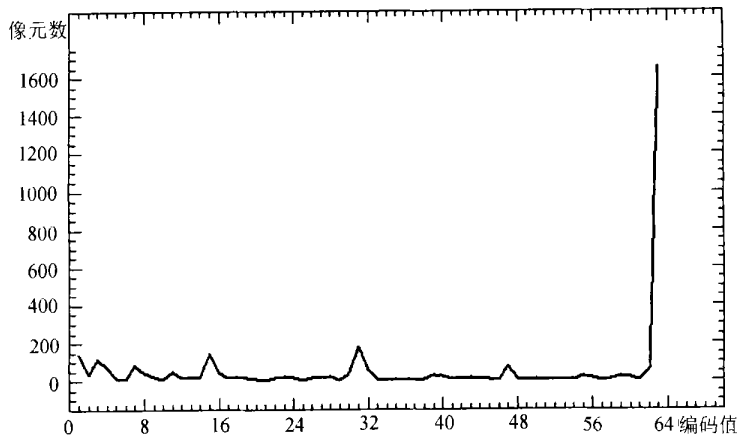


图3 红树林面积随时间消长的分布

Fig. 3 Histogram of mangrove area changes over 6 phrases

由图3可以看出, 图中的最大值63表示6个时相都被红树林占据的像元数最多, 为1656个像元(149.04 hm²)。其余变化幅度较大的数值有1, 3, 15, 31。根据这些数字的二进制可以看到, 1表示2000年红树林新扩展的面积为141个像元(12.69 hm²); 3表示1998年和2000年新扩展的面积为113个像元(10.17 hm²); 15表示1992年不是红树林, 而1994年以后直到2000年一直被红树林覆盖的区域有137个像元(12.33 hm²), 31表示1989年不是红树林, 而1992年以后被红树林覆盖的区域有178个像元(16.02 hm²)。

从图3也可以看出, 数值小于16时, 直方图的变化起伏较多, 说明后3个时相红树林分布在空间上消长变化频繁; 而在16到31之间、31以后直方图曲线平缓, 说明1989年和1992年的红树林在以后的年份里空间变化不显著。

为了便于分析红树林的空间变化, 以六个时相一直为红树林覆盖的区域作为除数, 以变化的面积

作为被除数, 计算变化率。对于变化率超过5%的部分(编码值分别为1, 3, 15, 31)进行假彩色密度分割, 得到图4(图版I)。从图4中可以看到: 红树林面积的变化主要在多年红树林分布区域的周围, 其中深圳河河口西北侧的福田红树林保护区变化较小, 且变化沿多年红树林分布边缘以带状消长, 而在深圳河河口南面香港米埔保护区红树林的变化较为频繁, 尤其以深圳河河口变化最为显著, 反映了红树林生长受海洋和河流共同作用的特点。

4 红树林植被指数时空变化

4.1 红树林的NDVI变化

植被指数是表征植被生物量和活力的一个综合指标, 一般使用植被的红光吸收波段和近红外反射高台区的波段进行组合计算, 能够揭示植被生理和分布等特征^[9]。在各种各样的植被指数中, 归一化植被指数(NDVI)在变化检测方面比其它指数具有

优势^[7]。为了对比 6 个时相红树林覆盖度的相对大小, 分别对 6 个时相的红树林分布区域计算 *NDVI*, 并分析其高低值的空间分布和变化规律。

为消除不同时相光照和云量等外部因素在植被指数计算中的影响, 以图像质量最好的 1994 年图像为基准, 在其它时相的图像两两进行目视对比, 针

对不同的土地覆盖类型(水体、植被、开发用地、居民地等)选择没有变化或者变化微小区域, 进行灰度值的线性回归^[8,9]。建立形如 $Y = ax + b$ 回归方程(见表 5)以后, 对其它的图像进行辐射重新校正, 然后计算各个时相的 *NDVI*。各时相 *NDVI* 计算结果的统计参数如表 6 所示。

表 5 线性回归方程的参数和相关系数

Table 5 Parameters and correlation coefficients of regressive equation for digital number recalibration

时相 \ 方程参数	波段	像元数	斜率(<i>a</i>)	截距(<i>b</i>)	相关系数平方/ <i>R</i> ²
1989 年到 1994 年	Band 3	814	1.3915	0.4322	0.8077
	Band 4	814	1.3009	3.6020	0.8950
1992 年到 1994 年	Band 3	922	2.4188	-25.4510	0.8665
	Band 4	922	1.8567	-10.8000	0.8990
1996 年到 1994 年	Band 3	927	1.8395	-29.022	0.9449
	Band 4	927	1.5105	-9.1751	0.8863
1998 年到 1994 年	Band 3	941	1.1076	0.2324	0.9259
	Band 4	941	0.8148	0.1652	0.8481
2000 年到 1994 年	Band 3	1258	0.7554	-3.222	0.9663
	Band 4	1258	1.0077	-5.7221	0.9562

表 6 红树林覆盖区域 6 个时相的 *NDVI* 对比

Table 6 Comparison of *NDVI* over 6 phrases in the mangrove covered areas

<i>NDVI</i> \ 时相	1989	1992	1994	1996	1998	2000
平均值	0.3428	0.2487	0.3835	0.4312	0.3466	0.3583
中位数	0.3687	0.2847	0.4402	0.4820	0.4026	0.4024
众数	0.4654	0.3853	0.4961	0.5287	0.4544	0.4528
标准差	0.1199	0.1240	0.1422	0.1450	0.1596	0.1320

1989 年和 1992 年成像时差 8 天, 潮位相差 2 cm, 而 1992 年的植被指数总体上小于 1989 年。2000 年和 1998 年成像时间相差 19 天, 这两年红树林覆盖区域内的植被指数几乎没有变化。1996 年的 *NDVI* 比 1994 年有所增长, 而到 1998 年又有所减小。

4.2 红树林 *NDVI* 的空间变化

对植被指数图像进行假彩色密度分割后, 得到 6 个时相红树林分布区域内的 *NDVI* 相对大小的空间分布图(图 5, 图版 I)。从图 5 可以看出, 尽管 6 个时相的成像时间不同, 但是 *NDVI* 的高低分布都具有由四周到中心逐渐增加的共同规律, 反映了面积消长区域的 *NDVI* 值比较低, 而多年为红树林覆盖的区域 *NDVI* 值高。总体上来看, 香港一侧的米埔红树林保护区的 *NDVI* 不仅在数值比深圳一侧福

田红树林保护区要高, 而且其变化的幅度也同样高于福田红树林保护区。

5 结论和讨论

通过 6 个时相卫星遥感数据的对比分析, 能够快速得到红树林的面积变化、空间分布变化。遥感数据虽然不能精确地给出红树林的面积, 但从多时相数据对比分析得到的变化信息对于安排详细的红树林海岸调查、了解红树林的总体变化规律具有重要的参考价值。红树林覆盖区域的归一化植被指数可以反映红树林的生长状况。本文虽然对不同时相的遥感图像经过了辐射纠正, 但由于各时相图像的成像时间不同而不能进行 *NDVI* 绝对值之间的精确对比。但成像时间相近、潮相相近的图像 *NDVI* 变

化小, 季节相差的大、潮相相差大的图像 *NDVI* 变化大的事实也从另一角度说明 *NDVI* 可以反映红树林的生长状况。

参考文献 (References)

- [1] Zhang Q M, Zhang Y C. On biological and geomorphologic process of seashore in South China [J]. *Quaternary Sciences*, 1997, 4: 344—353. [张乔民, 张叶春. 华南海岸生物地貌过程研究 [J]. 第四纪研究, 1997, 4: 344—353.]
- [2] Zhang Q M, Sui SZ. The mangrove wetland resources and their conservation in China [J]. *Journal of natural resources*, 2001, 16 (1): 28—36. [张乔民, 隋淑珍. 中国红树林湿地资源及其保护 [J]. 自然资源学报, 2001, 16 (1): 28—36.]
- [3] Fan H Q. Necessity and main tasks to establish national center for mangrove research [J]. *Journal of Guangxi Academy*, 1993, 9 (2): 122—129. [范航清. 成立中国红树林研究中心的必要性和中心任务 [J]. 广西科学院学报, 1993, 9 (2): 122—129.]
- [4] Luo S, Huang Y F, Huang Y H, Chen J H. Building of ecological environment in the Binhai highway in Shenzhen [J]. *Environment and Development*, 2000, 15 (2): 9—11. [罗澍 黄远峰, 黄毅华, 陈嘉
- 畔. 深圳湾滨海道路生态建设, 环境与开发, 2000, 15 (2): 9—11.]
- [5] Xu G H. Remote Sensing Theory and Its Technical Application for Renewable Resources in the Three North Shelter Forest Region [M]. Beijing: Chinese Forestry Press, 1994. 44—46. [徐冠华主编, 三北防护林地区再生资源遥感的理论及其技术应用, 中国林业大学出版社, 1994 北京, 44—46.]
- [6] T. Fung and W. Siu. Environmental Quality and Its Changes: an Analysis Using *NDVI* [J]. *Int. J. Remote Sensing*, 2000, 21 (5): 1011—1024.
- [7] Lo, C P and Yuan D, Lunetta R S and Elvidge C D. A Change, detection experiment using vegetation indices [J]. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1997, 64: 143—150.
- [8] Eckhardt D W, Verdin J P, Lyford G R. Automated Update of an Irrigation Lands GIS Using SPOT HRV Imagery [J]. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1990, 56: 1515—1522.
- [9] Christopher D E, Ding Y. Relative radiometric normalization of Landsat multispectral Scanner (MSS) data using an Automatic Scattergram-Controlled Regression [J]. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1995, 56: 1015—1026.

Detection and Analysis of Mangrove Changes with Multi-temporal Remotely Sensed Imagery in the Shenzhen River Estuary

LI Tian-hong¹, ZHAO Zhi-jie¹, HAN Peng²

(1. The Key Laboratory of Water and Sediment Sciences of Ministry of Education, Department of Environmental Engineering, Peking University, Beijing 100871, China;

2. Department of Water Conservancy and Hydraulic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084 China)

Abstract: With six phase of remote sensing images covering Shenzhen river estuary, this paper obtained the mangrove changes in the area over some 10 years. Coupled analysis of the image interpretation results and tidal data revealed that the mangrove increased in area from 1989 to 1996, and changed little from 1996 to 2000 in area but changed in spatial distribution. Binary coding was applied to the images for the distribution of mangrove at each phase, and the coded image revealed that the changes are mainly located at the Mipu mangrove conservation region that lies to south side of Shenzhen river mouth and is under Hongkong administration. Since the image in 1994 had best quality, the other 5 phase of images were recalibrated to that of 1994 with linear regressive method, and the normalize vegetation index was calculated for each phase. Though the results of *NDVI* can not compared because of different image acquisition time, all the six *NDVI* images showed that the *NDVI* values became large from the edge to center of the mangrove covered area.

Key words: multi-temporal TM imagery; Shenzhen river estuary; mangrove; dynamic change

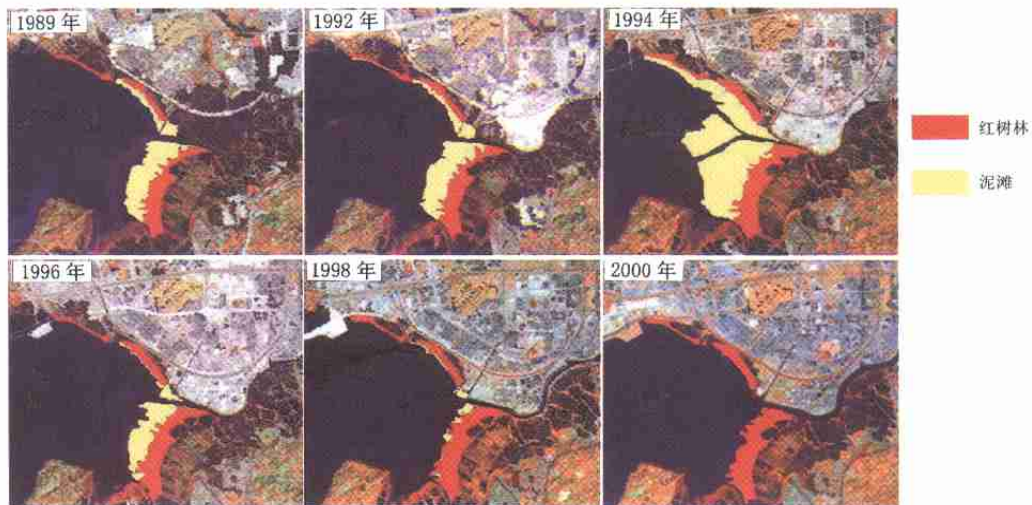


图 2 6 个时相的红树林和泥滩的解译图

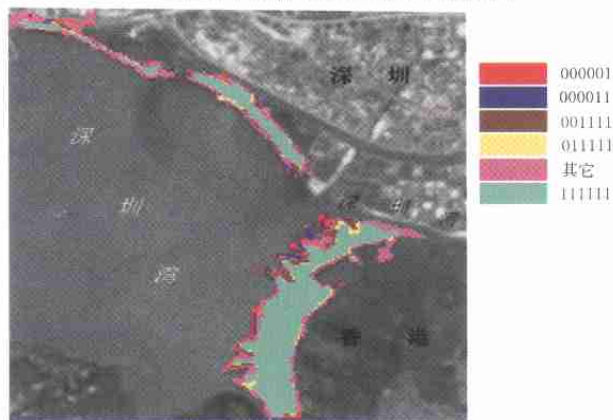


图 4 红树林变化的空间分布图

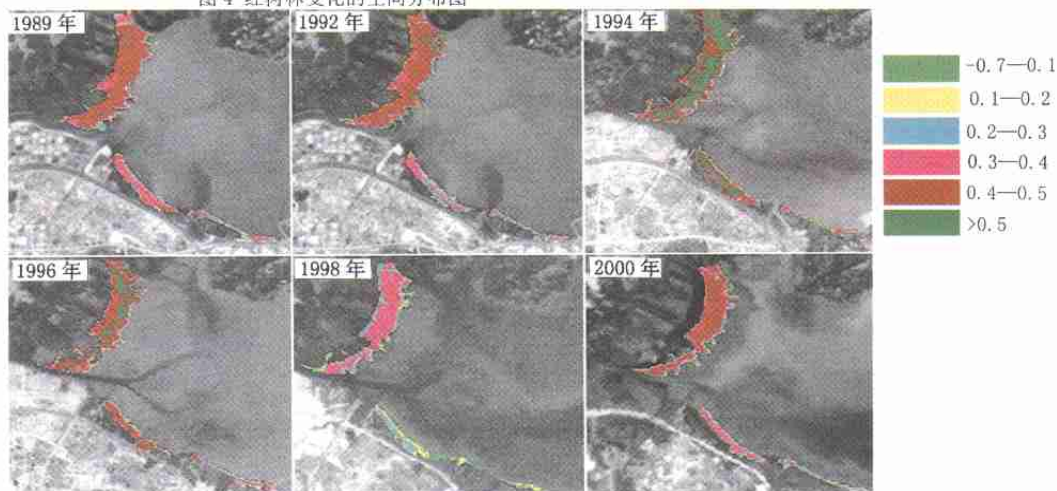


图 5 6 个时相的 NDVI 相对大小分布图